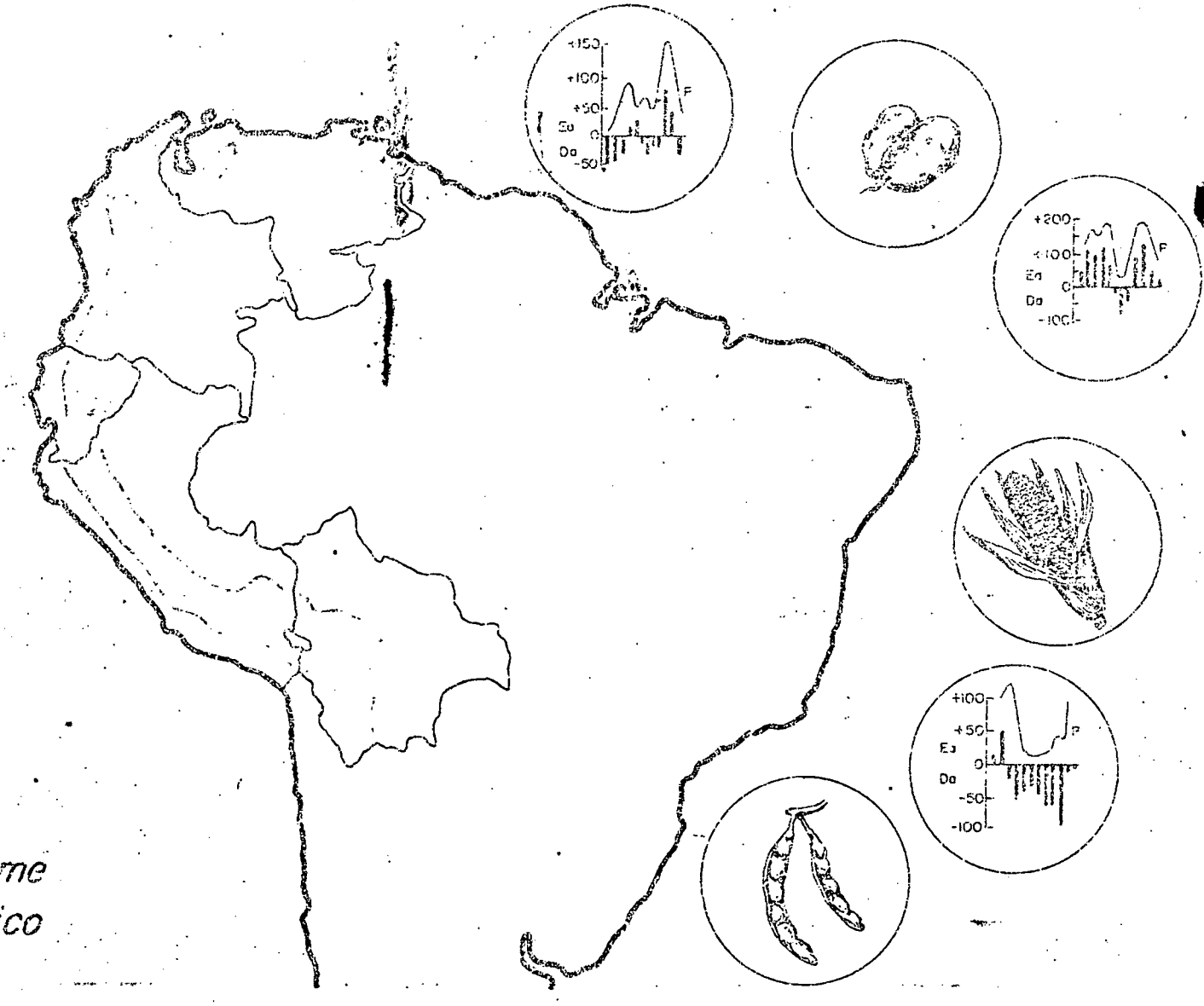
PROYECTO INTERINSTITUCIONAL
FAO/UNESCO/OMM EN AGROCLIMATOLOGIA



Informe Técnico

estudio

agroclimatológico

A. SALCEDO

H. Sáiz.

ORGANIZACION DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACION Y LA AGRICULTURA
FAO - ROMA

ORGANIZACION DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA EDUCACION, CIENCIAS Y CULTURA
UNESCO - PARIS

ORGANIZACION METEOROLOGICA MUNDIAL
OMM - GINEBRA

PROYECTO INTERINSTITUCIONAL FAO/UNESCO/OMM

EN AGROCLIMATOLOGIA

ESTUDIO AGROCLIMATOLOGICO DE LA ZONA ANDINA

(INFORME TECNICO)

por

M. Frère
Agrometeorólogo

J.Q. Rijks
Agrometeorólogo

J. Rea
Agrónomo

ORGANIZACION DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACION Y LA AGRICULTURA

ROMA, 1979

CONTENIDO

PARTE I

		Página
I.	Descripción física de la zona	1
II.	Regiones de suelos de las cadenas montañosas de los Andes	11
	1. Introducción	11
	2. Regiones de suelos	12
	3. Glosario	17
III.	Vegetación natural	19
	1. Introducción	19
IV.	Meteorología y clima de la región	21
	1. Generalidades	21
	2. Circulación general de la atmósfera	22
	3. Diferencias entre tierras bajas y montañosas	26
V.	Cortes verticales	28
VI.	Radiación e insolación	29
	1. Introducción	29
	2. El balance de energía	29
	3. Medida de la radiación solar	31
	4. Estimación de la radiación solar	31
	5. Radiación resultante	37
VII.	Luz, duración del día y fotoperiodicidad	53
VIII.	Temperatura del aire	55
	1. Introducción	55
	2. Temperaturas medias	55
	3. Gradiente de temperatura en altitud	55
	4. Valor medio de la variación diaria de temperatura	59
	5. Temperaturas máximas y mínimas	60
	6. El problema de las heladas en las montañas andinas	61
IX.	Humedad del aire	73
	1. Introducción	73
	2. Variación de la humedad del aire con la altitud	73
X.	Precipitación	81
	1. Introducción	81
	2. Otras formas de precipitación	81
	3. Distribución espacial	82
	4. Variabilidad de la cantidad de lluvia y estimación de probabilidades	87
XI.	Evaporación	121
	1. Introducción	121
	2. Escala	121
	3. Terminología	121
	4. Métodos	122
	5. Variabilidad de la evapotranspiración potencial	131
	6. Resultados	132

Página

XII. Balance hídrico 137
1. Introducción 137
2. Tabla del balance hídrico 137
3. Resultados tabulados 141
4. Demanda de agua de los cultivos 142
5. Balance hídrico del tipo Thornthwaite 144

PARTE II

Cultivos - Introducción 187

XIII. Maíz 189
1. Introducción y origen del cultivo 189
2. Datos de producción 190
3. Métodos de cultivo y trabajo de investigación aplicada. 195
4. Programas internacionales de maíz en los países andinos 211
5. Ecología del cultivo de maíz 213
6. Enfermedades y plagas 222
7. Maíz: conclusiones y recomendaciones 223

XIV. Trigo 229
1. Introducción 229
2. Producción, superficies, exportaciones e importaciones. 229
3. Investigaciones y métodos culturales 234
4. Otros aspectos de la ecología del cultivo de trigo 244
5. Enfermedades y plagas de la planta 256

XV. Cebada
1. Introducción 263
2. Producción, rendimientos e importaciones 263
3. Ecología del cultivo de cebada 265
4. Epocas de siembra y ciclo productivo 270
5. Variedades 271
6. Enfermedades y plagas 272

XVI. Chenopodium quinoa willd 275
1. Introducción 275
2. Producción, rendimientos y utilización 276
3. Ciclo vegetativo y variedades 278
4. Enfermedades y plagas 285

XVII. Papa 289
1. Introducción 289
2. Producción, rendimiento e importaciones 290
3. Variedades 294
4. Epocas de siembra 299
5. Ciclo de producción 301
6. Heladas y sequías en los Andes 308
7. Producción de semilla 311
8. Fertilización 312
9. Enfermedades y plagas 314
10. Almacenamiento 320
11. Centro Internacional de la Papa 321

XVIII. Oca (Oxalis tuberosa) 325
1. Introducción 325
2. Datos de producción 326
3. Ciclo vegetativo y tuberización 327
4. Enfermedades y plagas 329

Página

XIX. Ullucus tuberosis 331
1. Introducción 331
2. Datos de producción 332
3. Ciclo vegetativo y tuberización 333
4. Enfermedades, plagas y almacenaje 336

XX. Arracacha 339
1. Introducción 339
2. Producción y uso de la arracacha 340
3. Ciclo vegetativo y variedades 342
4. Enfermedades y plagas 345

XXI. Frijol 349
1. Introducción 349
2. Producción, superficie y rendimientos 350
3. Variedades 352
4. Epocas de siembra 354
5. Ciclo de producción y condiciones ecológicas 354
6. Enfermedades y plagas 358
7. Fertilización y almacenamiento 358

XXII. Habas 361
1. Introducción 361
2. Superficie, producción y rendimientos 361
3. Ciclo de producción y variedades 362
4. Variedades mejoradas 364
5. Enfermedades y plagas 365
6. Fertilización y almacenaje 366

XXIII. Tarwi (Lupinus mutabilis) 367
1. Introducción 367
2. Producción y rendimientos 367
3. Cultivación 368
4. Enfermedades y plagas 369

Conclusiones y recomendaciones 371

FIGURAS Y TABLAS

		Página
1.	Localización de las estaciones de referencia.....	xvii
2-5.	Mapas generales de la zona con las estaciones de referencia y diagramas indicando lluvia y exceso y déficit de agua.....	3-6
6-9.	Mapas generales de la zona con las estaciones de referencia y diagramas indicando las temperaturas medias, máximas y mínimas.....	7-10
10.	Principales regiones de suelos.....	13
11.	Posición media de la ITCZ en enero y julio.....	23
12.	Situación atmosférica en América del sur en enero.....	24
13.	Situación atmosférica en América del sur en julio.....	25
14.	Estaciones y datos para la determinación de los coeficientes a y b.....	33
15.	Relación del coeficiente a y b con n/N.....	33
16.	Las diferentes líneas de regresión para a + b n/N.....	34
17.	Relación entre la nubosidad y el cociente R_G/R_A para estaciones en las dos zonas climáticas principales.....	36
18.	La relación entre el cociente R_B/R_G y n/N para estaciones a diferentes altitudes.....	39
19-20.	R_B y R_N expresadas como porciento de R_G en relación con la altitud, para la región ecuatorial (19) y la región tropical (20).....	40
21.	Relación entre R_G y altitud para las 69 estaciones de referencia en las dos zonas climáticas principales.....	42
22.	Relación entre R_N y altitud para las 69 estaciones de referencia en las dos zonas climáticas principales.....	43
23-25.	Composición del balance de radiación y valores para ET (en cal/cm^2/día) y n/N (promedios mensuales).....	44-46
26a-26b.	Promedios mensuales y anuales de la radiación global para las 69 estaciones de referencia.....	47-48
27a-27b.	Promedios mensuales y anuales de la radiación resultante para las 69 estaciones de referencia.....	49-50
28.	Variación estacional de las temperaturas para estaciones seleccionadas: a) temperaturas medias mensuales, b) b) temperaturas máximas medias, c) temperaturas mínimas medias.....	56
29.	Gráfico de las temperaturas medias mensuales para estaciones en Colombia: a) mes de mayo, b) mes de agosto....	57-58
30.	Gráfico de las temperaturas anaules para estaciones en Perú.	59
31.	Oscilación de las temepraturas medias diarias a 4° lat N....	60
32.	Oscilación de las temperaturas medias diarias a 11° lat S...	60
33.	Valores medios mensuales de la temperatura mínima y número medio de días de heladas para una selección de estaciones bolivianas.....	62-63
34.	Frecuencias promedias de las heladas para estaciones bolivianas en relación con la altitud.....	64

		Página
35.	Relación entre la temperatura mínima media y el número medio de días de helada	65
36a-36b.	Temperaturas medias mensuales para las 69 estaciones de referencia	66-67
37a-37b.	Temperaturas máximas medias para las 69 estaciones de referencia	68-69
38a-38b.	Temperaturas mínimas medias para las 69 estaciones de referencia	70-71
39.	Relación de la presión de vapor y el déficit de saturación con la altitud	74
40.	Relación de la presión de saturación del vapor correspondiente a la temperatura media anual con la altitud	74
41.	Relación entre la presión de vapor media anual y la presión de vapor saturado correspondiente a la temperatura mínima media anual	75
42a-42b.	Valores medios mensuales y anuales de la presión de vapor para las 69 estaciones de referencia	76-77
43.	Valores medios mensuales y anuales del déficit de saturación para las 69 estaciones de referencia	78-79
44.	Relación entre la precipitación media y la altitud para tres regiones	85
45.	Número medio de días lluviosos en relación con la altitud para tres regiones	85
46.	Relación entre el número medio de días lluviosos y la precipitación media	86
47.	Relación entre cantidad media por día lluvioso y la altitud	86
48.	Diagrama de la frecuencia de cantidades en enero y agosto para Quito	88
49.	Intervalo de confianza para registros homogéneos	89
50.	50 años de precipitación anual y estacional para Huancayo	90
51.	Serie de 30 años de precipitación para Huancayo	91
52.	Quintiles mensuales y anuales para Huancayo	92
53.	Frecuencias para un período de 30 años	93
54.	Ejemplo de calculación de los elementos de la distribución normal	94
55.	Comparación de la variabilidad para los períodos 1901-1930 y 1931-1960 para Bogotá	95
56.	Relación entre la coeficiente de variabilidad y precipitación media	96
57.	Variabilidad interanual relativa en relación con la precipitación media	98
58.	Cálculo gráfico de la distribución de lluvia para Bogotá: A) distribución normal, B) distribución log-normal, C) distribución P^2 normal, D) distribución log P^2 normal	99-100
59.	Comparación entre los diversos métodos de la distribución de lluvia	101
60.	Coeficientes de variabilidad en función de precipitación media	103
61.	Diagramas de probabilidad de lluvia para Huancayo y Bolivia	104
62.	Balances hídricos para Izobamba, valores por mes y por decada	105

Página

63. Frequencias de ocurrencia de sequiás en octubre en Huancayo 107
64. Frequencias relativas de sequiás en octubre en Huancayo.... 107
65. Probabilidad de ocurrencia de días secos en octubre en Huancayo..... 108
66. Quintiles de las medias móviles de dos años y de los valores estacionales..... 109
67. Cantitades probables de lluvia en La Paz..... 110
68. Probabilidades para cantidades de lluvia especificadas en Huancayo..... 111
69. Cantidades de lluvia con probabilidades especificadas para Huancayo..... 111
70a-70b. Promedios mensual y anual de lluvia para las 69 estaciones de referencia..... 115-116
71a-71b. Precipitatación mensual expresada en porcientos del total anual..... 117-118
72a-72b. Precipitación mensual y anual con 80% de probabilidad..... 119-120

73. Ejemplo del cálculo de la evapotranspiración potencial con el metodo de Penman..... 124
74. Ejemplo del cálculo de la evaporación del agua libre con el metodo de Penman..... 124
75. Ejemplo del cálculo con el metodo de Thornthwaite de la evapotranspiración potencial para 4 estaciones..... 127
76. Comparacion entre ET (Penman) y ET (Thornthwaite) para estaciones a diferentes altitudes..... 128
77. El cociente ET (Penman);ET(Thornthwaite) en relación con la altitud para estaciones seleccionadas..... 128
78. Valores anuales medios de ET calculados con el metodo de Thornthwaite para las 69 estaciones de referencia..... 129
79. Evapotranspiración potencial calculada con el metodo Turc para estaciones seleccionadas..... 130
80. Evapotranspiración potencial estimada con los metodos de Penman y de Hargreaves para La Paz..... 131
81. Valores mensuales de ET calculadas con la formula de Penman durante el período 1961-1970 para Huancayo..... 131
82. ET expresada como porciento de R_G en relación con la altitud para las 69 estaciones de referencia..... 132
83. Distribución altitudinal de la evapotranspiración para la región tropical..... 133
84. Distribución de la evapotranspiración con la altitud para la región ecuatorial..... 133
85a-85b. Valores mensuales y anuales de la evapotranspiración potencial según el metodo de Penman para las 69 estaciones de referencia..... 135-136

86. Presentación gráfica del balance hídrico medio de Izobamba 139
87. Formulario modelo utilizado para el cálculo del balance hídrico..... 141
88. Balance hídrico detallado basado en un 80% de probabilidad de lluvia y en el consumo efectivo de agua de un cultivo imaginario standard..... 143
89. Ejemplo de cálculo del balance hídrico según Thornthwaite para Huancayo..... 145

Página

90. Presentación gráfica del balance hídrico según Thornthwaite para Huancayo..... 145
91. Balances hídricos de tipo Thornthwaite para Tungavita y Bogotá 146

92a-92b. Déficits y excesos mensuales y anuales de agua (P-ET) para las 69 estaciones de referencia..... 147-148
93a-93b. Períodos de disponibilidad hídrica basados en los balances hídricos para las 69 estaciones de referencia..... 149-150
Balances hídricos para las 69 estaciones de referencia..... 151-186

94. Maiz: area, producción y rendimientos en Colombia..... 191
95. Valor estimado de la producción de 5 productos..... 191
96. Superficie, producción y rendimientos en Ecuador..... 192
97. Superficie, producción y rendimientos en Perú 192
98. Usos del maíz en Perú 193
99. Importaciones, exportaciones y sus valores (Perú)..... 193
100. Superficie, producción y rendimiento en Bolivia..... 194
101. Exportación de maíz amarillo en Bolivia..... 194
102. Principales características agronómicas..... 197
103. Rendimientos en granos..... 197
104. Datos meteorológicos para Tibaitatá y Surbatá..... 198
105. Período lluvioso en la sierra del Ecuador..... 200
106. Fertilización de maíz..... 203
107. Número de razas de maíz en los países andinos..... 204
108. Razas de maíz de altura en Ecuador..... 204
109. Maíces nativos y híbridos de Perú..... 206
110. Comparación entre tres ubicaciones para maíces bolivianos...
111. Características de maíces bolivianos..... 209
112. Comparación entre varias estaciones colombianas..... 215
113. Duración del ciclo de maíces colombianos..... 215
114. Algunas características de variedades mejoradas ecuatorianas..... 216
115. Crecimiento de maíz y factores ambientales..... 216
116. Balance hídrico de Huancayo..... 220
117. Balance hídrico de Cochabamba..... 221
118. Enfermedades y plagas del maíz..... 222
119. Enfermedades y plagas del maíz..... 223

120. Trigo Venezuela, datos estadísticos..... 229
121. Trigo Colombia, datos estadísticos..... 230
122. Trigo Ecuador, datos estadísticos..... 231
123. Trigo Perú, datos estadísticos..... 232
124. Trigo Bolivia, datos estadísticos..... 233
125. Importaciones de trigo en Bolivia..... 234
126. Colombia, características de variedades de trigo..... 235
127. Ecuador, características de variedades de trigo..... 237
128. Epocas de siembra y período lluvioso en Ecuador..... 238
129. Variedades peruanas y colombianas de trigo..... 242
130. Datos meteorológicos de Santa Catalina (Ecuador)..... 247
131. Evapotranspiración potencial y actual de trigo..... 248
132. Unidades de calor requeridas por 6 variedades de trigo..... 249
133. Datos de precipitación para las zonas de cultivo de trigo en Ecuador..... 251
134. Balances hídricos para Izobamba - Santa Catalina..... 252
135. Siembra y cosecha del trigo en Perú..... 254

		Página
136.	Duración del ciclo vegetativo de trigo	256
137.	Distribución altitudinal de las royas	259
138.	Cebada, datos estadísticos	264
139.	Fechas de siembra de cebada en Colombia	270
140.	Datos climatológicos para dos estaciones bolivianas (promedios del período noviembre-abril)	271
141.	Características de variedades colombianas y ecuatorianas de cebada	272
142.	Datos estadísticos de países andinos para quinua	277
143.	Producción y rendimientos de algunos departamentos de Perú en 1971	277
144.	Datos de cultivares de quinua en Ecuador	281
145.	Ciclo productivo de algunas variedades peruanas	281
146.	Características de variedades peruanas y bolivianas	282
147.	Sub-tipos climáticos de Puno	283
148.	Datos de temperatura y precipitación para Salinas de Garci Mendoza	285
149.	Papa, datos estadísticos	291
150.	Variedades colombianas de papa y sus características	295
151.	Variedades ecuatorianas de la papa	296
152.	Variedades peruanas de papas mejoradas	297-298
153.	Curva de probabilidad de las primeras y últimas heladas en Mucuchíes	302
154.	Balance hídrico para Mucuchíes según el método de Thornthwaite con datos de ET de Penman	303
155.	Ciclo y rendimientos de algunas variedades de papa	304
156.	Rendimientos de variedades de papa europea y andina en relación con la altitud	305
157.	Datos de cultivación de papa en Perú	306
158.	Comparación entre una variedad mejorada y criollo	307
159.	Duración del ciclo vegetativo para diferentes latitudes y altitudes	309
160.	Enfermedades de la papa	318-319
161.	Datos estadísticos de países andinos	326
162.	Datos de producción regionales de Perú	327
163.	Datos de cultivación de oca en Colombia, Ecuador y Perú	328
164.	Datos estadísticos de ulluco	332
165.	Datos de cultivación de ulluco	333
166.	Duración del fotoperíodo	335
167.	Datos meteorológicos para el ciclo vegetativo del ulluco	336
168.	Datos estadísticos de países andinos	340
169.	Datos de producción regionales de Perú	341
170.	Características de algunas clones de arracacha de Venezuela	343
171.	Características de algunas clones de arracacha de Colombia	344
172.	Ciclo productivo de arracacha y datos climatológicos correspondientes	346
173.	Frijol, datos estadísticos	351
174.	Datos de cultivares criollos y variedades mejoradas	
175.	colombianas	352-353
176.	Datos de cultivares ecuatorianas	354

		Página
177.	Datos meteorológicos para Bramon	355
178.	Períodos de cultivación de frijol en Bailadores	356
179.	Datos meteorológicos para Mérida	356
180.	Habas: datos estadísticos de países andinos	361
181.	Datos sobre variedades de habas en Mérida	362
182.	Datos de cultivación de habas en Colombia y Ecuador	363
183.	Datos de cultivación de habas en Perú	364
184.	Variedades mejoradas de habas del ICA	365
185.	Datos estadísticos de paises andinos para tarwi	368
186.	Duración del ciclo y datos climatológicos	369

PROLOGO

El proyecto agroclimatológico patrocinado conjuntamente por la FAO, la Unesco y la OMM tuvo su origen en el deseo de la FAO y la OMM de investigar las posibilidades climáticas básicas que se ofrecían a la agricultura en las regiones del mundo en las que la intensificación de los trabajos agrícolas y la ampliación de las tierras cultivadas presentaban mejores perspectivas para aumentar la producción agrícola. Por otra parte, estas investigaciones han sido realizadas principalmente en zonas caracterizadas por la existencia de marcados factores limitativos de índole agrometeorológica. Pronto se comprendió que esta cooperación interinstitucional podría mejorarse incluyendo en ella a la Unesco.

En abril de 1960 se creó un grupo interinstitucional que representaba a las tres organizaciones para dirigir el proyecto, en el cual la FAO actúa como organismo ejecutor. En 1969 el Grupo interinstitucional fue ampliado para incluir al PNUD. Este grupo de estudio, que ahora ha sido sustituido por el Grupo interinstitucional sobre biometeorología agrícola, se reunió periódicamente y eligió sucesivamente las siguientes regiones para la preparación de las investigaciones agroclimatológicas:

- las zonas áridas y semiáridas de los cinco países del Cercano Oriente;
- la zona semiárida situada al sur del Sahara, en Africa Occidental;
- las zonas montañosas de Africa Oriental.

La FAO ha presentado ya los informes técnicos de estas investigaciones agroclimatológicas. La OMM ha publicado las Notas Técnicas Nos. 56, 86 y 125 en las que se resumen estas investigaciones y cuyo contenido se limita a exponer los principales resultados y las técnicas de uso universal.

La presente publicación es el informe técnico de la cuarta encuesta, que se refiere a las zonas montañosas de América del Sur, incluyendo Venezuela, Colombia, Ecuador, Perú y Bolivia. Este informe técnico en forma abreviada e integrada será publicado por la OMM también, como Nota Técnica.

Los autores desean agradecer a los Directores y miembros del personal de los servicios agrícolas y meteorológicos de los países de la región, así como a diversas instituciones y organizaciones agrícolas que amablemente les han ayudado con su consejo, experiencia e información.

Queremos agradecer al Dr. Hans Trojer, que realizó un primer esbozo de esta encuesta, al Dr. Andre Pécrot, que contribuyó el capítulo sobre suelos, y al Dr. Jorge León, que contribuyó a la parte agrícola. También deseamos manifestar nuestro agradecimiento a la Srta. Patricia Hegedus, que preparó las ilustraciones y tablas, a la Sra. Vivian Miles-Cattabiani, que dirigió la mecanografía del original, y a la Sra. Paola Bloemendal-Jengo, que realizó los cálculos.

INTRODUCCION

Las zonas montañosas de América del Sur han sido elegidas para la realización de este estudio debido a su gran densidad de población y también por las particulares limitaciones que imponen determinados factores climáticos en la producción agrícola de esta región. Mientras que la radiación solar alcanza generalmente valores elevados y constantes durante todo el año, la distribución del agua se caracteriza habitualmente por su escasez relativa, por una distribución estacional bastante acentuada y por su gran variación espacial y temporal. Por otra parte, la altitud ejerce un efecto limitativo en la agricultura reduciendo las temperaturas, lo cual a su vez origina una mayor duración de los ciclos vegetativos de los cultivos. El cielo despejado y la elevada intensidad de la radiación infrarroja causan temperaturas mínimas extremas que provocan la aparición de heladas nocturnas en la parte meridional de estas montañas. El interés de la encuesta se acentúa por el hecho de que muchas especies de cultivos son oriundas de la cordillera de los Andes y han adquirido a través de siglos la facultad de adaptarse a las condiciones climáticas adversas. La manera en que se ha desarrollado esta adaptación puede indicar en muchas ocasiones el camino a seguir al respecto al seleccionar y cultivar las plantas.

Esta encuesta, teniendo presente su objeto y extensión superficial, no pretende ser exhaustiva ni tampoco facilitar información completa referente a todo tipo de cultivo en todos los lugares. Su finalidad es indicar a los climatólogos, agrónomos y ecólogos varias maneras de analizar los datos climáticos y agronómicos para aumentar los conocimientos que se tienen sobre las relaciones entre las plantas y el clima, permitiendo así a los servicios nacionales encargados de fomentar la producción agrícola en estas regiones la utilización de estos u otros métodos establecidos para uso local, para conseguir el progreso de la agricultura y de la rentabilidad de los cultivos.

Dicho de otro modo, mediante esta encuesta se pretende introducir ciertos métodos fundados en algunos ejemplos particulares tomados de las regiones más representativas. El uso de estos métodos hará posible, mediante análisis locales más detallados, generalizar y facilitar en cada caso particular mejores conocimientos agrometeorológicos para perfeccionar la agricultura en las regiones montañosas.

Resulta evidente la dificultad de analizar el agroclima de esta región, debido a la escasez de datos seguros y a la multiplicidad de microclimas locales. Al preparar esta encuesta se ha consultado un enorme número de cifras, que no se reproduce aquí por falta de espacio.

Con el fin de enfocar el problema de una manera gráfica, se decidió estudiar quince cortes verticales de los Andes, que han sido situados de acuerdo con la disponibilidad de datos seguros y con su interés con respecto a las principales zonas agrícolas de toda la región.

Como consecuencia de este estudio, se decidió finalmente elegir 69 estaciones de referencia. Las tablas resumidas de los distintos factores climáticos así como los datos deducidos correspondientes a dichas estaciones figuran en los distintos capítulos que tratan de los factores climáticos de interés para la agricultura.

Al final de este capítulo figura una lista que da las ubicaciones de esas estaciones de referencia (latitud, longitud y altitud).

Con el objeto de exponer sintéticamente, para ulteriores análisis, los datos de las estaciones que no figuran en la relación de estaciones de referencia, los cortes verticales han sido representados como una serie de gráficos con diagramas e histogramas relacionados con cada uno de los principales parámetros ecoclimáticos.

La encuesta se divide en dos partes: la primera se refiere al análisis de los factores agroclimáticos de mayor importancia para la agricultura, con especial mención de los factores limitativos, como la disponibilidad de agua y la temperatura. La segunda trata de cada uno de los principales cultivos de la zona, y concede especial interés al efecto ejercido por los factores climáticos en el crecimiento, desarrollo y producción de los cultivos y en su resistencia a las enfermedades. Finalmente, un breve capítulo de la encuesta se dedica a especificar sus propias deficiencias y a formular algunas recomendaciones relativas a otros estudios de menor escala que de ella se puedan deducir.

Visto que durante la preparación de esta encuesta se puso de manifiesto un notable interés por parte de investigadores no pertenecientes a la región cubierta por ella, se consideró útil agregar breves resúmenes en inglés a la mayoría de los capítulos. Confiamos en que esto hará más accesible este trabajo a quienes carecen de un conocimiento suficiente del español.

LOCALIZACION DE LAS ESTACIONES DE REFERENCIA

ESTACIONES	LAT.	LONG.	ALT.
MUCUCHIES	08° 44'N	70° 55'W	2980 m
MERIDA	08 36	71 10	1495
BAILADORES	08 16	71 48	1750
BRAMON	07 42	72 21	1105
BLONAY-CHINACOTA	07 35	72 38	1235
SALAZAR	07 44	72 49	1000
SAN VINCENTE	06 52	73 26	1200
MEDELLIN	06 16	75 35	1475
TUNGUAVITA	05 45	73 05	2540
SONSON	05 43	75 18	2350
LIBANO	04 54	75 04	1495
CHINCHINA	04 56	75 36	1360
ANOLAINA	04 45	74 29	1726
BOGOTA	04 38	74 05	2556
CHAPETON-IBAQUE	04 28	75 17	1306
USME	04 22	74 08	3120
TIBACUY	04 21	74 27	1550
SEVILLA	04 16	75 57	1650
PALMIRA	03 31	76 19	1006
MIRANDA	03 19	76 15	1200
LAURELES	03 08	74 54	2100
FLORIDA - POPAYAN	02 26	76 34	1850
PASTO OBONUCO	01 13	77 16	2700
TULCAN	00 49	77 43	3002
IBARRA	00° 21'N	78 07	2228
QUITO	00° 13' S	78 30	2818
IZOBAMBA	00 22	78 33	3058
LATACUNGA	00 55	78 37	2809
AMBATO	01 17	78 38	2540
PUYO	01 35	77 54	950
RIOBAMBA	01 38	78 40	2790
CAÑAR	02 33	78 56	3104
CUENCA	02 51	78 57	2552
S. ISABEL	03 20	79 20	1599
LA ARGELIA LOJA	04 00	79 12	2136

ESTACIONES	LAT.	LONG.	ALT.
HUANCABAMBA	05° 14' S	79° 22'W	1952 m
CHACHAPOYAS	06 13	77 50	2425
CAJAMARCA	07 08	78 28	2621
HUARAZ	09 31	77 32	3050
HUANUCO	09 54	76 15	1858
LAMPAS BAJO N.3	10 04	77 22	3950
CERRO DE PASCO	10 45	76 10	4400
SAN RAMON	11 08	75 18	800
LA OROYA	11 33	75 56	3750
HUANCAYO	12 02	75 20	3350
QUILLABAMBA	12 50	72 43	1660
HUAMANGA	13 09	74 13	2761
CUZCO - KAYRA	13 33	71 59	3312
ABANCAY	13 38	72 53	2398
CHUQUIBAMBILLA	14 47	70 43	3910
CAYLLONA	15 11	71 46	4320
CUENCA RIO VERDE	15 29	70 49	4260
PUNO (GR. SALC.)	15 50	70 01	3852
AREQUIPA	16 24	71 31	2330
DESAGUADERO	16 39	69 00	3850
PAUCARANI	17 32	69 46	4541
EL BELEN	16 03	68 41	3820
CHULUMANI	16 22	67 30	1580
LA PAZ (C.)	16 30	68 08	3632
PATACAMAYA	17 12	67 55	3789
COCHABAMBA	17 23	66 09	2553
TOTORA	17 41	65 09	2789
ORURO	17 58	67 06	3708
TACAGUA	18 54	66 47	3720
SUCRE	19 03	65 17	2750
PADILLA	19 19	64 20	2130
PUNA	19 45	65 28	3420
OPLOCA	21 19	65 46	3120
VILLAZON	22 05	65 35	3460

Tabla 1 *Ubicacion de las 69 estaciones de referencia*

SUMMARY

Foreword

The following text in English does not in fact intend to give an extensive summary of this publication. Its objective is rather to guide the reader who is technically interested but not sufficiently fluent in the Spanish language to find easily in this publication the specific subject in which he is interested.

The agroclimatology project carried out jointly by FAO, WMO and Unesco originated from the fact that more knowledge was in general required, in regions aiming at a better agricultural development, to make the best possible use of climatic data in relation with the improvement of agriculture

Similar surveys to the present one have been carried out in the Near East region, in the semi-arid zone south of the Sahara in West Africa and in the highlands of eastern Africa.

Introduction

The region of the South American highlands has been selected in view of its great interest arising from its dense population and from specific agricultural constraints provoked by the factors of climate, high radiation, lack of rainfall and its great variability, limits to the duration of vegetative cycles of crops imposed by both water availability and frosts.

The scope of this survey is not to provide a comprehensive documentation on the agroclimatology of the area, nor to examine all the agrometeorological problems, but rather to explain the broad principles of agrometeorological research as it applies to the specific Andean environment and to illustrate this by appropriate examples. In this respect this survey will serve specifically as a guide to more detailed investigations to be carried out at national levels. Much of the data collected and analyzed during the preparation of the survey appears either in the text or as appendices to the publicacion.

The first part of the survey covers the analysis of the agrometeorological factors; the second part studies the main crops of the area and their reaction to the agroclimatic factors. The third part includes conclusions and recommendations.

1. General physical description

The survey covers the Andean mountains between Venezuela and Bolivia and is limited in altitude roughly by the levels of 1000 and 4000 m. The length of the Andean chain covered by the survey is some 3000 km. This impressive mountainous chain influences markedly the climate of the area.

Its equatorial portion is characterized by uniform temperatures according to the season, decreasing with altitude, and a daily temperature range which is larger than in the equatorial lowlands. Both seasonal and daily temperature fluctuations increase with latitude. Precipitation distribution is also largely determined by the action of the mountains on the air flows, the eastern slopes being extremely humid and the western ones being extremely dry, with a number of situations between these extremes characterized by a major role played by exposition and radiation balance generating local turbulence movements. The region is one of the most densely populated in Latin America.

Four maps show the area with the locations of the "reference" climatological stations. These maps give for characteristic stations graphs showing as a thin line the average distribution of the monthly rainfall. Histograms representing the differences between monthly rainfall and potential evapotranspiration complete these graphs. Four maps also show histograms with the average monthly maximum and minimum temperatures. The line traced on the histogram represents the average monthly temperature.

2. Soils of the Andean region

The Andes is a complex mountainous chain going from Trinidad until Tierra del Fuego. Its evolution is characterized by a series of movements with the intrusion of igneous rocks and extrusions of lavae and tufs. At present the tectonic activity still continues. During the glacial periods of the pleistocene age, the level of permanent snow was some 800 to 1000 m lower than now.

Soil formation processes are characterized by intense erosion and sedimentation. The soils are generally little developed. In the northern humid Andes many inter-andinan valleys enjoy drier climatic conditions. In the western slope, soils are of volcanic origin, while the eastern soils generally are of sedimentary origin. The Andean "altiplano" is a high level mountain basin at over 3500 m. It was produced probably by block faulting during the uplift of the Andes and is now floored with the sediments of shrunken or extinct lakes.

A glossary giving the physical description of the soil symbols is presented at the end of this chapter.

3. The natural vegetation

The natural vegetation of the Andes is much diversified as an effect of climate, orography and exposure. It has also been greatly modified by man.

3.1 Western slope

a) In the humid zone from Colombia until northern Peru a succession of levels of mountain forests starts around 1700-1900 m and goes up with a reduction of the number and diameter of tress towards a herbaceous vegetation "paramos", which are found from 3000 m until the limit of perennial snow at about 4000 m. This natural vegetation has been nearly completely destroyed

by man except in the most humid locations.

b) The west slopes of the Central and Southern Andes (from 4°S) are semi arid and go progressively to the desert in Chile. Forests are of a much drier type, composed of xerophytic plants. At the levels of 2700-3500 m, a dry forest exists with perennial leaves which include also the valleys. Higher is the "puna" dry herbaceous formation; otherwise vegetation characteristics are similar to that of the paramos. Southwards these formations give place to the "salt pans". The zone of the puna is known as the origin of many Andean crops.

3.2 Eastern slope

This slope above 1800 m is more uniform because of its higher humidity. From Venezuela to Bolivia there are a succession of forest mountain levels with a complex floristic composition.

Human influence on the Andean vegetation has been prominent and confirmed by signs of occupation for at least 10,000 years. While having greatly contributed to the destruction of the original vegetation, man has also determined the establishment of a new landscape "characteristic" of the Andes, by the introduction at the end of the 19th century of some new plants such as eucalyptus and kikuyu grass.

4. Meteorology of the region

4.1 Radiation and light

In view of the geographical position of the region and of its altitude, the radiation received remains important throughout the year. Altitude also causes large infrared effective radiation losses and low air temperatures.

4.2 Air and soil temperature

Altitudinal air temperature gradient is of about 0.6°C per 100 m. In the northern zone, with limited seasonal temperature variation, agriculture goes up to about 3500 m. In the other zones water and temperature limitations shorten the growing period but in turn during the warm season agriculture may climb until 4400 m.

4.3 Rainfall and water availability

Rainfall and water availability is generally adequate in the equatorial zone included between 8°N and the equator. Southwards the rainfed agriculture is limited to one season which shortens with the latitude.

In general problems due to water deficiency exist above the level of 2000-2500 m.

4.4 General circulation of the atmosphere

This circulation is characterized by the presence of high pressure zones in the tropics and the Intertropical Convergence Zone (ITCZ) fluctuating according to the seasons near the equator. The latitudinal range of

the ITCZ in South America is very limited, it being centred on the equator in February and at 7°N in July. This results in a typical rainfall distribution pattern in the area, characterized by a predominant monomodal pattern except in the narrow latitudinal belt defined above. The reason for this limited range might be the presence at this longitude of two large bodies of water on both sides of the equator, namely the Pacific Ocean and the Caribbean Sea.

4.5 Difference between lowlands and highlands

In the lowlands up to an altitude of 1000 m the limited movement of the ITCZ generates in most cases a monomodal system of rainfall distribution, with in some cases a reduction in intensity of the rainfall in the centre of the rainy season.

In the highlands, however, much of the moisture of the large air masses passing across the Andes has been condensed at lower levels and rainfall is mainly due to local convection, with a clear bimodal pattern in positions near the equator.

To summarize, the Andean chain appears as an island with a climate very different from any other location at this latitude, characterized by rainfall and temperature regimes which often limit drastically agriculture, particularly in the tropical locations.

5. Cross sections

In addition to the summary data published in the surveys, 15 cross sections based on the stations with enough reliable data were drawn during the first stages of the work in order to obtain a better grasp of the gradients for the main agroclimatic factors. In order to make this information available to the reader, the cross sections with the data have been graphically represented and are attached in a separate pocket. The histograms representing the various agroclimatic factors are self-explanatory and appropriate scales appear on the sides of the graphs. Although the survey itself covers only the highlands, data covering the adjacent lowlands have been represented on the cross sections as well.

6. Radiation and sunshine

Radiation is the fundamental factor of climate for the following reasons:

a) It conditions the elaboration of organic matter through photosynthesis.

b) It conditions the temperature distribution at the surface of the ground and hence the distribution of crops.

c) It provides the energy source for the hydrological cycle at the surface of the earth, an extremely important element of which being evapotranspiration.

The processes of the radiation balance are explained in detail. The value of the albedo for the scope of this survey is taken as being equal to 0.25. In the areas concerned, very few measurements of the solar radiation have been carried out, therefore an important work has been devoted to the ways of estimating total radiation, either from the sunshine duration or from the cloud cover. For the estimation of total radiation from the sunshine duration the values of the coefficients a and b in the modified Angström formula are taken as 0.29 and 0.42. For the estimation of total radiation from the cloud cover, usual methods link cloud cover to sunshine duration and successively arrive at the estimation of total radiation. In the survey it has been attempted to obtain directly total radiation from the cloud cover starting from the results obtained for two stations having radiation measurements available. The results obtained with this method compare favourably with the measurements and the estimations from sunshine duration recordings. The data for Bolivia have been calculated from the cloud cover observations.

The knowledge of the net radiation at the surface of the earth is equally important because it provides an estimation of the quantity of energy remaining available for non-radiative energy exchanges at the earth surface. The method used for its determination is the one established by Brunt for the definition of the effective infrared radiation.

The radiation balance changes with altitude and latitude. Two sets of stations situated at different altitudes for equatorial and tropical latitudes have been compared and show a regular increase with altitude of the effective radiation expressed as percentage of total radiation resulting in a corresponding decrease of net radiation. The effective radiation in the area considered may have values as low as 15-20% in equatorial lowlands and as high as 30-40% of the total radiation in the highlands. In addition there is also a difference in the annual total radiation with altitude, showing an increase in the tropical highlands.

Graphs on the fluctuation throughout the year of the components of the energy balance are presented for a few characteristic stations throughout the area. For the tropical highlands in particular it is interesting to note the respective evolution of R_B, R_N and n/N.

The chapter concludes with the presentation of monthly and yearly averages of total and net radiation for the 69 reference stations.

7. Light, duration of the day and photoperiodism

41% of the short wave incoming total radiation is comprised between 0.4 and 0.76μ wavelength and is utilized at a very low average efficiency by the plants for their photosynthesis.

The duration of the day does not very very greatly but nevertheless it can be noted from the table that the difference between the equator and the latitude of 20°S may be of about 2 hours.

8. Air temperature

The area shows great variations in temperature patterns. In the northern part, from 8°N to 2°S, annual temperature regime is very regular

and is regulated mainly by altitude. Southwards the situation is different and there a marked seasonal regime of the air temperature is found. The average temperature gradient is about 0.5 to 0.6°C per 100 m of altitude.

The diurnal range between maximum and minimum temperatures is also important and varies with altitude in a limited range in the equatorial zone. This range is much larger in southern tropical areas and is linked with the occurrence of frost. Variation in average temperature from one season to another is mainly due to variation in the minimum temperatures, while maximum temperatures tend in general to be more conservative throughout the year.

Frost in the Andes has two origins: the "white frost" is caused by a local cooling of the air above the ground to values below 0°C, which causes some 80% of the frost occurrences. Black frost is caused by the effect of the penetration of cold air masses from the south, consisting of air at below freezing temperatures. These frosts are generally more intense and of longer duration than the other type and cause much damage to agriculture. A frequency analysis of frost for a set of selected stations in Bolivia has been carried out to derive the monthly average occurrence of days under 0°C and the number of months in the year with less than 1, 5 and 10 days of frost. These data have then been agglomerated by altitude zones. A relation is also presented linking the number of days with frost to the average monthly minimum temperature. Finally, air temperature data for the reference stations are presented.

9. Air humidity

Although this parameter is generally considered as rather secondary and has in fact not been dealt with in the previous surveys, some characteristics of air humidity are worth some emphasis, especially in mountainous areas. Air humidity gradient is similar to that of air temperature and is of about 0.52 mb/100 m. The controlling factor of air humidity seems to be, from the graphs presented, the saturation vapour pressure corresponding to the minimum daily temperature. The saturation deficit seems to be relatively constant at all altitudes.

10. Precipitation

Rainfall is certainly the major single factor in terms of influences on agricultural production. The region is reasonably well covered with stations but unfortunately long series allowing adequate probability analyses are very rare.

Other forms of precipitation occur in the region. Snow is of indirect interest because it falls outside the growing season or outside the cropping areas, but it is nevertheless of interest for its contribution to the groundwater storage. Hail may occur at lowland stations but is common at the altitude of 3000 m and over. The data available, however, do not allow a detailed survey of this phenomenon throughout the area.

In the area concerned, altitude and exposure cannot be separated as they jointly influence the rainfall distribution. A first interesting characteristic of rainfall is the relation between rainfall amounts and number of rainy days according to altitude.

An inversion in precipitation increase occurs on the eastern slope of the equatorial area at an altitude of about 2000 m. In other parts of the area this inversion does not appear as such. Regarding the average rainfall for rainy days, this appears to be much greater in the tropical area than in the eastern slope of the equatorial area.

An important question is the variability of rainfall and the probability for a crop to fail. This survey, oriented towards agricultural development, has considered as a base probability 80%. Analyzing rainfall variability for the southern part of the area can only be properly carried out when rainfall data are combined according to the austral year and not the calendar year. Several ways of studying rainfall variability and probability are explained: quintiles, normal distribution and other functions. Examples of these calculations are given.

An important characteristic of rainfall is the coefficient of variability which, for all stations in both tropical and the equatorial region, decreases with the increase of annual rainfall.

Another important question is the evaluation of the length of the growing season. For comparisons between different stations the monthly precipitation as a percentage of annual total may be used. Monthly rainfall probabilities can be estimated in the same way as for yearly rainfall. It is noted that the interdependence of monthly rainfall versus the total seasonal rainfall is higher in areas with monomodal type of rainfall. For agricultural purposes it is also often interesting or necessary to deal with periods shorter than a month to identify the importance of high concentrated rainfall or individual dry spells which may be critical at certain development stages of crops. Some analytical tools are presented for the frequency analysis of drought spells.

In conclusion attention is drawn to the advisability of using in agriculture precipitation data affected by a probability index rather than average data. Several ways of representing these probabilities in a synthetic way are presented.

11. Evaporation

Precipitation is extremely important for agriculture. However, its real meaning in this respect is given by the existing balance between water gains (rainfall) and losses (evaporation).

The chapter explains the methods of calculating evaporation and evapotranspiration, taking into account the broad scale of this survey. The Penman method has been used for the determination of potential evapotranspiration for the 69 reference stations and simplified calculation forms are presented. The methods of Thornthwaite, Turc and Hargreaves are also presented.

Average values of evapotranspiration are used and its limited variability at a monthly scale is demonstrated. The variation of evapotranspiration with altitude in terms of percent of the energy balance is also shown.

12. Water balance

Evapotranspiration data combined with those of rainfall are very important for the calculation of the length of the growing season and to determine to what extent crops water requirements are satisfied during their vegetative cycle. A form for the calculation of the water balance is shown. In view of the general scope of the survey, "severe" work hypothesis for these calculations have been taken, namely that the consumption of stored water in the soil is made at the "potential" rate and that water storage capacity of the soil is only of 100 mm. Data for a storage capacity of 200 mm are also produced for information in the water budgets established for the 69 reference stations.

A bar chart has been produced to show for all the reference stations the length of the period with water available. These general data can be adapted to the specific requirements of crops by using appropriate factors. An example of a water balance according to Thornthwaite is given as well as a more detailed water budget.

13. Maize

The maize crop, which has its origin in the Andean region, is of great importance for the populations of the highlands. Its area of cultivation has increased during the last decade and yields tend also to increase slightly.

For this reason a large part of the agricultural research in the region has been dealing with maize. In the equatorial zone its altitudinal limit of cultivation is of the order of 2600 m and the yield results obtained with improved varieties vary from 4000 to 6000 kg/ha.

In the tropical area the cultivation of maize has the following characteristics: higher limit of cultivation, shorter growing cycles, seasonal concentration of rainfall.

Maize is grown until 3100 m in Peru and until 3600 m in Bolivia. It is rather exigent regarding temperature during the growing cycle: germination is optimum with a temperature of 18°C. Any temperature lower than 8°C during the growing cycle stops growth. Between 8° and 28°C growth rate is double for every 6° increase. Over 30° there is a disequilibrium between water absorption and transpiration which, if occurring at flowering time, may cause sterility and hence decrease in productivity. Rainfall during the growing cycle must be of at least 500 mm. The length of the growing cycle increases with altitude from 120 days at sea level until more than 200 days over 2000 m in altitude. Results of important works carried out in the various countries of the area on maize ecology are presented together with conclusions and recommendations for further work on the influence of climatic factors on yield and production.

14. Wheat

Wheat has been introduced in the Andes after the Spanish colonization. During recent decades new introductions and local breeding work have completely changed the varietal composition. Wheat is cultivated in the whole area between 1500 and 3400 m. Yields taken at a national scale vary from 500 to 1500 kg/ha according to the level of agricultural practices.

Vegetative cycles are very different according to variety, altitude and latitude and vary from 100 to about 260 days. Wheat requirements with respect to soil, chemical and physical conditions are higher than the other cereals'. Precipitation must be of the order of 500 to 600 mm for good yields and the average temperatures during the growing period must be 12-14°C. In the northern part of the region, with two rainy seasons, it is possible to obtain two harvests in the same year.

Wheat is very sensitive to the radiation and reacts to differences in sunshine received during its cycle. Influence of temperature expressed as degree-days is also examined.

Wheat is also sensitive to rusts of various kinds, which prove more or less serious according to climatic factors, reflected largely by altitude.

15. Barley

Barley has been introduced to the Andean region since the Spanish colonization. It is utilized for direct consumption, the beer industry or as a fodder crop.

Average yields go from 700 until 1800 kg/ha. In the equatorial area it is cultivated in the best conditions between 2300 and 3800 m. Barley is affected by excessive rainfall and strong winds. It is more drought-resistant than wheat. One of the best environments is the sabana de Bogotá, where yields go up to 4-5 ton/ha with rainfall during the cropping seasons of 500-600 mm and average temperatures in the order of 11-18°C. The cropping calendar must be adjusted so as to have decreasing rains after the flowering stage and at the same time to avoid frost periods towards the end of the vegetative cycle. The length of the vegetative cycle varies according to variety and environment from 130 to 250 days.

16. Quinoa

Quinoa is the main indigenous grain crop of the cold Andean highlands. Its high protein content makes it comparable to animal protein and is much higher than that of the other cereals cultivated in the Andes.

This crop is also resistant to frost and to saline soils. Its genetic origin seems to be in Bolivia and Peru. The most important climatological factor for quinoa is the minimum temperature. The crop is cultivated between 3000 and 4000 m in an area with high frost risk, even during its vegetative period. Rainfall during the vegetative cycle goes from 200 to 500 mm. This crop requires also shorter days for flowering and grain ripening. It generally requires fertilization, mostly Nitrogen, and can then produce 2200 kg/ha. In view of its wide leaves, hail represents serious hazard for quinoa. The vegetative cycle is generally 6-12 months for altitudes of about 3000 m and rainfall can be variable accordingly. Some quinoa varieties can withstand frosts of -5°C.

17. Potato

Potato originates in the Andean region and is characterized by a great number of cultivars with an ample range of ecological requirements. It is cultivated under a large range of agricultural practices.

In some parts of the equatorial zones with a bimodal rainfall distribution, two crops may be grown in the same year; otherwise the single cropping season is always imposed by the availability of water and the frost free period. The vegetative cycle is concluded between some 90 days at lower altitudes (1800 m) and 340 days at 3400 m in the equatorial zones. In the tropical areas potato is grown from 500 m to 4000 m, with a vegetative cycle going from 90 to 200 days. Some of the cultivations made in lower lands are irrigated.

Yields from traditional potato varieties are very low, from 5 to 8 tons/ha, while improved varieties produced in the area yield up to 30 tons/ha and more. While imported potato varieties may give good yields at lower altitudes, high yields at altitudes of over 2000 m are obtained mainly with Andean varieties.

Frost problems are ever present in the Andes and major research is carried out to breed short cycle varieties with increased frost resistance. Potato is subject to a number of pests and diseases which are in most cases dependent on climatic factors for their development. A summary table has been prepared to this effect. Potato, being a tuber crop, also presents some specific problems regarding the storage either for seed or for food. Some indications on the best conditions for potato storage are presented.

18. Oca

The oca or yam is the tuber crop which comes second in order of importance after potato. It is typical from Venezuela to Argentina. All the varieties are from clonal origin, since this plant only propagates vegetatively.

Oca is frost resistant and can be grown until 4100 m of altitude. It is harvested at 8 months at 3000 m in Colombia and at 10-12 months at 3500 m. Yield is about 5 to 7 ton/ha. Some varieties develop leaf pigmentation or pubescence, which seems to increase the frost resistence of the plant. Rainfall requirements are of the order of 500-700 mm.

19. Ulluco

Ulluco is a typical traditional Andean crop which as a tuber crop comes in second place, together with oca, after the potato. It is found in the Andean ridge between Venezuela and northern Argentina at altitudes between 2000 and 3500 m. The range of varieties is very large to cover the various ecological conditions enccuntered.

Its vegetative cycle goes from 140 to 360 days. Harvest, especially in the southern area is conditioned by the occurrence of frosts, which gradually affects the vegetative part. Yields on large areas are in the

order of 4-5 ton/ha. The tuberization in the zones apart from the equator seems to initiate with the shortening of the days. Ecological conditions may be very variable. An average temperature of 9-13°C and rainfall from 400 to 700 mm during the growing cycle seems to be adequate.

20. Arracacha

Arracacha is a root crop cultivated from Colombia to northern Bolivia. Its roots and stem contain a very fine starch. It is believed, according to the extent under cultivation and its genetic variability, that Colombia is its country of origin. Its propagation is normally vegetative. Its contents in minerals is higher than in the potato.

This crop is sown between 1000 and 2500 m and is more exigent as regards rainfall (1000 mm yearly) and soils. With adequate rainfall it can be sown during the whole year and is harvested after 10-12 months. Its yield is between 3000 and 10,000 kg. The yield of the stem represents 1/3 of that of the root. Being used as a subsistence crop, and in view of the poor conservation of the roots, the crop is harvested over a period of several months.

21. Beans

In the highland area beans are generally grown at the levels of 1000 to 2000 m for local use. This cultivation is very old in the area and a lot of varieties allow adaptation to different ecological conditions. Traditional yields in the highlands vary from 300 to 700 kg/ha. Improved varieties yield up to 1500 kg/ha.

In the northern part of the area, due to the bimodal precipitation pattern, beans can be sown either in Spring or Autumn. In the more tropical areas they are sown between September and December. The length of the growing cycle is very variable and goes from a minimum of 75 days to a maximum of 330 days at altitudes of 3000 m.

The best average temperature for the growing cycle is 17°C, with more than 8°C at germination and 15°C at flowering. Beans are rather sensitive to rainfall distribution during their growing cycle. Rainfall should be 200 to 350 mm for the vegetative cycle, decreasing to 150 mm for the 75 day varieties. Low temperatures of 2 to 6°C are not supported by plants and high temperatures may cause flowering to abort.

Beans are often in rotation with graminae like cereals and grasses. Association with maize is rather common.

22. Broad beans

Broad beans are characterized by a high resistence to frost and are cultivated up to 3900 m. They are an important source of vegetal protein.

The vegetative cycle goes from 120 days at an altitude of 1800 m to 290 days at about 3000 m. Traditional yields range from 600 to 1000 kg/ha, while improved varieties yield up to 2000-3000 kg/ha. Beans are often associated with other crops or sown before the harvest period of other crops like legumes. Their water requirement for cultivation between 2000 and 3000 m is of the order of 2-3 mm per day.

23. Indian lupine

Indian lupine is a secondary crop of the Andean area. It is generally cultivated above 3000 m, and very often utilized in hedges to separate fields or to create enclosures for livestock. Its value comes from its high protein content.

In equatorial regions it is sown anytime of the year and its vegetative cycle is of about 300 days. Further south it is sown at the beginning of the rains and is harvested after some 300 days. It is relatively resistant to frosts. Precipitation during the cycle must be of at least 450 mm. Yields at national levels vary from about 600 to 1000 kg/ha.

Conclusions and recommendations

Based on the work carried out during this agroclimatology survey, some conclusions are drawn and recommendations for future work on a more detailed scale are presented.

I. DESCRIPCION FISICA GENERAL DE LA ZONA

Esta encuesta se refiere a la región montañosa, comprendida entre 1000 m y 4000 m de altitud, de Colombia, Ecuador, Perú y Bolivia. También se estudia la dorsal andina que se extiende hasta el interior de Venezuela y que está representada por cuatro estaciones de referencia. La Cordillera de los Andes se extiende sobre todo el subcontinente de América del Sur con una longitud de unos 6000 km. La zona a la que se refiere la presente encuesta tiene unos 3000 km de longitud. La anchura y la forma de este corte vertical varían tal como se indica en las figuras 2 a 5 y en los distintos gráficos contenidos en el capítuló 5 . La parte septentrional del mismo, dentro de Colombia, comprende tres dorsales separadas por dos valles importantes, los del Cauca y el Magdalena, y su anchura general está comprendida entre 100 km y 300 km (figura 2).

Dichas dorsales se unen para constituir una cadena montañosa más alta y homogénea que cruza el Ecuador con una anchura que no excede de 150 a 200 km (figura 3). Más al sur esta cadena se hace más ancha para alcanzar su mayor extensión en Bolivia, donde cubre una amplia faja de más de 500 km de anchura, incluido el verdadero altiplano en el que se sitúan importantes lagos como el Titicaca y Poopo y otros lagos salados fósiles y depresiones (figura 5).

Esta impresionante dorsal montañosa ejerce efectos muy determinantes en la meteorología y el clima de la región. En la zona situada cerca del Ecuador, las temperaturas de la región estudiada se caracterizan por un régimen estacional y anual muy uniforme, mientras que las variaciones diurnas de temperatura son mayores que las correspondientes a las zonas ecuatoriales más bajas. Dichas variaciones dependen también en gran medida de las condiciones locales de humedad del aire, exposición, etc. También se observan mayores variaciones estacionales y diurnas de temperatura al aumentar la latitud. Desde el punto de vista espacial también, las diferencias climáticas son más agudas debido a la preponderante función que ejerce la altitud en cada región.

También es determinante la función que esta cadena montañosa ejerce en la distribución de la lluvia. En realidad podemos observar distribuciones de lluvia drásticamente distintas según la localidad de que se trate, que varían desde la correspondiente al muy húmedo clima ecuatorial típico de las vertientes orientales situadas en el límite de la selva amazónica, expuestas a un flujo bastante continuo de aire cálido y húmedo, cuya humedad se condensa debido a las corrientes ascendentes, hasta la del clima tan seco que predomina en las vertientes suroccidentales peruanas y bolivianas de los Andes. Entre estas distribuciones extremas existen numerosas combinaciones en las que intervienen principalmente, en lo que respecta a los valles interiores, los procesos de convección y condensación que dependen en gran medida de los vientos locales motivados por las desigualdades de la radiación solar recibida y por las diferencias de pendiente y orientación del terreno.

Esta gran diversidad climática de la región montañosa de América del Sur, así como las facilidades que siempre ha ofrecido desde los tiempos más remotos para el asentamiento de la población humana, han dado como resultado que incluso hasta la fecha dicha región sea todavía una de las zonas más pobladas de América Latina.

Como introducción, exponemos en cuatro mapas resumidos la extensión de la encuesta. La zona rayada representa la región comprendida entre 1000 y 4000 m de altitud (figuras 2-5).

También en estos mapas se indica el emplazamiento de las estaciones climatológicas de referencia elegidas por ser representativas, por la calidad de los datos observados y por su interés para la agricultura. Además, con respecto a cada una de las estaciones y para facilitar una comparación aproximada de su ecoclima, publicamos un diagrama que contiene:

a) Una línea de trazo fino que representa la distribución media mensual de la lluvia.

b) Gráficos en el lado positivo del eje de abscisas que representan el exceso de lluvia con respecto a la evapotranspiración potencial estimada.

c) Gráficos en el lado negativo del eje de abscisas que representan el déficit de lluvia con respecto a la evapotranspiración potencial.

Estos diagramas se fundan en los datos que también se reproducen en el texto. También presentamos las mismas mapas con diagramas que indican (figuras 6-9):

a) Una línea de trazo para la temperatura media mensual;

b) Gráficos que representan medias de las temperaturas máximas, mensuales y medias de las temperaturas mínimas mensuales.

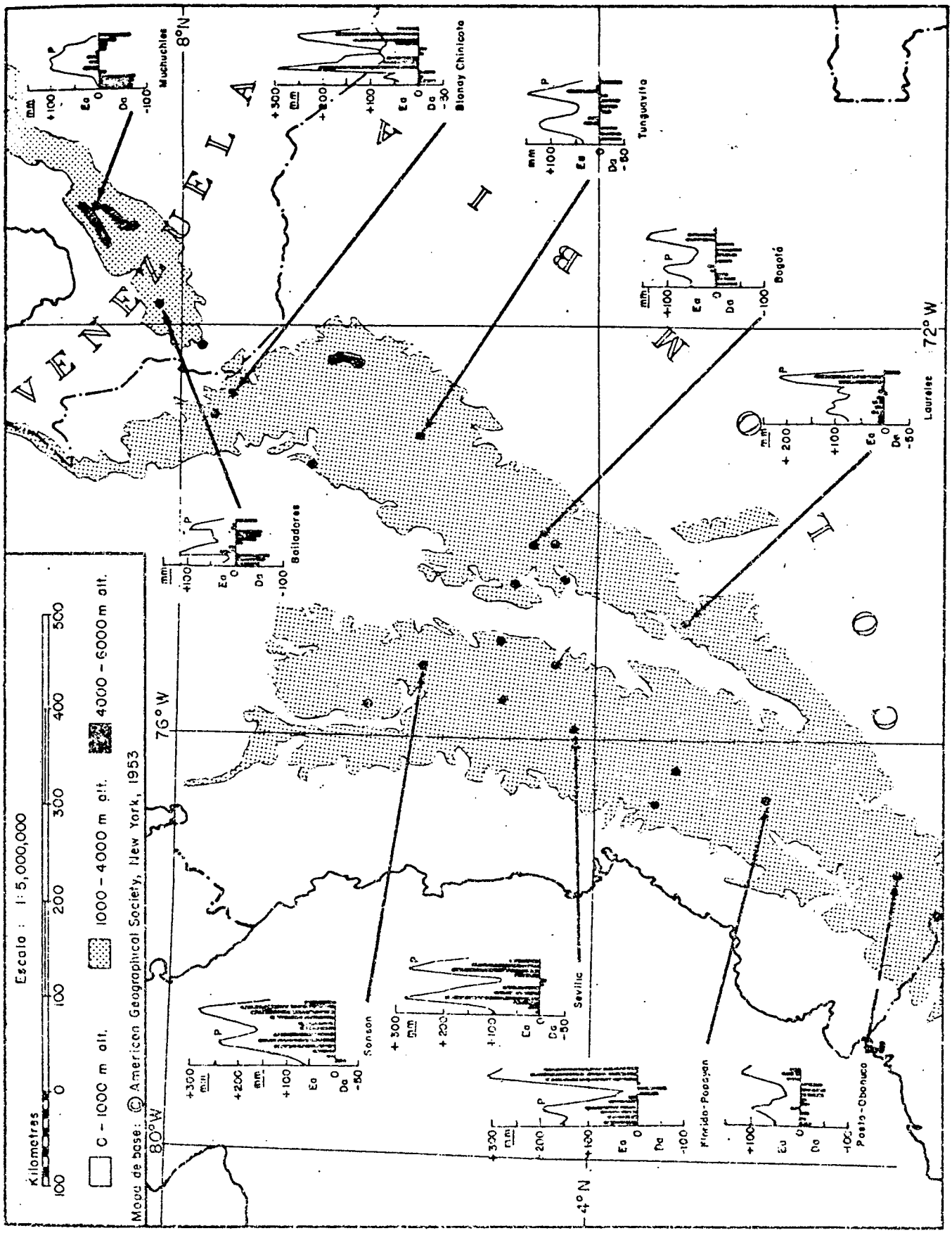


Figura 2 Mapa general de la zona andina de Venezuela y Colombia con las estaciones de referencia y diagramas indicando lluvia, exceso y deficit de agua.

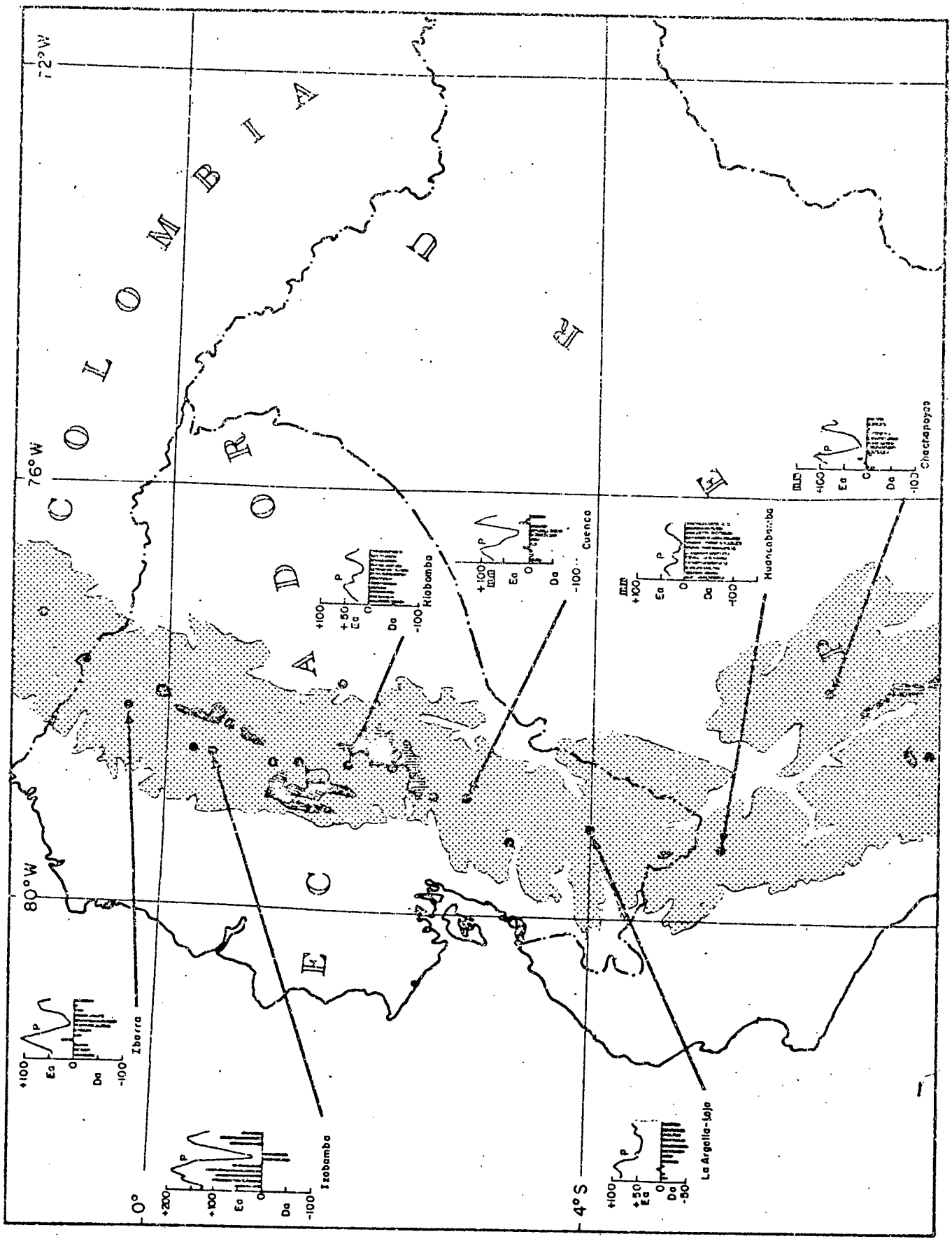


Figura 3 Mapa general de la zona andina de Ecuador y Peru con las estaciones de referencia y diagramas indicando lluvia, exceso y deficit de agua.

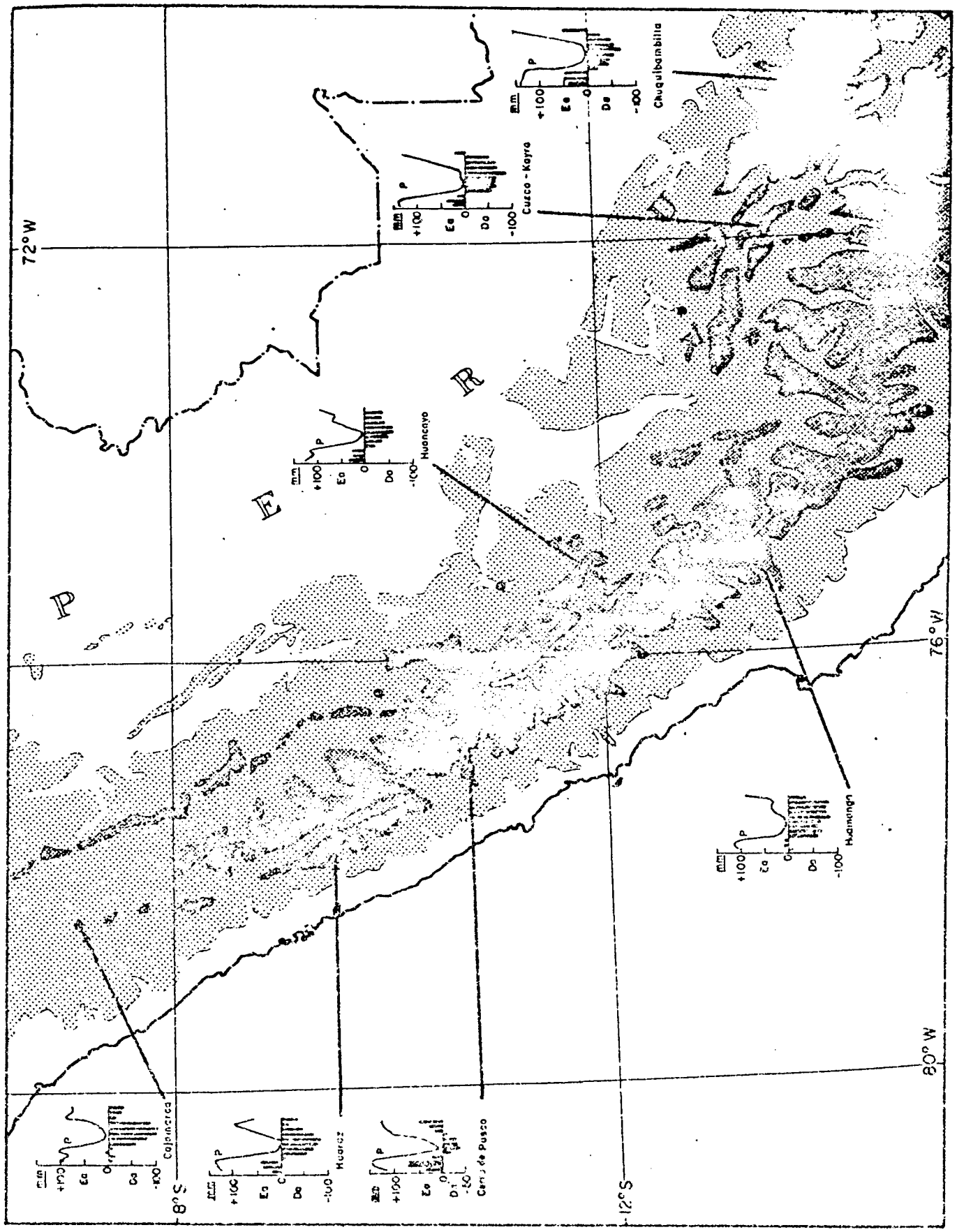


Figura 4 Mapa general de la zona andina en Peru con las estaciones de referencia y diagramas indicando lluvia, exceso y deficit de agua.

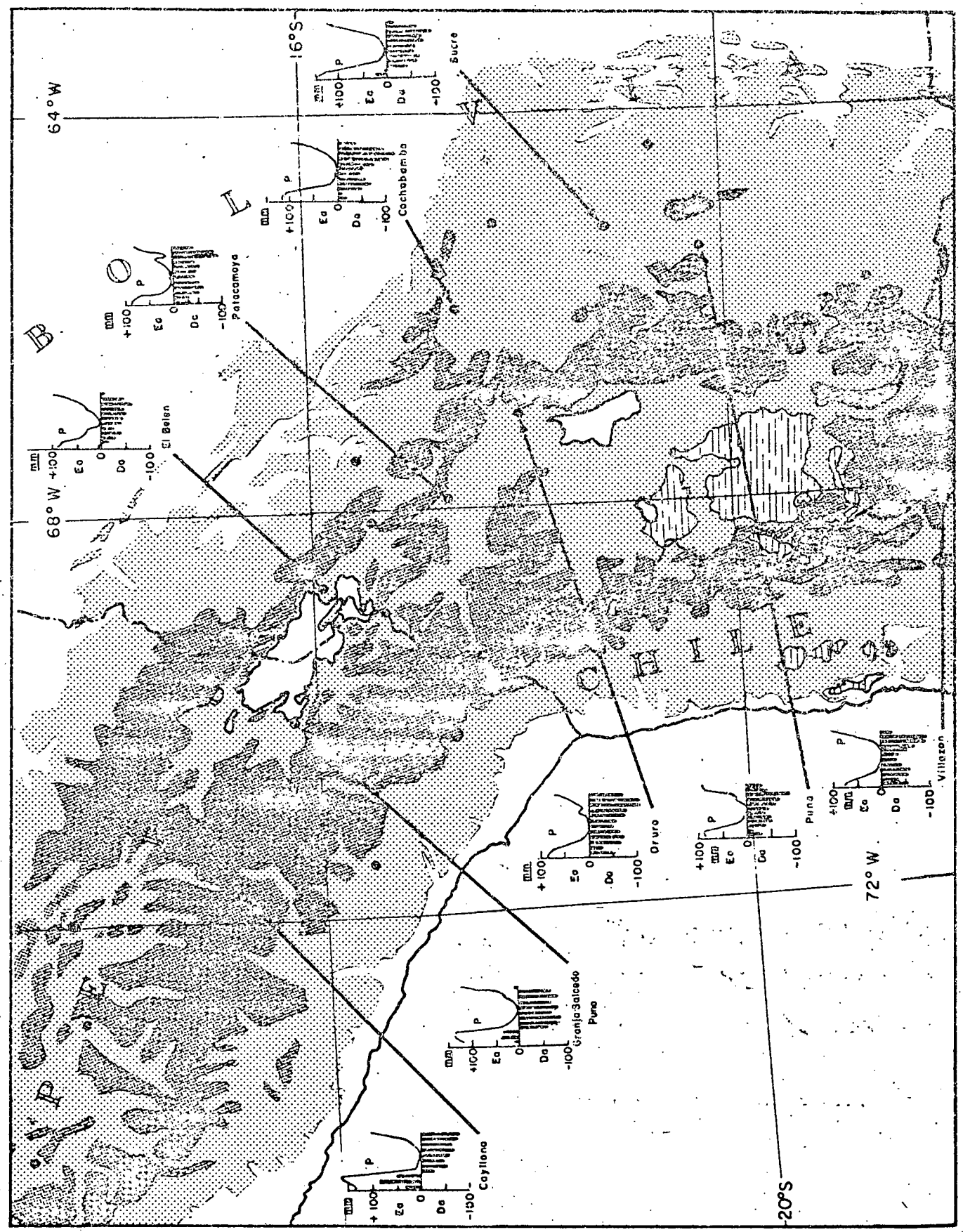


Figura 5. Mapa general de la zona andina de Peru y Bolivia con las estaciones de referencia y diagramas indicando lluvia, exceso y deficit de agua.

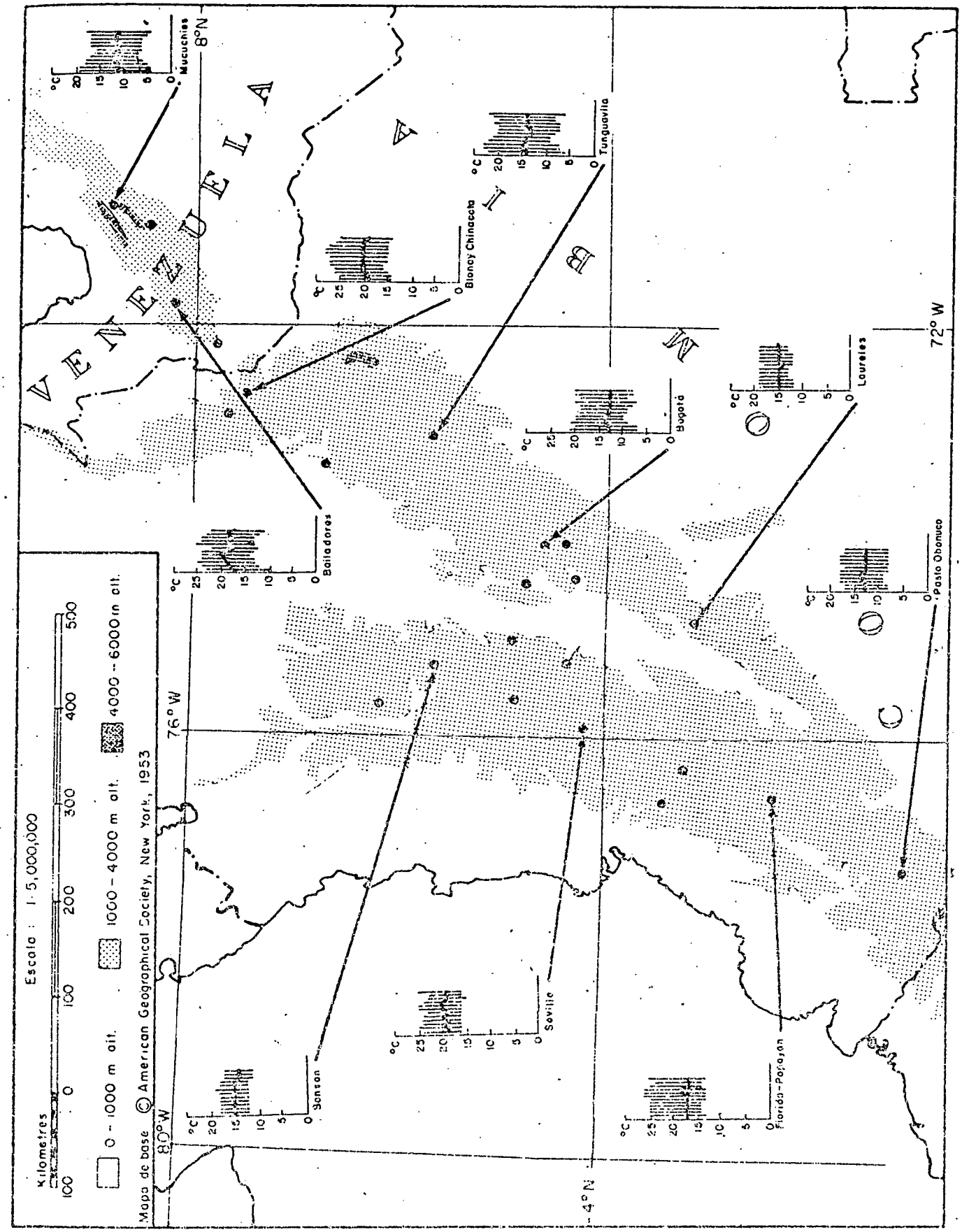


Figura 6 Temperaturas máximas, medias y mínimas para las estaciones de referencia en Venezuela y en Colombia.

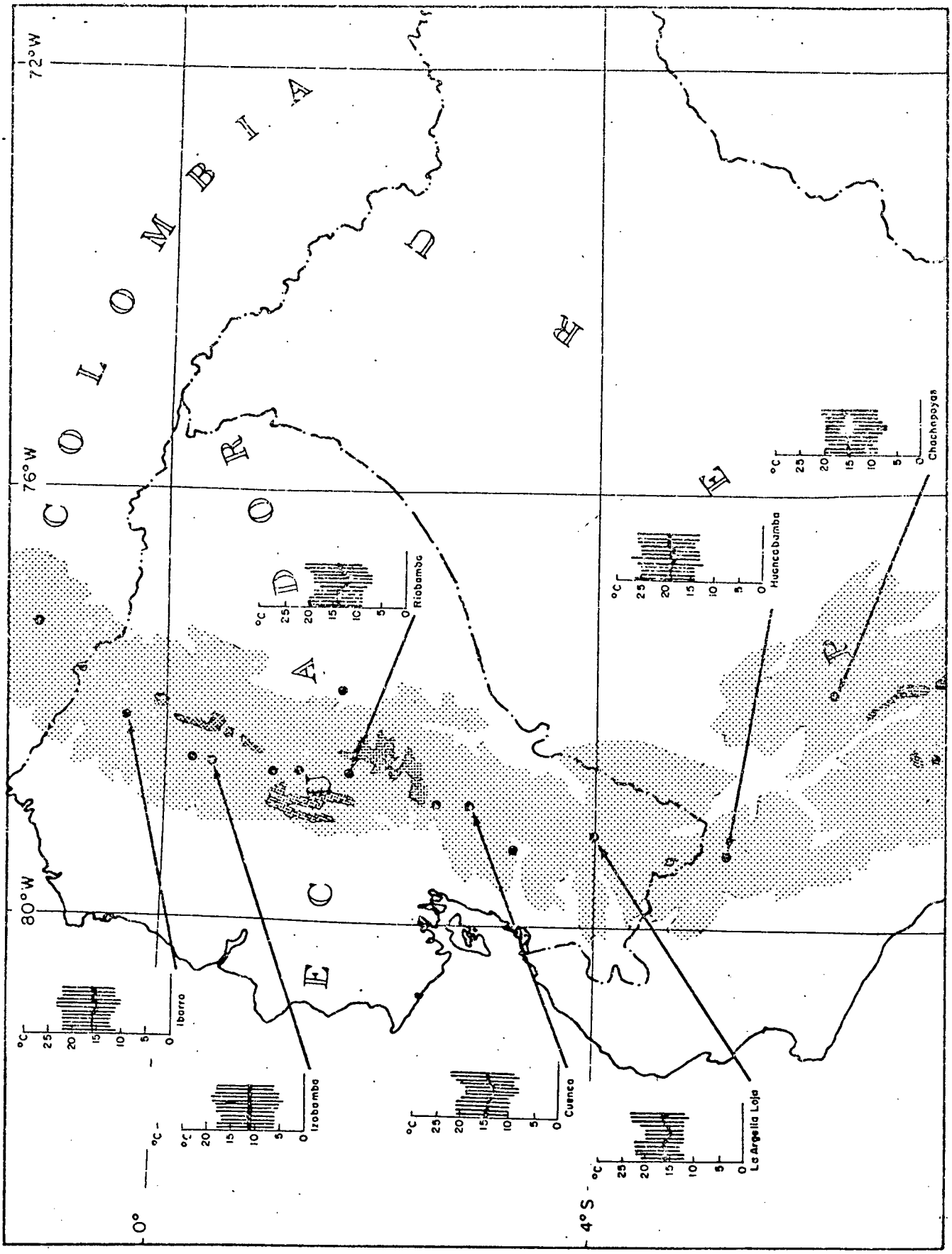


Figura 7 Temperaturas maximas, medias y minimas para las estaciones de refcrencia en Ecuador y Peru.

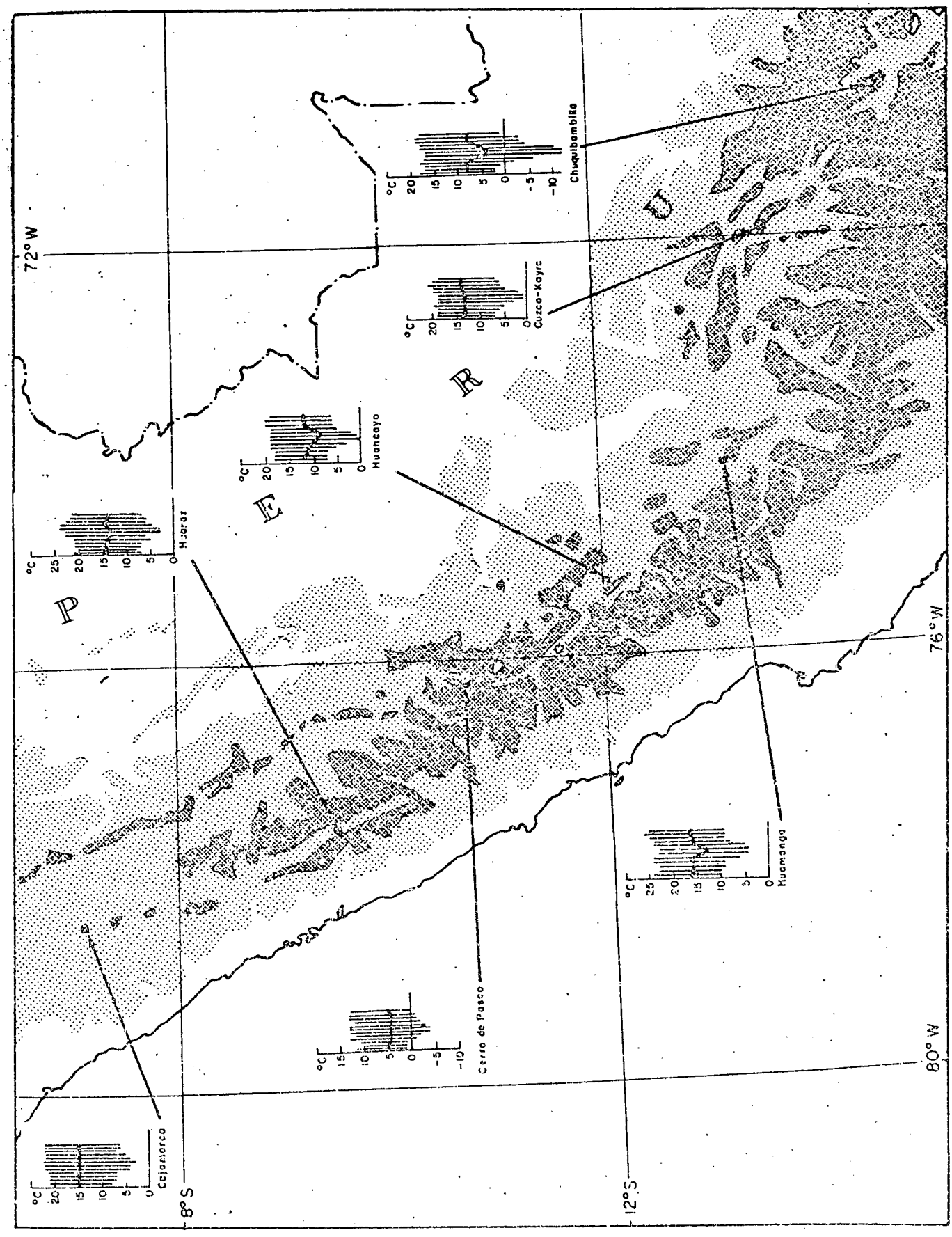


Figura 8 Temperaturas maximas, medias y minimas para las estaciones de referencia en Peru.

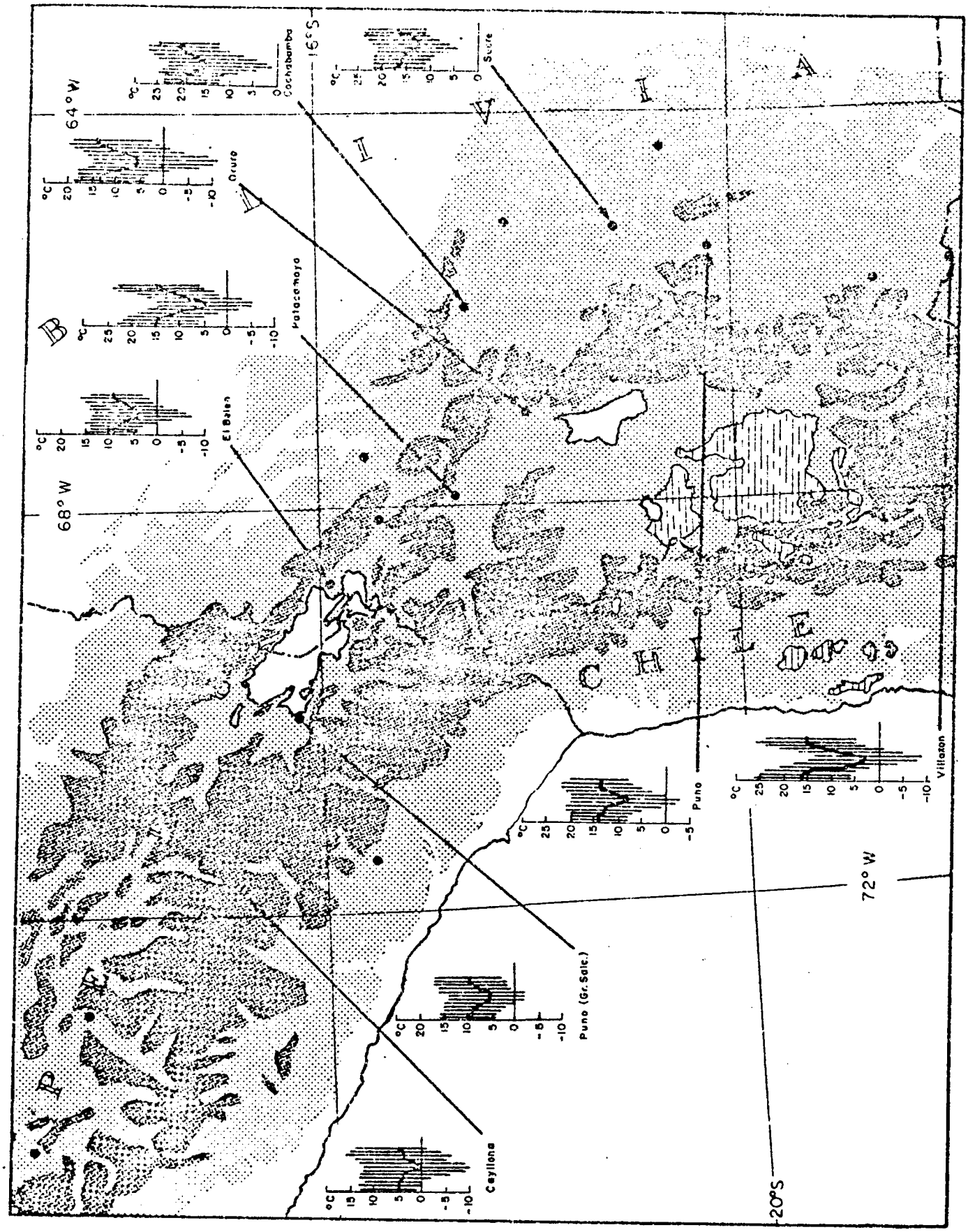


Figura 9 *Temperaturas maximas, medias y minimas para las estaciones de referencia en Peru y Bolivia.*

II. REGIONES DE SUELOS DE LAS CADENAS MONTAÑOSAS DE LOS ANDES *

1. Introducción

La cordillera de los Andes forma un complejo de cadenas montañosas, más o menos paralelas, que se extienden desde Trinidad hasta Tierra del Fuego. El flanco occidental del complejo se caracteriza por un núcleo batolítico alargado, muy visible en Perú y Chile. Las cadenas montañosas orientales se componen principalmente de rocas sedimentarias de metamorfósis local, y de edades diversas. En diferentes partes de las cordilleras de los Andes se encuentran depresiones tectónicas intercaladas entre los montes y llenas de sedimentos terciarios y cuaternarios. El volcanismo se limita prácticamente a las cadenas occidentales, si se exceptúa la actividad de las cadenas orientales del Ecuador. La zona de más intensa acción volcánica se encuentra en los Andes occidentales del sur del Perú.

La evolución de las cordilleras andinas se distingue por una serie de movimientos acompañados por la intrusión de rocas ígneas, en su mayor parte ácidas, y la extrusión y expulsión de lavas y tobas. El primero de esos movimientos se inició en el cretáceo superior y fue sucedido por las fases tectónicas de los períodos oligocénico y miocénico.

Las cordilleras andinas modernas, sin embargo, fueron creadas en el período plio-pleistocénico por un violento plegamiento de todo el sistema. A partir de entonces, la actividad tectónica no ha cesado y aún se producen fenómenos volcánicos y sísmicos. Durante el pleistoceno, diversas glaciaciones extendieron su influencia sobre la región y produjeron la deposición de una cadena de sedimentos glaciales y glaciofluviales.

Durante los períodos glaciales del pleistoceno, la línea de las nieves en los Andes se encontraba a un nivel de 800 a 1000 m más bajo que en la actualidad. Numerosas formas de erosión glacial (cricos y valles sinclinales) y de formas de deposición (depósitos glaciales no estratificados y morrenas) registran la extensión de aquellas glaciaciones.

Por debajo de las zonas afectadas glacialmente se acumuló un abundante material glacio-fluvial en forma de depósitos de terraza, a lo largo de los ríos producidos por el deshielo o en forma de grandes abanicos de detritus al borde de las montañas.

Generalmente, esos depósitos glacio-fluviales están bien estratificados, en contraste con las corrientes de fango y otros depósitos afines creados por los fenómenos sísmicos y volcánicos.

* Extracto del Mapa mundial de suelos FAO/UNESCO. Volumen IV América del Sur. Unesco, Paris, 1971

En la porción central árida y semiárida de las montañas andinas, las zonas glacialmente afectadas descienden rápidamente a través de un cinturón periglacial, cuyos agentes principales de modelación fueron la meteorización por heladas y los movimientos de masas (solifluxión), hasta un paisaje en el cual predominan los procesos en curso de meteorización mecánica y de pedimentación. Los pedimentos están habitualmente cubiertos con una delgada capa de residuos de material poco redondeado y tienen gradas de pendientes escarpadas.

En las partes húmedas de los Andes, la erosión y la disección prosiguieron de modo continuo e intenso durante la era cuaternaria, aunque en los tiempos posglaciales los procesos de erosión han disminuído en actividad debido al desarrollo de una densa cubierta de vegetación que tiende a preservar el relieve existente.

El régimen de humedad varía mucho, desde superhúmedo en las pendientes que dan frente a la cuenca del Amazonas, húmedo en la costa del Pacífico a desértico en la parte central y occidental.

Los procesos de formación de suelos en estos terrenos jóvenes e inestables están dominados por una erosión y sedimentación intensivas, interrumpidas en algunos lugares por ajustes sísmicos y actividad volcánica. Por ello, la mayor parte de los suelos presentan un perfil escasamente desarrollado. Son frecuentes la truncación y la acumulación de materiales coluviales. La fajación horizontal de los perfiles del suelo es muchas veces una herencia de materiales de partida estratificados. De aquí que la clasificación sea sumamente difícil. Los sistemas locales de clasificación de suelos se basan, en gran parte, en los materiales de partida, el tipo de arcilla dominante, la textura y la saturación de bases.

2. Regiones de suelos

En la línea de montañas andinas, marcada con C en la figura 10 , se pueden distinguir cinco grandes regiones de suelos en la región en estudio.

2.1 Andes septentrionales

Esta región es de clima húmedo, pero muchos valles interandinos tienen climas locales que van de subhúmedos a semiáridos. Las temperaturas pueden variar considerablemente en cortas distancias. La mayor parte de la región está cubierta de bosques dispuestos en varios cinturones altitudinales. Las rocas volcánicas forman el principal material de partida en el oeste, pero en la sección oriental los suelos se derivan por lo general de rocas sedimentarias, entre ellas rocas calizas. En el norte, la ramificación en dirección este de los Andes venezolanos, que termina en el norte de Trinidad, comprende grandes zonas de rocas metamórficas mesozoicas.

En el nivel más elevado, entre 3500 y 4500 m, son comunes las llanuras de arbustos ecuatoriales subalpinos y de pastizales. Los suelos derivados de materiales volcánicos son andosoles ócricos, en su mayor parte pobres en bases. Los suelos pueden también derivarse de los depósitos glaciales con cierta mezcla de cenizas volcánicas en la parte superior del perfil. Tienen capas superiores fuertemente desarrolladas, ácidas y de color oscuro, con un contenido de materia orgánica que va de mediano a alto, y se han incluido entre los cambisoles húmicos.

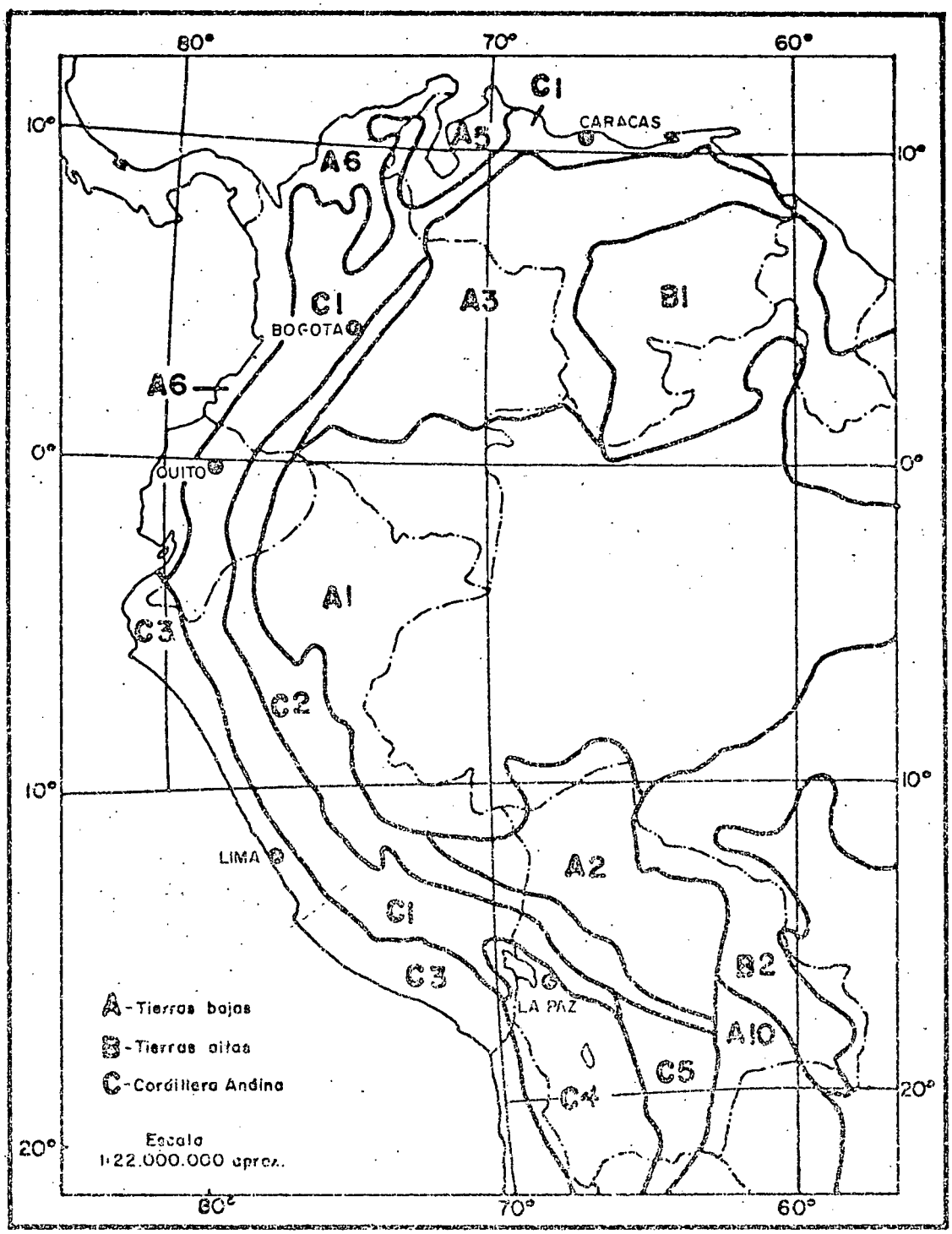


Figura 10 Las principales regiones de suelos.

Los suelos de terreno escarpado comprenden muchos litosoles y cambisoles dístricos superficiales. Los valles interandinos, algo más secos, están formados principalmente por kastanozems pétreos, phaeozems y litosoles. Además, están presentes en los valles más secos los luvisoles crómicos, vertisoles y solonetz. Al norte de Quito existe una importante zona seca donde hay andosoles vítricos. Los montes sudorientales de la región están fuertemente socavados y tienen un clima fresco, nuboso y superhúmedo. Pertenecen a los llamados Yungas de Bolivia. Los materiales de partida consisten principalmente en areniscas y rocas arcillosas. Aparte de los litosoles, que predominan, se presentan también cambisoles dístricos y éutricos, podsoles e histosoles.

2.2 Montes y estribaciones orientales

El muro oriental de los Andes que da frente a las cuencas hidrográficas del Amazonas y del Orinoco es sumamente abrupto. Los sistemas de valles son escasos y las cadenas de montañas, escarpadas. En el Ecuador, una parte de la región tiene un manto espeso de cenizas volcánicas recientes, mientras que en otros puntos prevalecen rocas sedimentarias e ígneas de diferentes edades. El clima es húmedo y la vegetación se compone de cinturones altitudinales definidos de bosques, que varían desde los bosques montanos templados, en los puntos más altos, a los ecuatoriales, en el nivel más bajo.

En las grandes altitudes predominan los litosoles en asociación con los cambisoles dístricos y, en el Ecuador, con los andosoles. Por debajo de unos 2000 m aproximadamente, los suelos son principalmente acrisoles órticos, nitosoles éutricos y, tal vez, ferralsoles húmicos, semejantes a los del sur del Brasil. En la región de Madre de Dios hay zonas extensas formadas por regosoles dístricos asociados con litosoles, entre los 450 y los 1200 m de altitud.

2.3 Montes y estribaciones occidentales

Esta región cubre la parte occidental árida y semiárida de la cordillera andina, junto con el desierto salino y sumamente árido de las tierras bajas de la costa del Pacífico. Su altitud varía desde el nivel del mar hasta unos 3500 m. La aridez está asociada directamente con el efecto deshidratante de la corriente fría Humboldt, que corre hacia el norte a lo largo de la costa del Pacífico y corta y condensa casi toda la humedad de las corrientes de aire que corren desde el oeste.

La vegetación es casi inexistente en las cercanías de la costa del Pacífico. Sin embargo, las pendientes que miran al oeste entre los 150 y los 1000 m tienen una vegetación pobre sostenida por la humedad que resulta de la condensación de las nieblas marinas. Más hacia el interior, las lluvias son escasas y muy irregulares (de 0 a 250 mm) y la vegetación xerofítica resultante varía desde cactus diseminados, en el norte, a espinares, en el sur.

La región puede subdividirse en : el desierto chileno, las tierras bajas del Perú, y las cadenas montañosas desérticas occidentales.

El desierto de las tierras bajas de Chile es la parte más árida de América del Sur. En su mayor parte carece de vegetación y son comunes los llanos salinos. Este terreno, que tiene una elevación general de más 1000 m, está formado por valles cubiertos de lechos de grava, colinas bajas de rocas y granitos sedimentarios endurecidos y algunos fragmentos de viejas superficies de erosión con bloques pétreos diseminados.

Los suelos son principalmente yermosoles regosólicos y litosólicos. Hay solonchaks en las partes más bajas, donde las capas freáticas salinas están próximas a la superficie.

El desierto de las tierras bajas del Perú comprende vastas llanuras secas pedimentarias, interrumpidas por valles aluviales, colinas costeras y terrazas marinas elevadas. En el sur del Perú, los suelos se derivan de las cenizas volcánicas (andosoles vítricos). En el extremo norte se presenta una gran zona de dunas de arenas desérticas (regosoles éutricos). Una característica notable de esta región es la presencia de auténticos bosques xerofíticos de "Lomas" en emplazamientos favorables situados a altitudes de 500 a 700 m. En esta altitud se presentan frecuentemente nieblas persistentes, por lo que los árboles pueden condensar una considerable cantidad de humedad del aire. Casi todo este bosque ha sido actualmente consumido en forma de leña.

Los suelos son principalmente regosoles y litosoles, con presencias secundarias de yermosoles, fluvisoles y solonchaks.

Las cadenas montañosas desérticas occidentales se extienden desde el norte del Perú al centro de Chile y su elevación varía de más de 1000 a 5500 m. El clima varía de árido a semiárido. La vegetación pasa de las formaciones diseminadas de cactus a los matorrales xerofíticos más densos en las grandes altitudes.

La mayor parte de los suelos son litosoles y regosoles, pero, en las formas de terreno más estables, son comunes los yermosoles con subsuelos enriquecidos de caliza (yermosoles cálcicos). En dirección al este, pueden encontrarse suelos con subsuperficies poco profundas y un contenido cada vez mayor de arcilla (yermosoles lúvicos). En el sur del Perú, donde el material de partida es volcánico, se presentan en estrecha asociación litosoles y andosoles vítricos.

2.4 Altiplano andino

El altiplano andino es una enorme cuenca intermontana de alto nivel cuya elevación es superior a 3500 m. Actualmente esta cuenca, que se produjo posiblemente por la fracturación en bloques durante el levantamiento de los montes andinos, está cubierta con los sedimentos de lagos desaparecidos o parcialmente desecados (los lagos Titicaca y Poopó y los restos de los grandes salares).

El altiplano puede subdividirse en una parte subhúmeda, otra semiárida y otra árida.

El altiplano subhúmedo se encuentra en las proximidades del lago de agua dulce Titicaca. Las precipitaciones lluviosas se reparten entre los 3 6 4 meses de verano. El terreno alrededor del lago es principalmente llano, con fleysoles mólicos y suelos solonetz y solonchak en las depresiones. Más allá de los llanos, la superficie general tiene una elevación media de 3800 m y una topografía entre ondulada y fuertemente ondulada. Al norte del lago son comunes los materiales de partida volcánicos, y los suelos dominantes son andosoles mólicos asociados con gleysoles, histosoles y cambisoles húmicos.

Muchos de los suelos tienen una textura entre media y pesada. En el límite meridional del lago Titicaca son comunes los kastanozems asociados con rendzinas superficiales y litosoles.

El altiplano semiárido comprende grandes llanos salinos, donde se encuentran depósitos cristalinos de sal soluble distribuidos por toda la zona. El terreno va de suave a fuertemente ondulado, con una elevación media de 3750 m. Muchos picos volcánicos aislados alcanzan altitudes muy superiores, algunos de ellos hasta más de 6000 m. Los suelos más extendidos son, tal vez, los formados por cenizas volcánicas, con capas superiores arenosas oscuras diferenciadas (andosoles vítricos). Su color se debe probablemente a la vegetación herbácea predominante. Más al oeste, donde los materiales de partida comprenden materiales no volcánicos tales como sedimentos lacustres, eólicos y fluviales, existen litosoles y xerosoles.

El altiplano árido se encuentra en la prolongación surcccidental del altiplano. Una gran parte del terreno carece de vegetación. Son frecuentes las dunas y los llanos salinos largos y estrechos.

Las cenizas volcánicas de edades diversas y la composición mineralógica tienen una fuerte influencia en la estructura de los suelos y hay grandes zonas de andosoles vítricos. Sin embargo, se presentan también otros suelos a veces con horizontes B arcillosos (yermosoles lúvicos). En Chile, la mayor parte de los suelos no poseen capas superiores de color pardo oscuro y sólo son calcáreos en los subsuelos de color pardo amarillo pálido. La textura no suele ser más gruesa que la de los limos arcillosos ligeros.

Los andosoles vítricos se derivan, por lo general, de arenas gruesas apomazadas, que dan lugar a suelos bastante uniformes en grandes zonas. A veces, el material de partida está formado por cenizas andesíticas y arenas basálticas. El contenido de alófana es bajo, excepto en algunas de las capas enterradas más antiguas de cenizas andesíticas y, por lo general, no hay una distinción acusada entre los suelos derivados de cenizas volcánicas (andosoles vítricos) y los que tienen otros materiales de partida (yermosoles, regosoles).

2.5 Andes centrales orientales

Esta región montañosa fuertemente socavada, que da frente a las tierras bajas del Gran Chaco, presenta un señalado aumento de las lluvias desde las estribaciones orientales, que son semiáridas, al oeste, que es húmedo. La vegetación natural se compone principalmente de formaciones arbóreas montanas, que constituyen la prolongación meridional de los bosques tropicales de los Andes. Existen algunos importantes valles intermontanos y llanuras aluviales relativamente extensas. En la parte oriental, que cuenta con lluvias ligeras de verano, los suelos presentan un mayor contenido de arcilla en el subsuelo. Estos suelos se clasifican como luvisoles órticos y luvisoles crómicos, con predominio de litosoles. En dirección oeste existen cambisoles éutricos y dístricos, asociados también con litosoles.

Los suelos de los valles son principalmente fluvisoles de textura espesa, con zonas locales de solonetz y vertisoles. Muchos son calcáreos en todo su perfil, pero en el extremo norte algunos suelos formados por sedimentos arenosos ácidos muestran claras pruebas de lavado y se asemejan a los acrisoles órticos. Los regosoles dístricos están también probablemente más extendidos en esta región.

3. Glosario

Se consideró útil añadir breves descripciones de los principales suelos. Estas no son definiciones sino que buscan meramente familiarizar el lector con la nomenclatura de la FAO. Para las definiciones, se remite al volumen I, Leyenda, del Mapa de suelos del mundo de la FAO/Unesco.

Acrisoles	suelo que tiene una acumulación de arcilla en el subsuelo con una baja saturación de base
Andosoles	suelo débilmente desarrollo de cenizas volcánicas
Cambisoles	suelo débilmente desarrollado de otros materiales paternales
Ferralsoles	suelo tropical expuesto fuertemente a la intemperie con capacidad de cambio de cationes muy bajo
Fluvisoles	suelo débilmente desarrollado de recientes depósitos aluvionales
Gleysoles	suelo hidromórfico
Histosoles	suelo orgánico
Kastanozem	suelo de estepas subáridas que muestran una acumulación de materia orgánica en la capa superficial, a menudo totalmente calcáreo
Litosoles	suelo poco profundo sobre roca dura
Luvisoles	suelo que tiene una acumulación de arcilla en el subsuelo y una saturación de base entre media y alta
Nitosoles	suelo tropical expuesto fuertemente a la intemperie con una profunda acumulación de arcilla
Phaeozen	suelo de las estepas forestales que muestran una fuerte acumulación de materia orgánica en la capa superficial y una fuerte lixivicación de carbonato de calcio
Podzoles	suelo que tiene una acumulación de hierro y/o humus en el subsuelo
Regosoles	suelo débilmente desarrollado de material no consolidado diferente de depósitos aluvionales recientes
Rendzinas	suelo que tiene una capa superficial rica en materia orgánica sobre un material altamente calcáreo
Solonchaks	suelo que muestra fuerte salinidad
Solonetz	suelo desarrollado bajo la influencia de una elevada saturación de sodio
Vertisoles	suelo de arcilla quebradiza
Yermosoles	suelo de ambientes desérticos

Cálcicos	que tienen una acumulación de carbonato de calcio
Crómicos	que tienen un fuerte color de marrón a rojo
Dístricos	que tienen una baja saturación de base

Entricos	que tienen una saturación de base entre media y alta
Húmicos	que tienen una capa superficial con elevada materia orgánica y una baja saturación de base
Lúvicos	que tienen una acumulación de arcilla en el subsuelo
Mólicos	que tienen una capa superficial con un elevado contenido de materia orgánica y una saturación de base entre media y alta
Ocricos	que tienen una capa superficial con un bajo contenido de materia orgánica y un color pálido
Orticos	que tienen la ocurrencia más común
Vítricos	que tienen un elevado contenido en vidrio volcánico

III. VEGETACION NATURAL

1. Introducción

La vegetación natural de la franja altitudinal ocupada por la agricultura en los altos Andes, desde los 1000-1700 hasta los 4000 m de altitud, presenta notables cambios debidos al clima y al relieve. Las cordilleras que siguen la dirección Norte-Sur determinan dos tipos de vegetación muy diferentes: i) en las vertientes occidentales, y ii) en las vertientes orientales del relieve.

2. En la vertiente occidental, del lado del Pacífico, se pueden distinguir dos tipos generales:

a) La zona de Colombia, Ecuador y parte norte de Perú, donde la alta humedad determina en la franja altitudinal considerada una serie de pisos de bosques montanos, que se inician hacia los 1700-1900 m, con rodales que van disminuyendo en tamaño y densidad de los árboles, hasta ser remplazados por vegetación herbácea, cespitosa o almohadillada, típica de los "páramos", que se encuentra hasta el límite de la nieve permanente. Estas sucesiones no siguen líneas altitudinales uniformes, sino que pueden variar considerablemente con el relieve, humedad y suelos. La composición de los bosques montanos varía también considerablemente. La mayoría de sus componentes, en géneros y especies, son sudamericanos, pero algunos elementos del norte, como los robles (Quercus), aparecen en Colombia. La zona de bosques montanos entre los 1700-2700 o 3000 m, con temperaturas entre 12-18° C y precipitación bastante baja (600-1000 mm), forma la principal región agrícola en los Andes del Norte, especialmente en los valles intermontanos y las pendientes suaves de las cordilleras. En estas áreas casi toda la vegetación original ha sido destruida. En áreas más húmedas, sobre los 1000 mm de precipitación, existen aún enclaves de vegetación natural.

La franja entre los 2700 y los 4000 m está en gran parte ocupada por páramos, aunque en algunos sitios hay bosques bajos hasta los 4000 m. La región de los páramos tiene una vegetación típica, adaptada a las condiciones extremas de frío y humedad permanente. Como en otras formaciones tropicales de altura. existen plantas caracterizadas por follaje en roseta, cubierto de pubescencia densa, como las Espeletias típicas de Colombia, y los Lupinos de los volcanes de Ecuador. La vegetación predominante son gramíneas herbáceas, de follaje duro y compacto. La región de los páramos tiene poca importancia agrícola y para el pastoreo.

Las formaciones de la Sierra Nevada de Venezuela corresponden aproximadamente a las descritas para la cadena principal de los Andes.

b) Los Andes Centrales y del Sur, aproximadamente desde el paralelo 4° S, presentan en su vertiente occidental formaciones muy distintas del bosque montano. Los factores climáticos determinan una disminución marcada de la humedad con relación a la región costera desde el centro de Ecuador, que se refleja en áreas más áridas. Conforme se avanza hacia el sur, se

convierte en uno de los desiertos más secos del mundo, desde Paita hasta el centro de Chile. Los desiertos costeros en Perú, Chile y Bolivia penetran profundamente en las cordilleras. En el centro de Perú se pasa de ellos a una zona de Tillandsias terrestres, cactáceas y otras xerófitas. Más arriba, entre los 2700 a 3500 m de altitud, se presenta un bosque seco, perennifolio, que incluye las pendientes occidentales de la cordillera y los valles intermontanos. Esta zona semiárida es el hogar de la agricultura andina, que se desarrolló bajo riego o precipitación natural sobre los 2500-2700 m de altitud. Más arriba del bosque seco se encuentra la puna, que es la contraparte sureña de los páramos. Como en éstos, la composición florística cambia radicalmente según la humedad del suelo, pero, en general, es una región de baja humedad. Se prolonga hacia el sur en los "salares" de Bolivia y Chile. Las plantas de la puna presentan características similares a las plantas de páramo: arrosetamiento, cutícula dura para evitar la pérdida de agua, crecimiento compacto y en las que viven en los pisos superiores, formas de almohadilla, que ocurren en especies de familias muy distintas. De esta zona provienen las quenopodiáceas de grano (quinua y cañihua), tubérculos como la papa, oca, mashua y otros cultivos menores típicos de la agricultura andina.

3. La franja oriental de los Andes, sobre los 1800 m, presenta una mayor uniformidad longitudinal. De Venezuela a Bolivia es una serie de pisos de bosques montanos, con alta humedad y una composición florística muy compleja. En Perú se le conoce con el nombre de "ceja de montaña", dejando este último término para designar la selva amazónica. En Bolivia cubre la parte superior de los "yungas"; en Ecuador, Colombia y Venezuela alcanza su mayor desarrollo en términos de especies y vigor de sus componentes. La alta humedad y el terreno muy quebrado de esta zona y la dificultad de medios de transporte han hecho que gran parte de la franja oriental esté aún cubierta por vegetación natural.

La influencia del hombre sobre la vegetación natural en los altos Andes es un factor primario en la transformación del paisaje. Aunque es evidente que esa influencia se ha intensificado desde la llegada de los europeos, las pruebas arqueológicas indican que el hombre ya vivía en los altos Andes hace más de 10 000 años. Su acción en la deforestación es quizá la más importante y se intensificó con las explotaciones mineras. Hasta se ha dicho que la puna es obra del hombre, ya que los pocos enclaves de árboles que aún quedan indican que pudo estar cubierta de selvas. La influencia de los incendios, del pastoreo intensivo y de los cultivos son otras fuerzas que han contribuido a los cambios de la vegetación natural.

Por otro lado, el hombre ha establecido un paisaje nuevo. Si hay alguna planta que se pudiera describir como "característica" de los Andes es el eucalipto, introducido a fines del siglo pasado. Igual cosa ocurre con los pastos, como el kikuyo. Si uno mira un rincón de la sabana de Bogotá, la composición principal del mundo vegetal es exótica; de fondo, los eucaliptos o acacias australianas; de cerca, el kikuyo que cubre la mayoría de la sabana, y aún algunas de las malezas más notables son africanas, traídas posiblemente con la semilla de pastos. En la sierra de Perú la maleza más llamativa es la retama del Mediterráneo, y los eucaliptos predominan tanto en las barrancas de la sierra como en las orillas de las ciudades. Un historiador francés no tuvo cuidado en incluirlos en el paisaje de Cajamarca a la llegada de Pizarro. Es por lo tanto extremadamente difícil restaurar lo que pudo ser la vegetación original hasta que los perfiles de polen no se hayan estudiado. En cuanto a los esfuerzos por promover que la vegetación de árboles original, como Polylepis, Weinmannia, Hesperomeles, Escallonia y otros, vuelva a dominar el paisaje, sus posibilidades son quizá menores que la introducción de más especies exóticas.

IV. METEOROLOGIA Y CLIMA DE LA REGION

1. Generalidades

1.1 Terminología

La palabra meteorología debe entenderse en la presente encuesta en su sentido más amplio de ciencia del tiempo, mientras que clima y climatología significan de manera más precisa las características acumulativas e integrativas del tiempo, sus repeticiones y excepciones. Se entiende que la climatología forma parte de la más amplia disciplina que constituye la meteorología.

Habitualmente las plantas integran el efecto del tiempo, que a su vez se traduce en determinado comportamiento que refleja el clima. También son muy sensibles a las desviaciones de los factores climáticos con respecto a sus valores medios y tienen reacciones específicas ante los valores extremos de los parámetros climáticos.

1.2 Exigencias climáticas de las plantas

La radiación y la luz, la temperatura del aire y la disponibilidad de agua constituyen las principales exigencias de las plantas para su crecimiento y desarrollo. Las especies de plantas cultivadas tienen diversas exigencias a este respecto y este hecho condiciona las zonas de distribución de dichas especies.

Además de la gama de fluctuaciones de los distintos parámetros climáticos en relación con las diferentes especies cultivadas, existe otro importante elemento principalmente para los cultivos anuales, que es la distribución temporal de determinados valores de los parámetros climáticos y su persistencia en el tiempo. En otras palabras: si la lluvia anual constituye un dato importante, su distribución a lo largo del año, para garantizar un suministro adecuado durante el ciclo evolutivo de la planta, resulta absolutamente fundamental.

1.3 Características agroclimáticas de la región

a) Radiación y luz

En la región objeto de la encuesta y como consecuencia de su latitud tropical, la cantidad de radiación solar recibida en el límite de la atmósfera continúa siendo elevada durante todo el año, con algunos mínimos al norte y sur de los 10° de latitud durante el invierno local.

La cantidad de radiación solar recibida al nivel del suelo, aunque continúa siendo bastante alta, dependerá de la capa de nubes que a su vez es función del movimiento aparente estacional del sol. Conviene observar que la menor incidencia de rayos solares en las zonas tropicales durante el invierno local queda parcialmente compensada por el menor espesor de la capa de nubes que se produce en la misma estación del año, lo que a su vez origina mayores pérdidas de radiación infrarroja y temperaturas más frías.

b) Temperaturas del aire y el suelo

Como resultado de las diferencias de radiación solar recibida durante las distintas estaciones del año, las temperaturas del aire y el suelo varían en el año y son máximas en las latitudes tropicales. El mayor gradiente de temperatura media se debe a la altitud y su valor es de aproximadamente 0.6° por cada 100 m. En la parte ecuatorial de la región objeto de la encuesta y dado que la variación anual de temperatura es muy poco acentuada, la agricultura no se ve gravemente afectada hasta altitudes comprendidas entre 2500 y 3800 m. Por el contrario, en las regiones tropicales, al pasar de 10° de latitud sur, la aparición de escarcha a la misma altitud durante buena parte del año limita el ciclo de crecimiento de las plantas a los períodos de ausencia de dicho fenómeno. Por supuesto, dicho período de crecimiento se reduce aún más al aumentar la altitud y la latitud. Por otra parte debemos añadir que en la mayoría de estas regiones la falta de lluvia durante el invierno representa probablemente un factor limitativo de por lo menos igual importancia.

c) Lluvia y disponibilidad de agua

El suministro de agua de lluvia en las montañas de América del Sur es en general bastante adecuado, por lo menos en lo que concierne a la parte ecuatorial comprendida entre 5° de latitud norte y 0°. Sin embargo más al sur la distribución monomodal de la lluvia, caracterizada por una sola estación lluviosa, es cada vez más evidente y limita la posibilidad de las faenas agrícolas a una sola estación, que se acorta a medida que aumenta la latitud.

En lo que respecta a la disponibilidad de agua para las plantas, hemos observado desde luego una reducción de la evapotranspiración debida a la altitud que, por otra parte, queda compensada parcialmente por la mayor entrada de radiación solar. En general, la disponibilidad de agua constituye una de las principlaes limitaciones para la producción agrícola en las montañas andinas situadas por encima de 2000 m.

2. Circulación general de la atmósfera

Debido a su situación y extensión desde 10° de latitud N hasta 30° de latitud S, la región queda completamente en la zona de influencia de la circulación atmosférica tropical. Como ya se sabe, la circulación general atmosférica en esta región se caracteriza esquemáticamente por núcleos de alta presión centrados habitualmente en ambos trópicos y por una zona de depresión denominada Zona de Convergencia Intertropical (ITCZ) que está situada entre los dos núcleos de alta presión y sigue el movimiento aparente del sol con un retraso de 5 a 6 semanas.

El gradiente de presión entre los núcleos de alta presión y la zona de convergencia intertropical origina un flujo superficial de aire desde los trópicos al ecuador. Sin embargo, dicho flujo se desvía hacia la izquierda por el movimiento de rotación de la tierra y da origen a los vientos alisios que soplan del sector NE en el hemisferio norte y del SE en el hemisferio sur.

Las zonas tropicales, por estar la mayor parte del tiempo bajo la influencia de aire seco bastante frío, disfrutan en general de buen tiempo seco, mientras que la región situada en las bajas presiones de la zona de convergencia intertropical se caracteriza por un cielo entre nuboso y

cubierto, algunas veces con importante turbulencia aérea que motiva la aparición de procesos de fuerte convección y condensación.

Por otra parte, conviene aclarar que el área correspondiente a las depresiones de la zona de convergencia intertropical no tiene el acentuado carácter de los núcleos de baja presión que se hallan en las zonas templadas y es en realidad un lugar en donde la inestabilidad se manifiesta de manera un poco más acentuada que en otras zonas y crea ciertas condiciones que probablemente han de perturbar la estructura atmosférica.

2.1 Posición de la zona de convergencia intertropical (ITCZ) dentro de la región montañosa de América Latina

Se sabe que la posición media de la zona de convergencia intertropical fluctúa dentro de ciertos límites, de acuerdo con la posición cenital aparente del sol en la bóveda celeste. Este movimiento tiene una amplitud de unos 20° de latitud en Africa y alcanza más de 30° en Asia. En América del Sur la situación es muy diferente. Vemos en la figura 11 que la posición media de la ITCZ tanto en el Pacífico como en el Atlántico tiene una amplitud anual de sólo 8 a 10°. Este movimiento es de la misma amplitud en las regiones montañosas de América del Sur, alcanzando la ITCZ posiciones extremas de aproximadamente 0° en febrero y de 7° de latitud N en julio. Esta amplitud tan escasa ejerce fuerte influencia en la distribución anual de lluvia dentro de la zona.

Al este de las regiones montañosas, el área cubierta por la ITCZ se ensancha algo a medida que, durante el verano del hemisferio sur, la línea de convergencia intertropical, que cruza el subcontinente aproximadamente desde el Ecuador hasta la desembocadura del Amazonas, se asocia con la zona de baja presión centrada en Bolivia oriental, Perú y Brasil y genera en la mayor parte del continente latinoamericano una zona de depresión con características similares a las de la misma ITCZ.

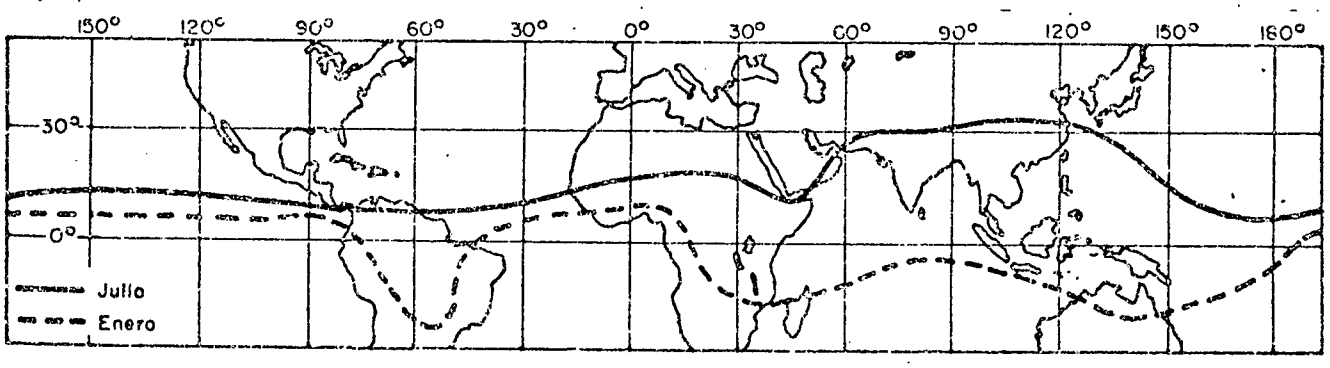


Figura 11 Posicion media de la ITCZ en enero y julio.

2.2 Razones que explican la limitada amplitud del movimiento de la ITCZ en las zonas montañosas de América Latina

Es interesante estudiar las razones que explican la limitada amplitud del movimiento de la ITCZ en el área objeto de la presente encuesta, en comparación con otras regiones como Africa y Asia. Aunque estas razones son probablemente varias, parece que la presencia de dos grandes masas de agua a ambos lados del ecuador, es decir, el Mar Caribe y el Océano Pacífico, tiende a mantener durante todo el año dos centros de alta presión simétricos constituidos de aire más frío en esas zonas que se caracterizan por un calor

específico superior al de la tierra y que por tanto nivelan la presión y limitan en gran medida el movimiento de la ITCZ. En el lado sur esta acción se refuerza aún más por la presencia de las corrientes occánicas frías que se hallan a lo largo de la costa occidental de América del Sur.

2.3 Situación de la zona cuando la ITCZ alcanza su posición más meridional en los meses de enero y febrero

La situación atmosférica en el mes de enero en América del Sur se caracteriza por lo siguiente (figura 12): la ITCZ está centrada casi en el ecuador y cruza la cuenca del Amazonas. Asociada con ella existe una zona de baja presión que cubre toda la cuenca del Amazonas. Los vientos son muy débiles en toda la zona y la precipitación es abundante debido a la inestabilidad del aire. En el lado septentrional de la ITCZ el anticiclón del Atlántico Norte está bien desarrollado y causa fuertes vientos alisios secos a lo largo de la costa norte de América del Sur. En la parte meridional de la ITCZ los dos anticiclones de la región sur del Pacífico y el Atlántico alcanzan sus valores más bajos. Entre estos dos centros de alta presión situados en los océanos se desarrolla un área de baja presión que se extiende sobre gran parte del Brasil. Según algunos autores (Riehl) esta área de baja presión es distinta de la misma ITCZ, aunque según otros (Trewartha) forma parte integrante de ella. El resultado es una zona de densa lluvia. Dicha lluvia afecta también la vertiente oriental de los Andes, donde los débiles vientos del este causan el ascenso de

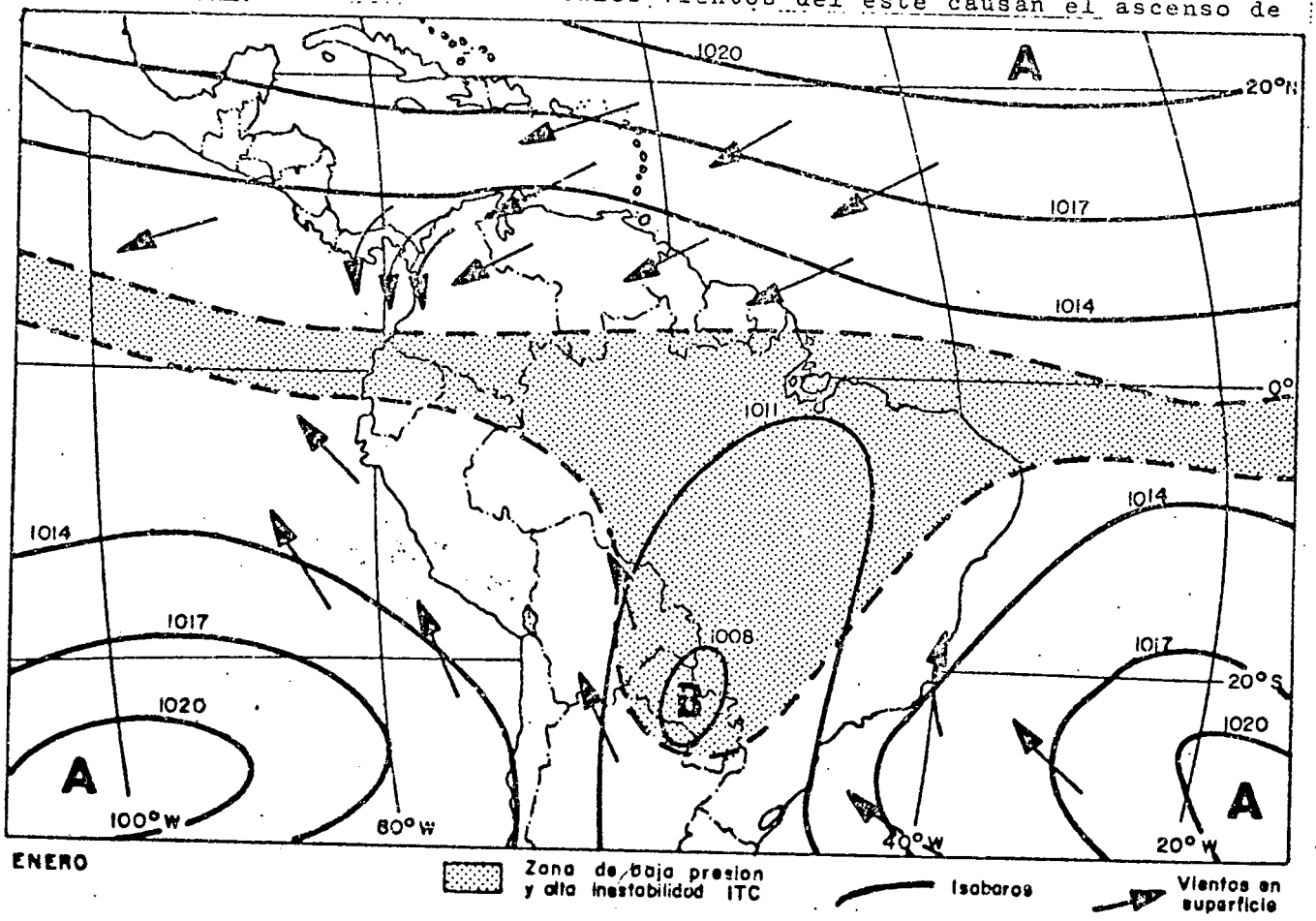


Figura 12 Situacion atmosferica en America del Sur en enero.

aire muy saturado y la formación de intensa precipitación orográfica hasta la altitud de ± 2000-2500 m. En la costa occidental el clima es muy seco hasta la parte septentrional del Perú y el Ecuador, donde se observa la lluvia debida al paso de la ITCZ. Más al norte los vientos que soplan sobre el Mar Caribe son desviados por la Cordillera y se condensan en el borde septentrional de las montañas de Colombia, causando gran cantidad de precipitación durante todo el año.

Dentro de la región montañosa propiamente dicha la precipitación depende mucho menos de los flujos exteriores de aire y de la advección de humedad hasta la región.

Los movimientos de aire debidos a la orografía son de carácter mucho más local y por consiguiente la intensidad de la precipitación refleja con mayor precisión los diferentes calentamientos y enfriamientos de los valles internos. Esto motiva la aparición de distribuciones bimodales, alteradas más o menos por las condiciones topográficas locales.

2.4 Situación de la zona cuando la ITCZ alcanza su posición más septentrional en los meses de julio y agosto

En esta época del año la ITCZ se sitúa en la parte septentrional del subcontinente, extendiéndose más o menos desde América Central hasta las Guayanas (figura 13).

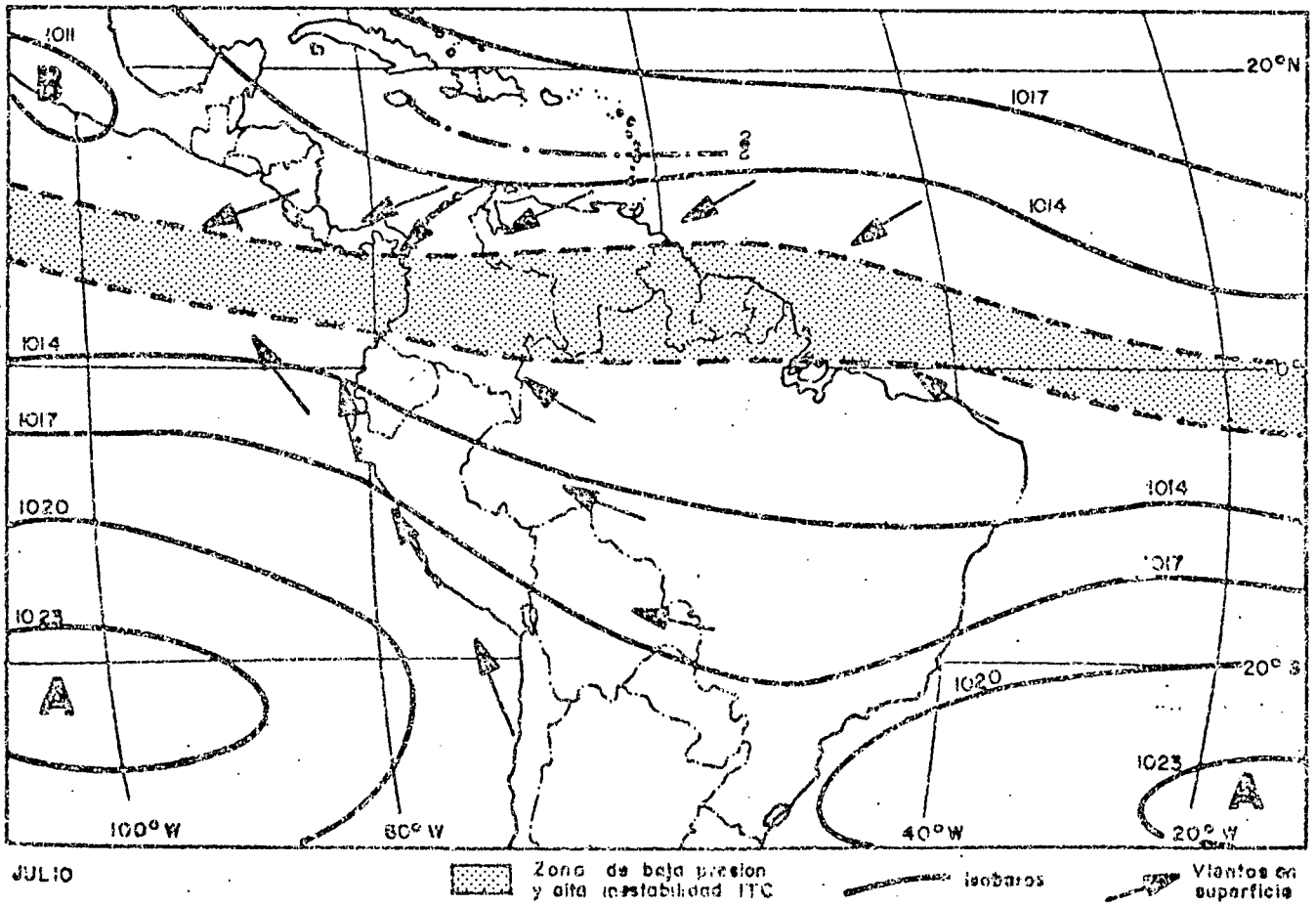


Figura 13 Situacion atmosferica en America del Sur en julio.

Toda esta región disfruta de un máximo de lluvia, mientras que la cuenca del Amazonas experimenta un acentuado descenso de la intensidad de precipitación. Merece la pena observar que en este borde montañoso occidental, que corresponde al límite oriental de la dorsal andina, la lluvia permanece constante y el clima durante todo el año indica que la condensación es más bien orográfica que advectiva.

En la parte sur del sistema, los dos anticiclones están mucho más desarrollados y el Océano Pacífico en particular crea un fuerte gradiente de presión con el continente, lo cual permite que soplen fuertes vientos del sur a lo largo de la costa del Pacífico y que se produzca alguna lluvia débil en la costa peruana que, de otro modo, permanecería muy seca.

El hecho de que la mayoría del aire húmedo que sopla a través de la costa occidental pase por encima de las corrientes oceánicas frías, origina la condensación del vapor de agua contenido en dicho aire y da lugar a la aparición de nieblas y cielo cubierto durante largos períodos, principalmente en Perú y el Ecuador.

En el lado septentrional de la ITCZ la zona anticiclónica del Atlántico es más débil. El Mar Caribe queda bajo la influencia de los sistemas de perturbaciones locales denominados generalmente ondas del este. Algunas de estas ondas pueden originar huracanes desde junio a noviembre. Estas huracanes pero no interesan la región estudiada.

3. Diferencias entre tierras bajas y montañosas

La situación que hemos explicado esquemáticamente en los párrafos anteriores muestra que en las tierras bajas, hasta 1000 m, el movimiento de la ITCZ es generalmente lo suficientemente pequeño para originar en la mayoría de los casos distribuciones de lluvia de tipo monomodal que contienen sólo un máximo y un mínimo por año. En este caso la larga estación lluviosa puede experimentar un breve intervalo de ligera recesión de la intensidad de lluvia.

Por el contrario, en las regiones montañosas la distribución de lluvia es bastante diferente debido al hecho de que gran parte de la humedad contenida en las grandes masas de aire que pasan a través de la zona habrán ya precipitado a altitudes inferiores a 2000-2500 m. En estas zonas montañosas, e incluso en los valles situados entre las altas dorsales, la lluvia se debe principalmente a la convección local, con el resultado de que las estaciones de estas regiones, cuando están emplazadas suficientemente cerca del ecuador, muestran una clara distribución bimodal de la lluvia.

Estas diferencias de distribución de lluvia se explicarán con mayor detalle en el capítulo 10, dedicado a este tema.

En general, las montañas andinas constituyen una especie de isla en el continente, con un clima muy específico caracterizado por una lluvia normalmente inferior a la de cualquier otro lugar situado en la misma latitud y por temperaturas que rápidamente pasan a ser factores limitativos para la agricultura, especialmente en las regiones alejadas del ecuador en las que la variación estacional origina cambios de temperatura que, por encima de determinadas altitudes, limitan drásticamente la longitud del ciclo vegetativo de los cultivos debido a la aparición de heladas.

Referencias - Meteorología y Clima de la Región

Riehl, H. 1954 — Tropical meteorology. McGraw-Hill, New York

Trewartha, G.L. 1954 — An introduction to climate. 3rd ed. McGraw-Hill, New York

United States Navy Dept., Hydrographic Office 1945 — Weather summary South America Northern and North-western part, no. 528

- id - 1945 — Weather summary South America Southern part, no. 529

- id - 1948 — Weather summary Central America, no. 531

V. CORTES VERTICALES

Además de los numerosos datos utilizados en la presente encuesta, y con objeto de determinar mejor los gradientes de altitud y los gradientes transversales de los diferentes factores climáticos en los Andes, se han definido ciertos cortes verticales. Su emplazamiento se fundó en la disponibilidad de datos útiles y adecuados.

Estos cortes verticales se trazaron para poner mejor de manifiesto las características anuales y mensuales de los factores agroclimáticos. Fundándose en este trabajo, se exponen en los correspondientes capítulos que tratan de cada uno de los factores climáticos los datos detallados de las estaciones de referencia en forma de tablas.

En vista de la abundancia de datos que figuran en los cortes verticales y que no han sido incorporados en las estaciones de referencia, se pensó que sería interesante reproducir dichos cortes verticales y adjuntarlos a las encuestas en forma de apéndices en un cartapacio unido a la cubierta posterior.

Cada uno de los 15 cortes verticales representa la topografía de las zonas que cruza. Se representan en ellos los principales factores climáticos disponibles: lluvia, temperatura, % de insolación, evaporación potencial estimada. Los valores mensuales y anuales se representan en forma de histogramas con una escala adecuada impresa en un lado de la página. En estos cortes se puede ver también que la anchura de la Cordillera es muy variable, y va desde el sistema dorsal de Colombia hasta el amplio altiplano peruano-boliviano, pasando por la parte más estrecha de las Andes en el Ecuador.

Aunque la presente encuesta se refiere sólo a las regiones montañosas de América del Sur, se han incluido también las tierras bajas adyacentes en los cortes verticales con objeto de dar una idea general más completa de las características climáticas a distintos niveles de los Andes.

No.	País	Latitud aproximada	De - a
1	Col.	6-7°N	Quibdo - Barrancabermeja - Cucuta
2	Col.	4-5°N	Quibdo - Chinchiná - Villavicencio
3	Col.	3-4°N	Buenaventura - Chapeton - Usme
4	Col/Ec.	1°N	Esmeraldas - Tulcan - Sibundoy
5	Ec.	0°S	Jama - Quito - Tiputini
6	Ec.	1°S	Manta - Ambato - Puyo
7	Ec/Perú	4°S	Talara - La Argelia - Zamora
8	Perú	6-7°S	Limoncarro - Cajamarca - Moyobamba
9	Perú	10°S	Las Zorras - Huanuco - Pozuzo
10	Perú	11-12 S	Lima - Oroya - San Ramón - Satipo
11	Perú	13°S	Pisco-Huancavelia - Cirialo
12	Perú	14°S	Iruro - Abancay - Quincemil
13	Perú/Bol.	15-16°S	Pampa de Majes - Puno - Apolo
14	Perú/Bol.	16-17°S	Moquegua - La Paz - Corendo
15	Bol.	17-18°S	Tacna - Oruro - Todos Santos

VI. RADIACION E INSOLACION

1. Introducción

La importancia de la radiación solar en agricultura es fundamental y merece ser considerada como el primordial factor climatológico de esta encuesta, por los motivos siguientes:

a) La cantidad de radiación solar recibida rige los procesos fundamentales que intervienen en la elaboración de materia orgánica mediante la fotosíntesis.

b) La cantidad de radiación recibida en cualquier punto de la superficie terrestre y los subsiguientes intercambios de radiación de onda corta y larga entre la tierra y la atmósfera condicionan la temperatura local y las variaciones estacionales y anuales de esta temperatura, regulando de este modo la distribución de los cultivos en la superficie terrestre y también en gran medida la distribución de la población animal.

c) La radiación constituye la fuente fundamental de energía del ciclo hidrológico en la biosfera y ejerce gran influencia en las posibilidades agrícolas de cada región a través de las características de la distribución de lluvia, que a su vez está sujeta a la influencia, en las zonas tropicales, del movimiento aparente estacional del sol y de las consiguientes variaciones de la distribución de radiación.

2. El balance de energía

Con objeto de comprender mejor el mecanismo de la transformación de la energía radiante recibida en la superficie de la tierra, es necesario especificar aquí los términos de la ecuación del balance de energía en la superficie terrestre. Dicha ecuación podemos expresarla de la siguiente manera:

$$(1-a-\mu)\ R_G - R_B - ET - Q - K = 0$$

Los términos de la ecuación tienen el siguiente significado:

R_G representa la radiación de corta longitud de onda (0.3 - 3μ) recibida del sol y del cielo en la superficie horizontal de la tierra (radiación global).

a representa el albedo, es decir, la fracción de energía de corta longitud de onda reflejada por el suelo hacia el cielo. Por ejemplo, este factor será de orden de 0.05 en las aguas libres y de 0.20 a 0.25 en el suelo cubierto por vegetación verde.

μ representa la parte de radiación absorbida por la vegetación verde y utilizada en fotosíntesis. Su valor no es mayor generalmente del 2% en condiciones naturales.

R_B representa la radiación de onda larga resultante (3 - 50μ) procedente de la tierra y es el resultado de los intercambios de radiación de onda larga que se producen entre la superficie del suelo y la atmósfera.

La proporción de intercambio radiativo de onda larga, en comparación con R_G, puede variar entre 0.20 y 0.40, según sean las condiciones locales, entre las que desempeñan una importante función la altitud y nubosidad (véase la figura 18). La variación del orden de magnitud de este componente del balance de radiación es de especial importancia en las regiones montañosas.

ET representa la parte de energía entrante que se transforma en calor latente de vaporización con objeto de suministrar energía para la evaporación del agua de las superficies líquidas libres o del suelo y para la transpiración de la vegetación. La proporción de radiación solar transformada en calor latente de vaporización depende, desde luego, de la disponibilidad de agua y, en las unidades utilizadas en meteorología, corresponde a 59 calorías por mm de agua evaporada.

Q Este término corresponde al calor transmitido desde la superficie del suelo hasta el subsuelo por conducción. Puede ser importante durante el período de transición entre el invierno y el verano, en los países templados, debido a la considerable variación estacional de temperatura del suelo, pero carece de importancia en los países tropicales especialmente si el balance de energía se calcula para un período de varios días o más.

K Este término representa la parte de energía solar recibida en la superficie del terreno e intercambiada con la atmósfera por difusión turbulenta. Esta difusión está regulada principalmente por los gradientes de temperatura y presión de vapor que existen entre la capa del suelo que recibe la radiación y la capa situada inmediatamente por encima y depende de la velocidad del viento, la cual motiva un incremento de la turbulencia en las proximidades del suelo. Este término del balance de energía, que es muy difícil de medir con precisión, tiene poca importancia relativamente en los climas húmedos tropicales, donde la velocidad del viento es pequeña y los gradientes de temperatura y presión de vapor tienen valores limitados.

Sin embargo en las condiciones más secas que se producen en la parte meridional de la región objeto de la encuesta, donde son mayores las velocidades del viento y los gradientes de presión de vapor, la energía recibida del exterior en un lugar determinado puede aportar un complemento apreciable a la energía que puede ser transformada en calor latente de vaporización, si las condiciones locales son favorables, como puede ocurrir cuando se trata de una pequeña área regada aislada dentro de una zona árida mucho mayor. En el caso de zonas extremadamente áridas, la evaporación procedente de un área regada puede por este motivo exceder bastante de la cifra que cabría esperar fundándose en los intercambios puramente radiativos.

Todo el balance de radiación, incluidos los intercambios de radiación de onda corta y larga, puede ser medido o calculado en conjunto, despreciando también los pequeños términos μ R y Q. El resultado es una simplificación de la ecuación balance de energía, que se transforma en la siguiente:

$$R_N = ET - K$$

Vemos pues que el valor R_N, denominado balance de radiación o radiación neta, es más o menos igual a la suma del calor latente de vaporización y del término que expresa la convección turbulenta. En los climas tropicales no áridos se puede suponer que el balance de radiación representa el límite superior del término que expresa la evaporación, el cual puede ser definido aproximadamente como el 40-60% del total del término que expresa la radiación de onda corta entrante, R_G. Es evidente pues la importancia que tiene conocer la radiación solar total, así como el balance de radiación.

3. Medida de la radiación solar

En vista de la fundamental importancia que tiene la radiación en los procesos agrícolas, hemos tratado de resumir el mayor número posible de datos de radiación y de presentarlos en forma de valores medios mensuales.

Dentro de la región objeto de la encuesta se dispone de medidas de la radiación global en Colombia, Ecuador y Perú. Estos valores se obtienen generalmente a partir de registros semanales efectuados mediante el actinógrafo Robytzsch bimetálico. Se sabe que estos instrumentos no son los mejores para observar la radiación y necesitan frecuentes calibraciones. No obstante parece preferible presentar algunos datos, aunque no sean de gran precisión, que ninguno. Los datos de las estaciones de referencia que han sido utilizadas en la encuesta se exponen en la tabla 26-a y 26-b.

4. Estimación de la radiación solar

En vista de la dificultad de obtener datos de radiación medidos con seguridad, muchos autores han tratado de correlacionar la radiación global recibida en un lugar determinado con la duración de la insolación o con el grado de nubosidad del cielo. Estas correlaciones tomadas para valores diarios dan como resultado la gráfica que se reproduce en la figura 16. Tomando valores mensuales y compensando las irregularidades diarias de la distribución de los datos, la correlación resulta mucho más clara. Las observaciones de insolación son más frecuentes y se refieren a períodos más largos que los correspondientes a los datos de radiación global, debido a que los instrumentos son más sencillos y la reducción de los datos resulta más fácil.

Estudiaremos sucesivamente estos dos métodos de estimación de la radiación global.

a) Estimación del valor medio mensual de la radiación global a partir de los registros de duración de la insolación

Uno de los primeros métodos a los cuales se aplicó este principio fue el de Ångström, quien propuso la fórmula siguiente:

$$\frac{R_G}{R_{GO}} = a + b\,\frac{n}{N}$$

en donde:

R_G es la radiación global

R_{GO} es la radiación global en un día muy despejado

n es el número real de horas de insolación

N es la duración de la insolación posible desde el punto de vista astronómico

a y b son coeficientes de regresión.

Se ha propuesto una modificación de la fórmula de Ångström en la que se usa la radiación solar recibida en la cima de la atmósfera tal como figura en las tablas establecidas por Angot (R_A). En la tabla del apéndice del presente documento se reproduce un resumen de dichas tablas de Angot, correspondiente a las latitudes comprendidas entre 50° N y 50° S.

La fórmula adquiere entonces la forma siguiente:

$$\frac{R_G}{R_A} = a + b\,\frac{n}{N}$$

Esta fórmula ha venido siendo ampliamente utilizada, aunque implica la definición de los factores a y b. Penman (1948-63) ha utilizado las cifras 0.18 + 0.55 para Europa, mientras que Glover y MacCulloch, que estudiaron las regiones montañosas de Africa, han propuesto 0.29 cos ϕ + 0.52, siendo cos ϕ la latitud de la estación. Koopman (1968) propone para las zonas templadas 0.20 + 0.53 y para las regiones tropicales 0.28 + 0.48. En los estudios realizados por Black, Bonython y Prescott (1954) y Smith (1972), así como por nosotros mismos (1960), se consiguió reunir algunas pruebas de que la línea de regresión establecida de acuerdo con esta fórmula debe tener menor inclinación en las regiones tropicales que la propuesta por Penman, lo cual significa que incluso con cielo nuboso o cubierto la cantidad de radiación manifestada en forma de radiación del cielo puede ser importante.

Con objeto de aclarar el problema, hemos tratado de hallar una relación entre los factores a y b y el porcentaje de insolación, revisando las cuidadosas medidas de radiación total e insolación realizadas a lo largo de las latitudes comprendidas entre 50° N y 12° S. Para ello se han utilizado las medidas disponibles en la literatura existente. Hemos aplicado los valores medios mensuales de insolación y radiación trazando luego de línea de regresión que se ajustaba mejor a los puntos obtenidos. La lista de estaciones utilizadas figura en la tabla 14. El valor de los coeficientes a y b ha sido transcrito en comparación con el porcentaje medio anual de insolación de todas las estaciones interesadas. El diagrama resultante se reproduce en la figura 15. Del diagrama se deduce que:

i) para más del 0.45 de duración de la insolación media, la relación entre $\frac{n}{N}$ y $\frac{R_G}{R_A}$ permanece uniforme siendo a=0.28 y b=0.42.

ii) por debajo del 45% de posible duración de la insolación, la dispersión de los puntos se hace más evidente y refleja en gran medida la variabilidad de la radiación global debida a la densidad nubosa del cielo cubierto.

iii) la suma de los factores a y b está comprendida entre 0.70 y 0.75 cuando la insolación está por encima de 0.40, lo cual corresponde en muchas regiones, incluidas las montañas, a la fracción de radiación fuera de la atmósfera recibida al nivel del suelo durante los días despejados.

País	Estación	Lat.	Alt.	a	b	a+b	n/N
Rothamsted	Inglaterra	52°00'N	200 m	0.18	0.55	0.73	0.36
Genbloux	Bélgica	51°00'N	160 m	0.15	0.54	0.69	0.33
Versailles	Francia	49°00'N	50 m	0.23	0.50	0.73	0.44
Port au Prince	Haití	18°37'N	25 m	0.29	0.42	0.71	0.73
Husbands	Barbados	13°08'N	120 m	0.31	0.39	0.70	0.69
Paramaribo	Surinam	05°50'N	20 m	0.27	0.47	0.74	0.50
S. José Villavieja	Colombia	03°20'N	400 m	0.30	0.40	0.70	0.55
Yangambi	Zaire	00°49'N	500 m	0.25	0.47	0.72	0.47
Izobamba	Ecuador	00°22'S	3058 m	0.25	0.42	0.67	0.42
Lwiro	Zaire	02°15'S	1800 m	0.30	0.40	0.70	0.52
Rubona	Rwanda	02°29'S	1700 m	0.30	0.45	0.75	0.52
Luki	Zaire	05°37'S	350 m	0.15	0.71	0.86	0.28
Lambayeque	Perú	06°42'S	300 m	0.27	0.43	0.70	0.49
Huaraz	Perú	09°32'S	3207 m	0.32	0.40	0.72	0.59
Lubumbashi	Zaire	11°39'S	1290 m	0.30	0.41	0.71	0.65
La Molina	Perú	12°05'S	250 m	0.17	0.66	0.83	0.35
Moguegua	Perú	17°12'S	1420 m	0.30	0.41	0.71	0.75
Dry Creek	Australia	34°50'S	4 m	0.30	0.59	0.80	0.59

Tabla 14 *Estaciones y datos para la determinación de los coeficientes a y b.*

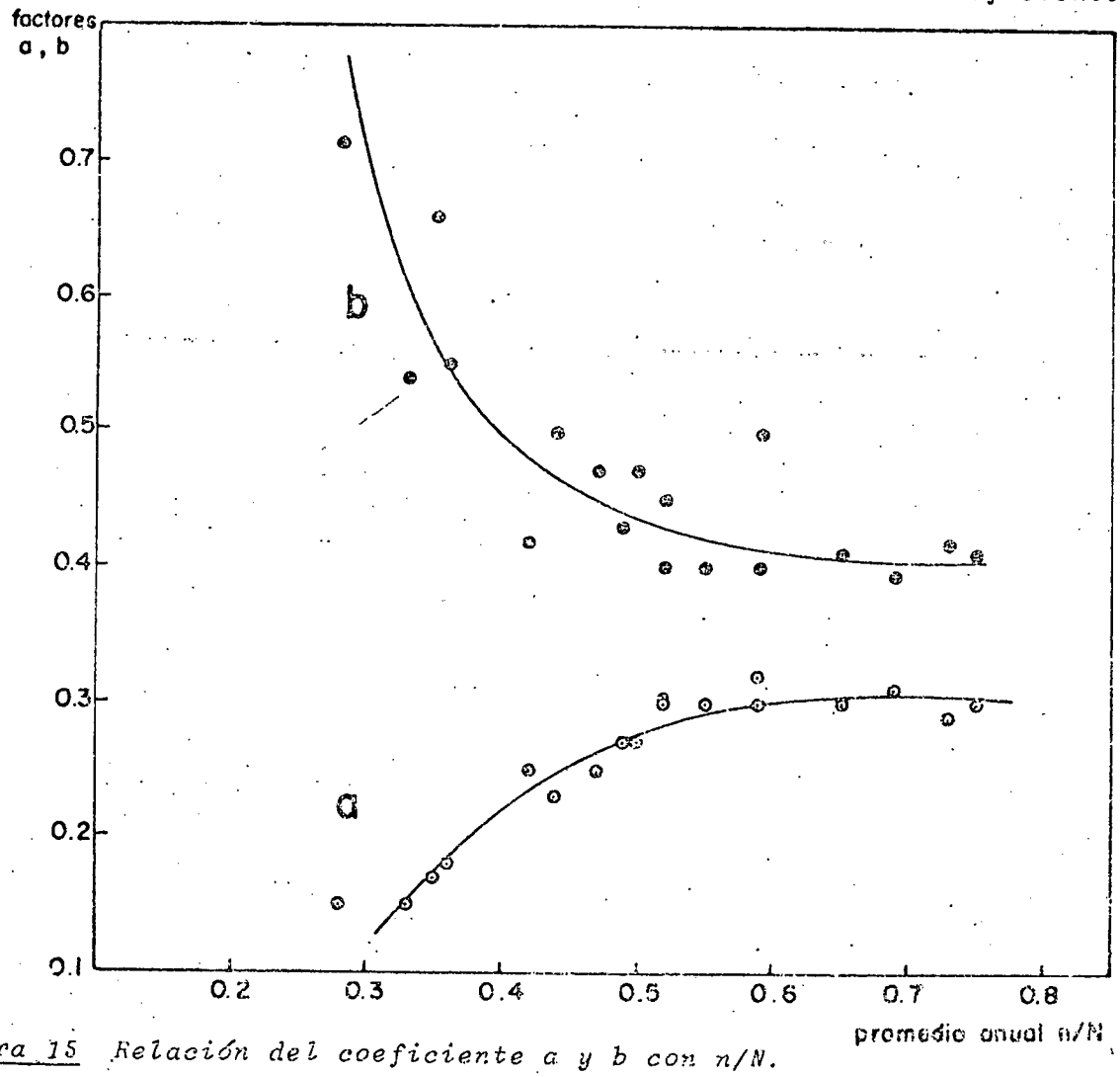


Figura 15 *Relación del coeficiente a y b con n/N.*

Hemos representado en la figura las distintas líneas de regresión correspondientes a:

i) los coeficientes originales de Penman, 0.18 + 0.55

ii) el coeficiente propuesto por Black y otros autores, 0.23 + 0.48

iii) los coeficientes propuestos por Glover y MacCulloch para la latitud de 0°

iv) los coeficientes propuestos por Glover y MacCulloch para la latitud de 20°

v) el coeficiente de 0.29 + 0.42.

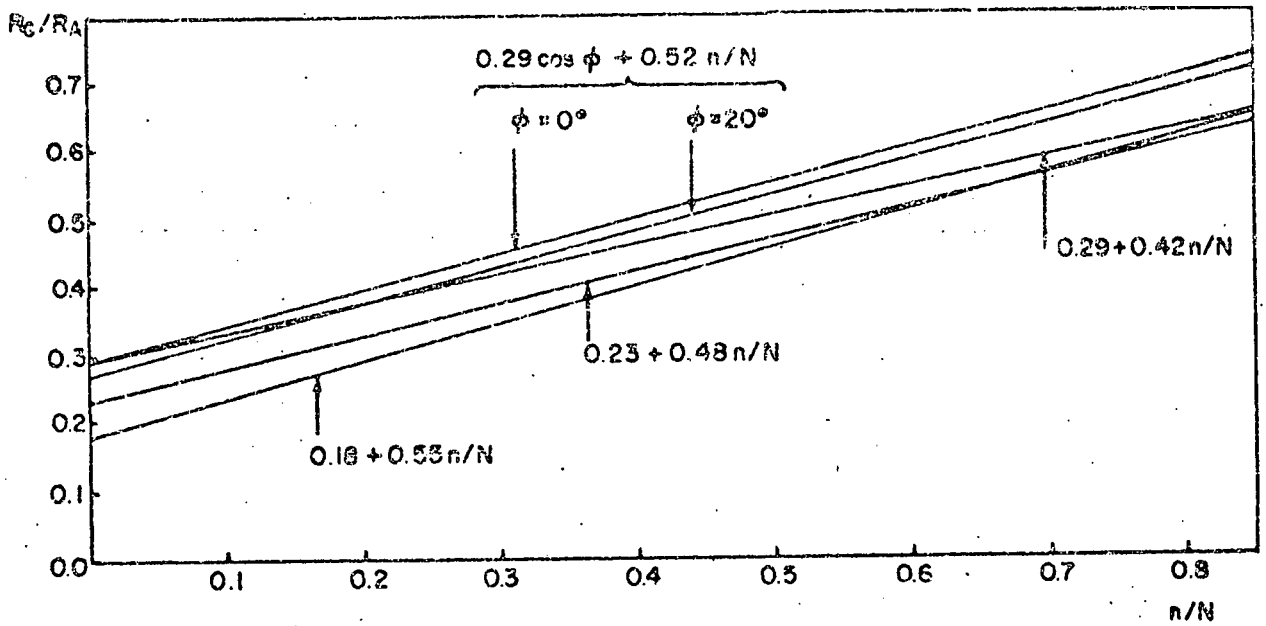


Figura 16 Las diferentes líneas de regresión para a + b n/N.

En vista de que la presente encuesta agroclimatológica cubre zonas de altitud caracterizadas por niveles de radiación generalmente altos, se ha decidido utilizar para las estaciones de altitud más directamente afectadas por el estudio los factores siguientes: a = 0.29 y b = 0.42. Estos factores, de acuerdo con el gráfico corresponden más o menos a una duración relativa de insolación de 0.50, lo cual es un valor medio anual en las regiones montañosas.

b) Estimación de la radiación global a partir de la capa de nubes

Se puede hacer otra estimación indirecta de la radiación global utilizando los datos de la capa de nubes observada en general varias veces al día en las estaciones meteorológicas sinópticas. La correlación utilizada en esta clase de estimación trata de relacionar la capa de nubes con la duración de la insolación con objeto de obtener la radiación solar. Hemos

tratado de comparar, en dos estaciones del Ecuador y Perú en las que se disponía de datos de radiación, los valores diarios de nubosidad media expresada en octavos con la relación R_G/R_A. Ulteriormente se ajustó la línea de regresión sobre la posición media obtenida para nueve grupos de puntos.

La figura 17 muestra las gráficas establecidas para las estaciones de Huaraz (3050 m) e Izobamba (3058 m). Aunque su altitud es similar, la diferencia del clima de radiación de ambas estaciones resulta evidente en el gráfico ya que el clima ecuatorial de Izobamba es mucho más nuboso que el de Huaraz. En el gráfico se ve muy claramente que el número de días con dos o menos octavos de nubosidad es sólo de once en Izobamba, mientras que en Haurez hay más de sesenta.

En esta región y para el cálculo de valores medios mensuales podemos suponer que existe la siguiente relación entre la nubosidad media y el cociente R_G/R_A:

	R_G/R_A	
Cantidad de nubes	Izobamba	Huaraz
0	0.66	0.70
1	0.62	0.67
2	0.59	0.64
3	0.56	0.61
4	0.52	0.59
5	0.49	0.56
6	0.46	0.53
7	0.42	0.50
8	0.39	0.46

Ecuaciones: Izobamba $R_G/R_A = 0.66 - 0.035\ C$

Huaraz $R_G/R_A = 0.70 - 0.03\ C$

en donde:

C es la cantidad de nubes expresada en octavos.

Esta relación la exponemos aquí con carácter meramente informativo. Es evidente que las estimaciones hechas a partir de un heliógrafo bien calibrado serán siempre mucho más seguras que las observaciones subjetivas de la capa de nubes.

El método que acabamos de describir ha sido adaptado para estimar la radiación total en Bolivia, en donde sólo se disponía de observaciones de nubosidad expresadas para cada mes por el número de días con cielo despejada, con cielo parcialmente nuboso, con cielo nuboso o con cielo cubierto.

En este caso particular hemos atribuido a cada clase un número que corresponde a un valor medio de nubosidad expresada en octavos, es decir: despejado = 1, parcialmente nuboso = 3, nuboso = 6, cubierto = 8.

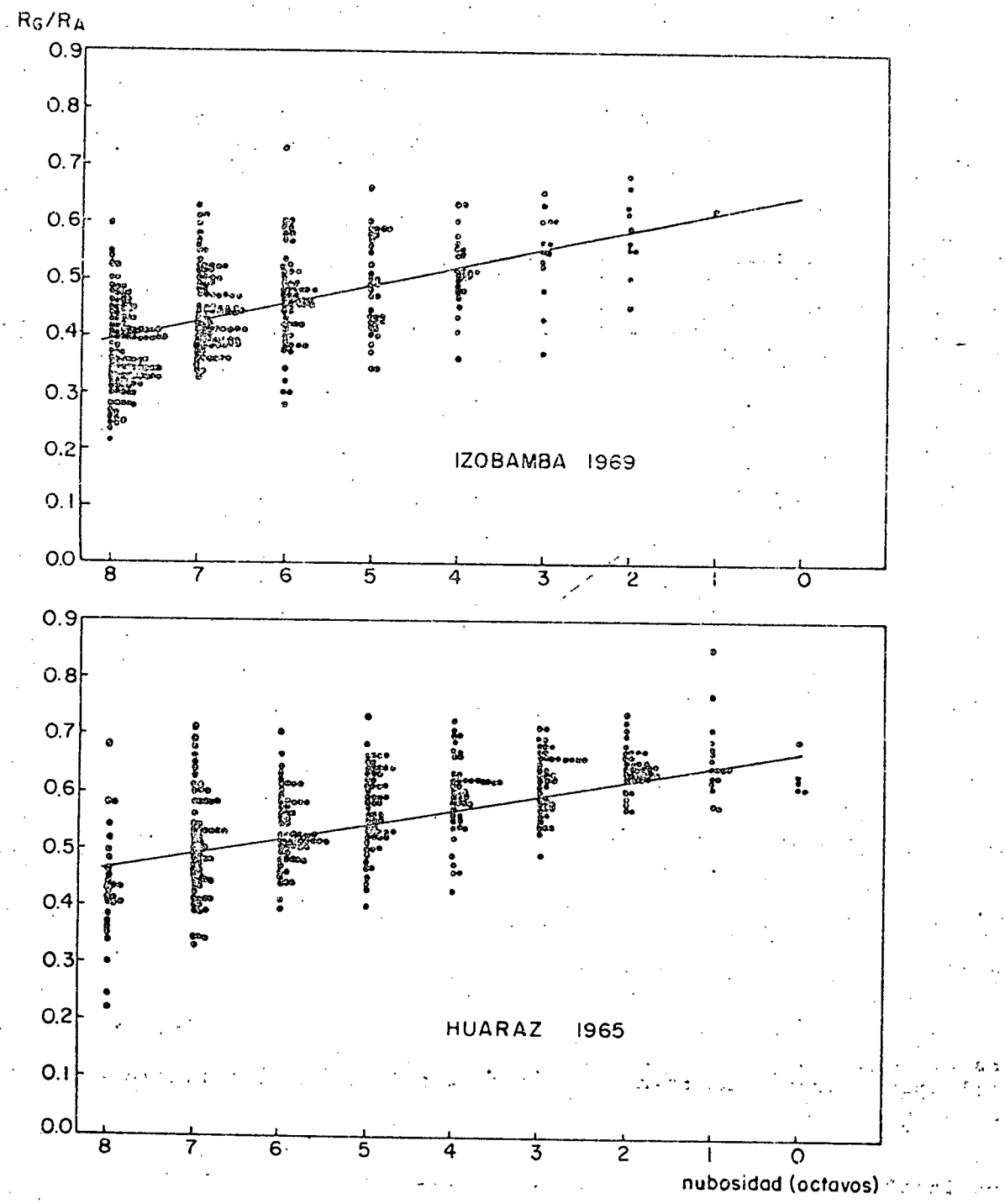


Figura 17 Relación entre la nubosidad y el cociente R_G / R_A para estaciones en las dos zonas principales.

Se ha utilizado la siguiente ecuación:

$$\text{Nubosidad media} = \frac{(\text{n. días despejados} \times 1)+(\text{n. días p. nubosos} \times 3)+(\text{n. días nubosos} \times 6)+(\text{n. días cub.} \times 8)}{\text{Número total de días observados en el mes}}$$

En vista de la marcada analogía de las condiciones climáticas, especialmente la radiación, se pensó que sería factible utilizar estas nubosidades deducidas con los diagramas de la estación de Huaraz, con objeto de llegar a establecer una estimación razonable de R_G/R_A. A partir de esa relación se han deducido los valores de n/N que todavía se necesitan para calcular la radiación infrarroja R_B, utilizando la fórmula que antes presentamos:

$$\frac{n}{N} = \frac{R_G/R_A - 0.29}{0.42}$$

Los valores de R_G así deducidos no siempre corresponden bien con los obtenidos mediante la relación n/N. Sin embargo, esto se compensa en gran medida por los diferentes valores de R_B, de modo que finalmente se llega a un buen acuerdo o incluso a una correspondencia excelente dentro de la región estudiada.

5. Radiación resultante

5.1 Generalidades

El conocimiento de la radiación resultante o radiación neta es muy importante en meteorología agrícola porque, de acuerdo con el concepto de balance de energía que antes hemos explicado, da una aproximación aceptable de la energía radiante que queda disponible para los procesos no radiativos que se producen en la superficie de la tierra.

En los países tropicales tales como Colombia y Venezuela, donde el déficit de saturación del aire y la acumulación de calor por el suelo son generalmente bajos, la radiación resultante constituye una buena indicación de la energía disponible para los procesos de evapotranspiración, por lo menos cuando las condiciones de almacenamiento de agua son buenas.

Que nosotros sepamos no existen en la región medidas del intercambio de radiación resultante.

5.2 Estimación de la radiación resultante

La determinación de la radiación resultante recibida se funda en la ecuación:

$$R_N = (1-a)\, R_G - R_B$$

en donde:

R_N representa la radiación resultante recibida por el suelo o la superficie de la vegetación (radiación neta).

R_G representa la radiación global que llega a la superficie de la tierra.

a representa el albedo (porcentaje de radiación de onda corta reflejada hacia la atmósfera por la superficie receptora).

R_B es la radiación infrarroja efectiva, siendo este término a su vez igual a:

$$R_B = R_{bs} - (1-a_b)\, R_{ba}$$

en donde:

R_{bs} representa la radiación de onda larga emitida por el suelo y dependiente de su temperatura.

R_{ba} representa la radiación de onda larga emitida hacia abajo por la atmósfera.

a_b representa el albedo de la capa del suelo, en lo que respecta a la radiación infrarroja de onda larga.

La determinación de la magnitud $(1-a)\, R_G$ se funda en la radiación total extraterrestre, la duración de la insolación (como hemos visto en el párrafo precedente) y en un valor del albedo que se supone es de 0,25. El término R_B ha sido estimado de acuerdo con el método propuesto por Brunt (1939):

$$R_B = \sigma T_K^4\, (0.56 - 0.079\, e_d)\, (0.10 + 0.90\, \frac{n}{N})$$

en donde:

σ es la constante de Stefan-Boltzmann 8.132×10^{-11}

T_K es la temperatura absoluta (T° en grados Celsius + 273)

e_d es la presión de vapor expresada en milibares

n/N es el procentaje de duración de la insolación.

Los coeficientes utilizados en la ecuación han sido ampliamente discutidos en la literatura especializada. Sin embargo, en vista de que no parecen existir medidas directas de la radiación resultante en la región que nos ocupa, se ha decidido adoptar estos coeficientes ya que son los más universalmente utilizados. Para algunas estaciones se da la relación entre el cociente R_B/R_G y n/N en la figura 17.

Fundándonos en estas hipótesis, se han elaborado tablas que muestran, para cada estación de referencia, los valores medios diarios de la radiación neta, establecidos mes por mes (tablas 27a y b).

De Jong (1973) hace un estudio de estos coeficientes y del uso de la capa de nubes para estimar R_B (como por ejemplo en la fórmula de Budyko, 1963).

5.3 Variación del balance de radiación con la altitud

Se ha visto en el párrafo precedente que la intensidad de la transferencia de radiación infrarroja depende en gran medida de la temperatura y humedad del aire, así como de la nubosidad. En vista de ello cabe esperar que la distribución de los términos del balance de radiación sea bastante distinta según la altitud de la estación de referencia.

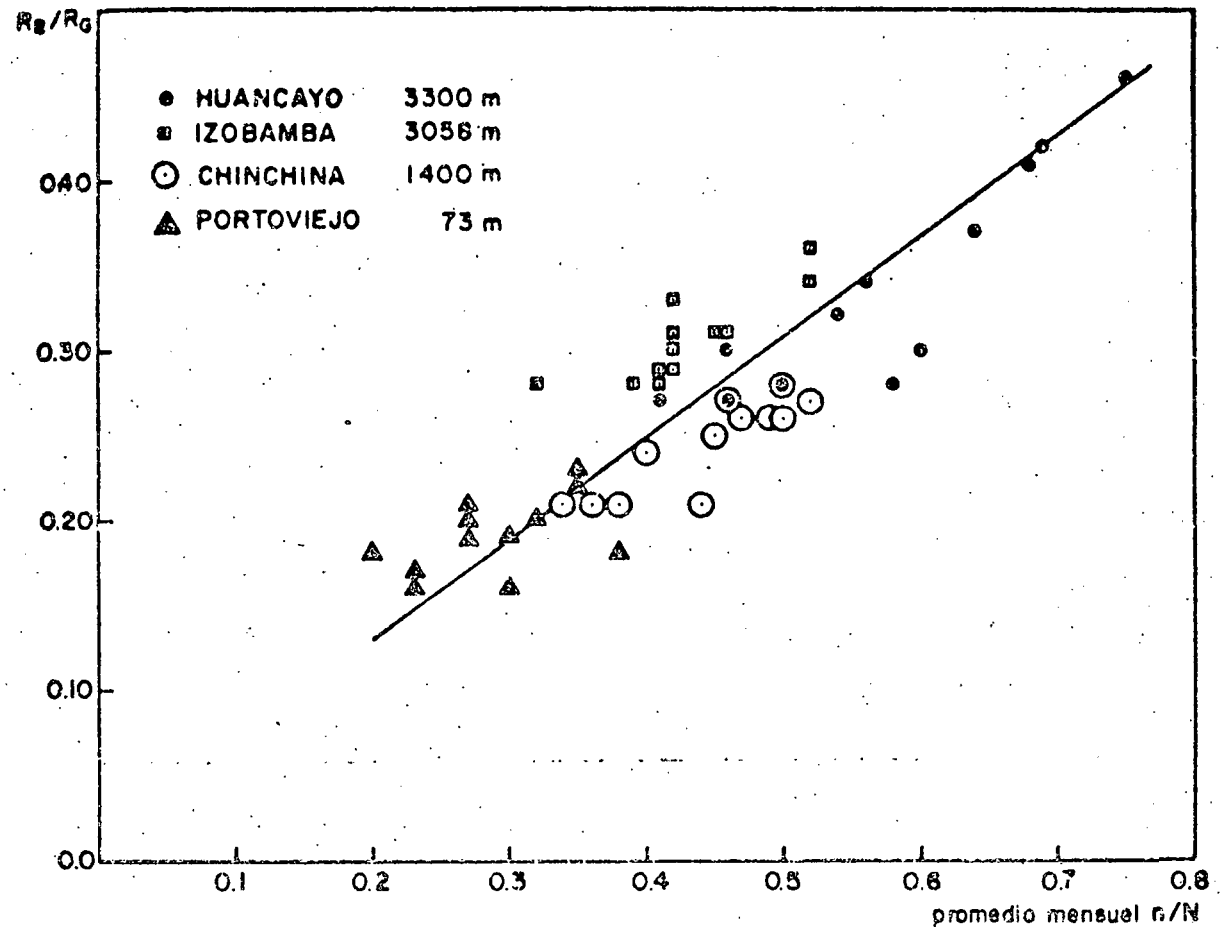
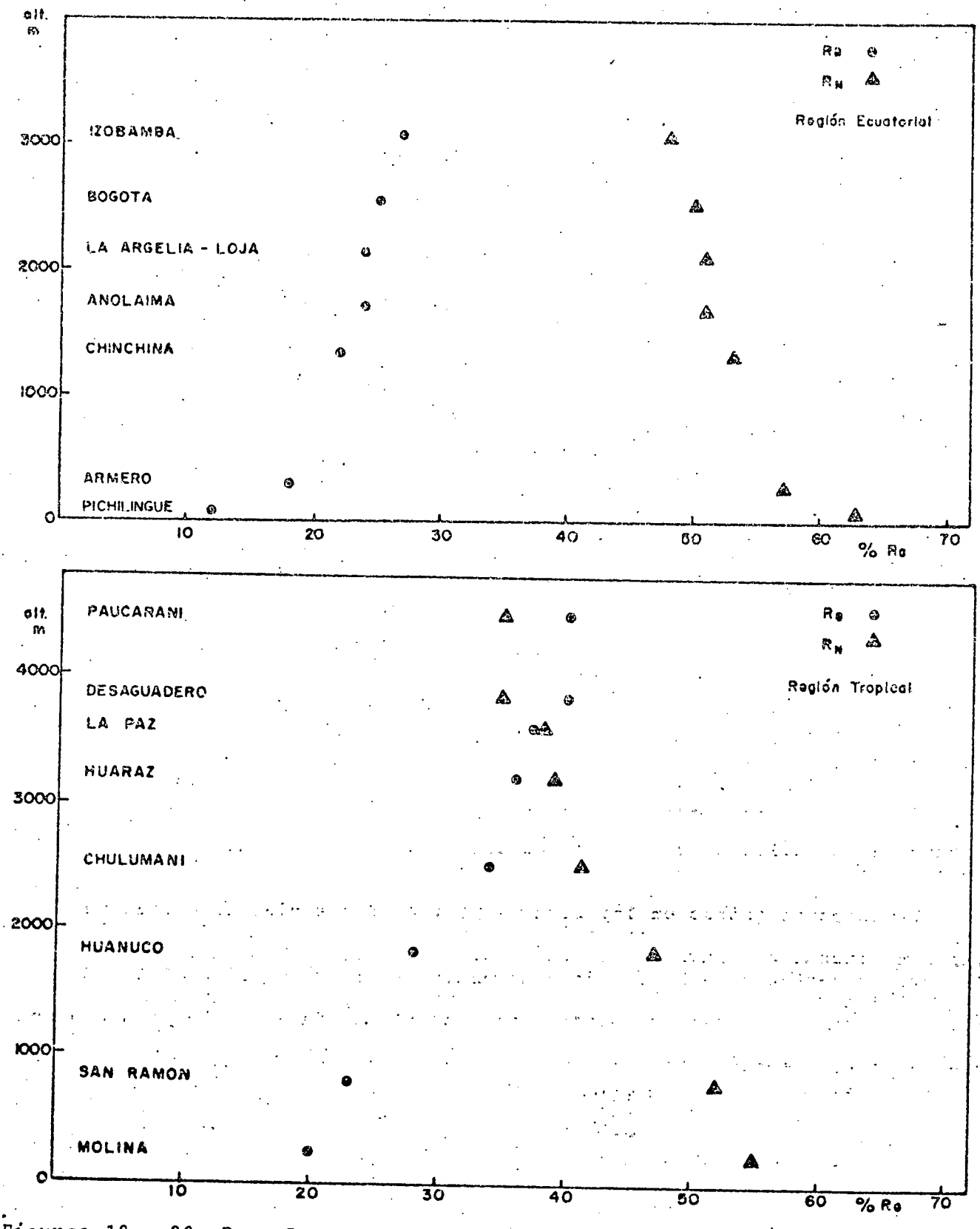


Figura 18 La relación entre el cociente R_B / R_G y n/N para estaciones a diferentes altitudes.

Además de esta diferencia debida a la altitud, que puede observarse en todas las zonas, existe también un efecto de latitud y de las correspondientes variaciones de nubosidad y distribución de la lluvia, que afectan todos ellos a su vez a la distribución de los términos del balance de radiación.

Hemos representado en las figuras 19 y 20 dos series de estaciones típicas: la primera pertenece a la región húmeda caracterizada por el régimen bimodal de lluvia y limitada aproximadamente a la latitud de 2°S; la segunda pertenece a la región comprendida entre 2° y 22° de latitud S, que se caracteriza por una distribución monomodal del régimen de lluvia. Por otra parte, algunas estaciones situadas al sur de 2° de latitud S pero de altitud bastante baja emplazadas en la vertiente oriental de los Andes, pueden mostrar características del balance de radiación similares a las del grupo ecuatorial de estaciones. En el gráfico hemos expresado el medio anual de radiación neta como porcentaje de R_G (triángulos pequeños) en función de la altitud. Hemos representado también por puntos el valor medio anual de radiación infrarroja efectiva. La parte de radiación de onda corta reflejada representa por término medio el 25 % de la radiación entrante.



Figuras 19 y 20 *RB y RN expresadas como porciento de RG en relación con la altitud, para la región ecuatorial (19) y la región tropical (20)*

Podemos ver en estos gráficos que, en ambos casos, el balance de calor (R_N) decrece con la altitud pero que en las latitudes ecuatoriales este decrecimiento es mucho más lento, debido probablemente a la mayor radiación soler que se produce durante todo el año, o a que la capa de nubes está más alta, y en general a la mayor presión de vapor.

Vemos que en la latitud ecuatorial y tropical la radiación resultante representa el siguiente porcentaje de R_G:

Altitud	Latitud ecuatorial	Latitud tropical
0	59	56
1000	55	51
2000	51	45
3000	47	40
4000	43	34

Las figuras 23-25 muestran, con respecto a las estaciones de Armero, Bogotá, Izobamba, Huaraz, La Molina y La Paz, las representaciones gráficas de la variación mensual de los términos del balance de radiación. Estos gráficos representan los valores de R_A, R_G, R_B y R_N para cada estación.

Mediante una línea de puntos se representa también la evapotranspiración potencial (ET) calculada por el método Penman (véase el capítulo XI). En estas figuras se puede ver que el clima de radiación y la distribución de los distintos términos del balance de radiación son bastante diferentes si se tienen en cuenta las variaciones de latitud y altitud.

La radiación entrante procedente del exterior de la atmósfera será muy diferente. Como Bogotá, Izobamba y Armero están situadas cerca del ecuador, mostrarán un régimen bimodal de radiación extraterrestre, con un mínimo alrededor de los solsticios y un máximo cerca de los equinoccios, oscilando entre 830 y 920 cal/cm^2/día. Las otras estaciones tropicales de Huaraz, La Molina y La Paz muestran una distribución monomodal con un máximo en el verano austral que alcanza 950-1000 cal/día y un mínimo en el invierno austral que alcanza 600-700 calorías solamente.

La radiación global recibida en la superficie de la tierra depende en gran medida de la nubosidad. En general tiende a alcanzar valores crecientes con la altitud. Se debe mencionar especialmente las estaciones situadas en las tierras bajas de las vertientes occidentales de los Andes, en donde la estación seca se caracteriza frecuentemente por densas nieblas formadas por el paso de masas de aire sobre las frías corrientes oceánicas que existen a lo largo de la costa y con dirección norte. Debemos también mencionar que los valles internos, en especial el del Magdalena, Colombia, disfrutan de un clima particular caracterizado por una intensa radiación, como puede verse en el gráfico.

La radiación infrarroja efectiva, R_B, que depende muchísimo de la temperatura del aire y de la presión de vapor, constituye un factor que provoca las mayores variaciones de la repartición de los términos del balance de radiación. Los valores medios van desde aproximadamente 15-20% al nivel del mar hasta 30-40% de la radiación total entrante a grandes altitudes.

Esto motivará, como se indica en la misma figura, una radiación neta que puede representar aproximadamente el 50-60% de la radiación total entrante al nivel del mar, pero sólo el 40-50% de la misma radiación entrante a grandes altitudes.

Este incremento de la radiación infrarroja efectiva es muy importante en lo que respecta a las temperaturas mínimas de las regiones montañosas. Como veremos en el capítulo que trata de la temperatura del aire, es sorprendente observar que muchos climas montañosos se caracterizan por un valor medio casi constante de la temperatura máxima mensual, mientras que el valor medio de las temperaturas mínimas muestra fluctuaciones estacionales muy importantes.

Algunas conclusiones se pueden sacar del análisis desarrollado en este capítulo y de los datos de las estaciones de referencia tal como están presentados en las tablas, aun teniendo en cuenta que éstos pueden no ser perfectos.

En la zona ecuatorial, el valor medio anual de la radiación global (R_G) es prácticamente constante, aproximadamente 400 cal/cm^2/día a todas altitudes, mientras que en la zona tropical de Perú y Bolivia la radiación global estimada tiende a aumentar desde 400 cal/cm^2/día a 1000 m hasta 450-500 cal a 4000 m de altitud, y más arriba. (figura 21)

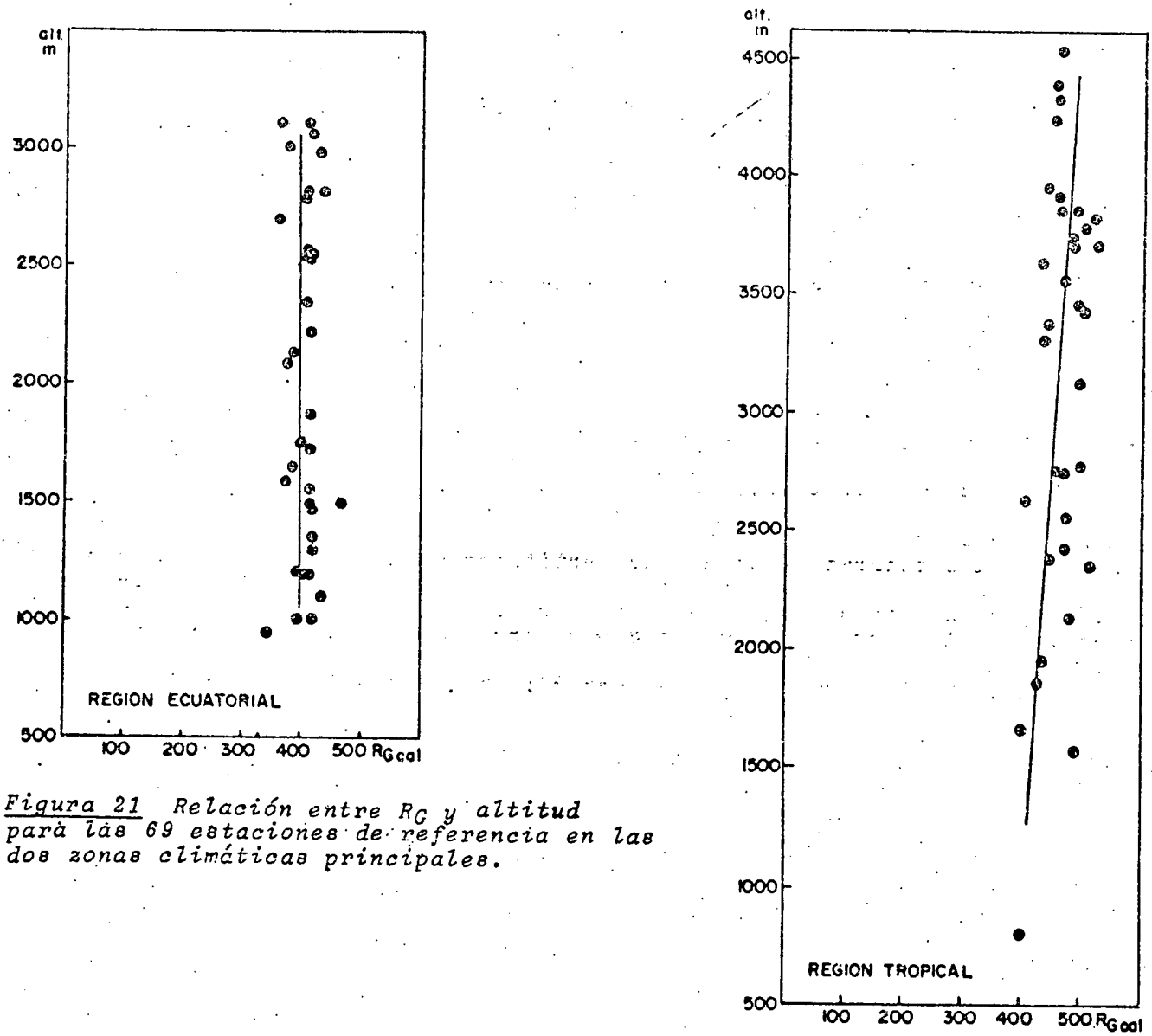


Figura 21 Relación entre R_G y altitud para las 69 estaciones de referencia en las dos zonas climáticas principales.

El objetivo de este capítulo, que es el análisis de la radiación neta (R_N) como fuente de energía para la evapotranspiración (E_T), lleva ahora a lo siguiente. En la zona ecuatorial R_N disminuye levemente de alrededor de 220 cal/cm^2/día a 1000 m, a alrededor de 180 cal a 3000 m de altitud, mientras que en la zona tropical la disminución es de alrededor de 220 cal/cm^2/día a 1000 m hasta alrededor de 160 cal a 4000 m de altitud. (figura 22).

Esto concuerda con la disminución porcentual de R_N tal como se presenta en la figura 19, y teniendo en cuenta los valores absolutos de la radiación global, para ambas regiones se aplica un gradiente muy general de R_N de - 20 cal por cada 1000 m de aumento en la altitud.

El efecto de esto sobre los valores anuales de evapotranspiración potencial es, para ambas regiones, una disminución media de 100 mm E_T por cada 1000 m de aumento en altitud. La dispersión en el último caso es sin embargo mucho mayor, como podía esperarse dado que también influyen otros factores sobre la E_T, lo cual se discutirá en el capítulo sobre evapotranspiración.

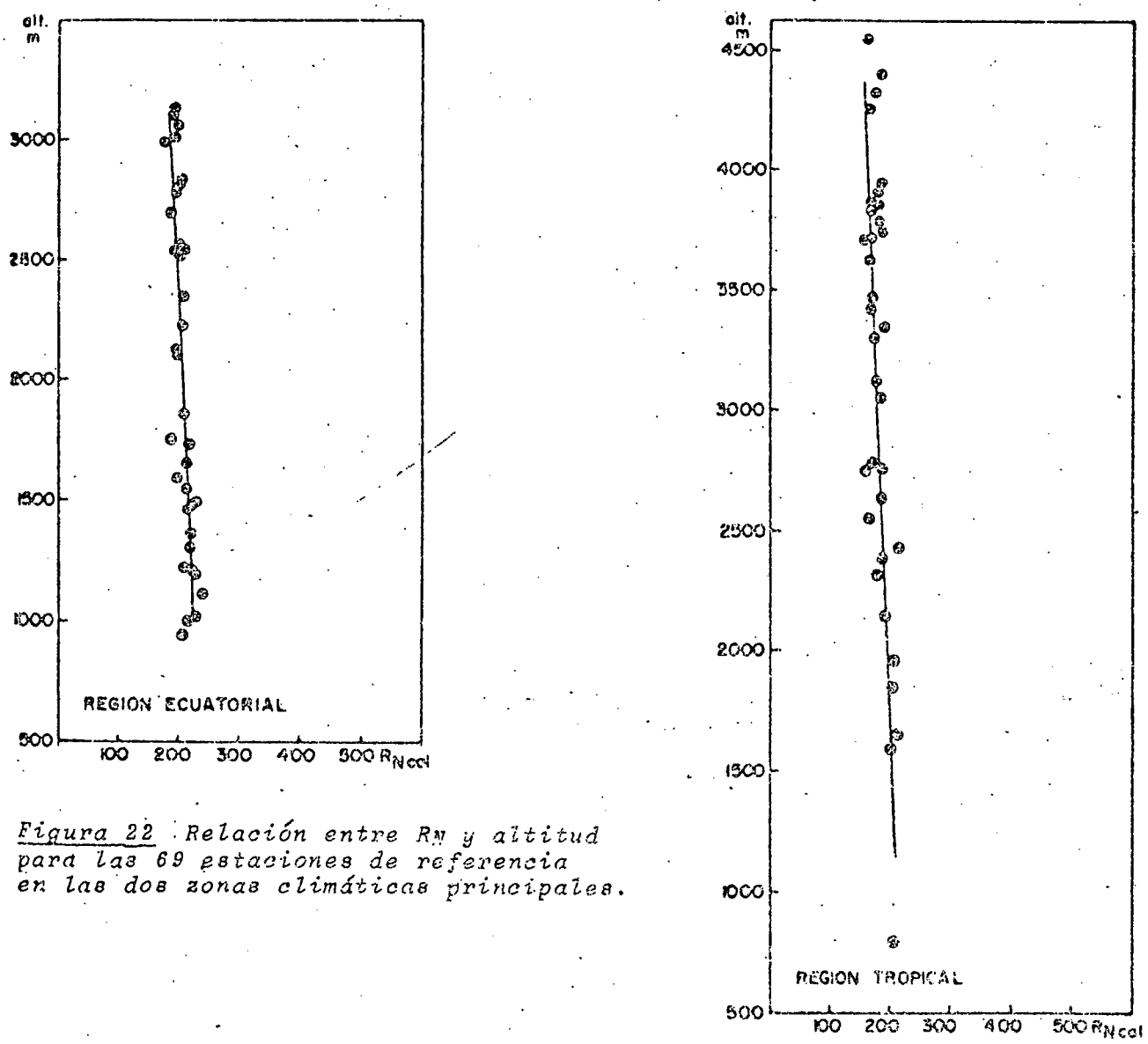


Figura 22 *Relación entre R_N y altitud para las 69 estaciones de referencia en las dos zonas climáticas principales.*

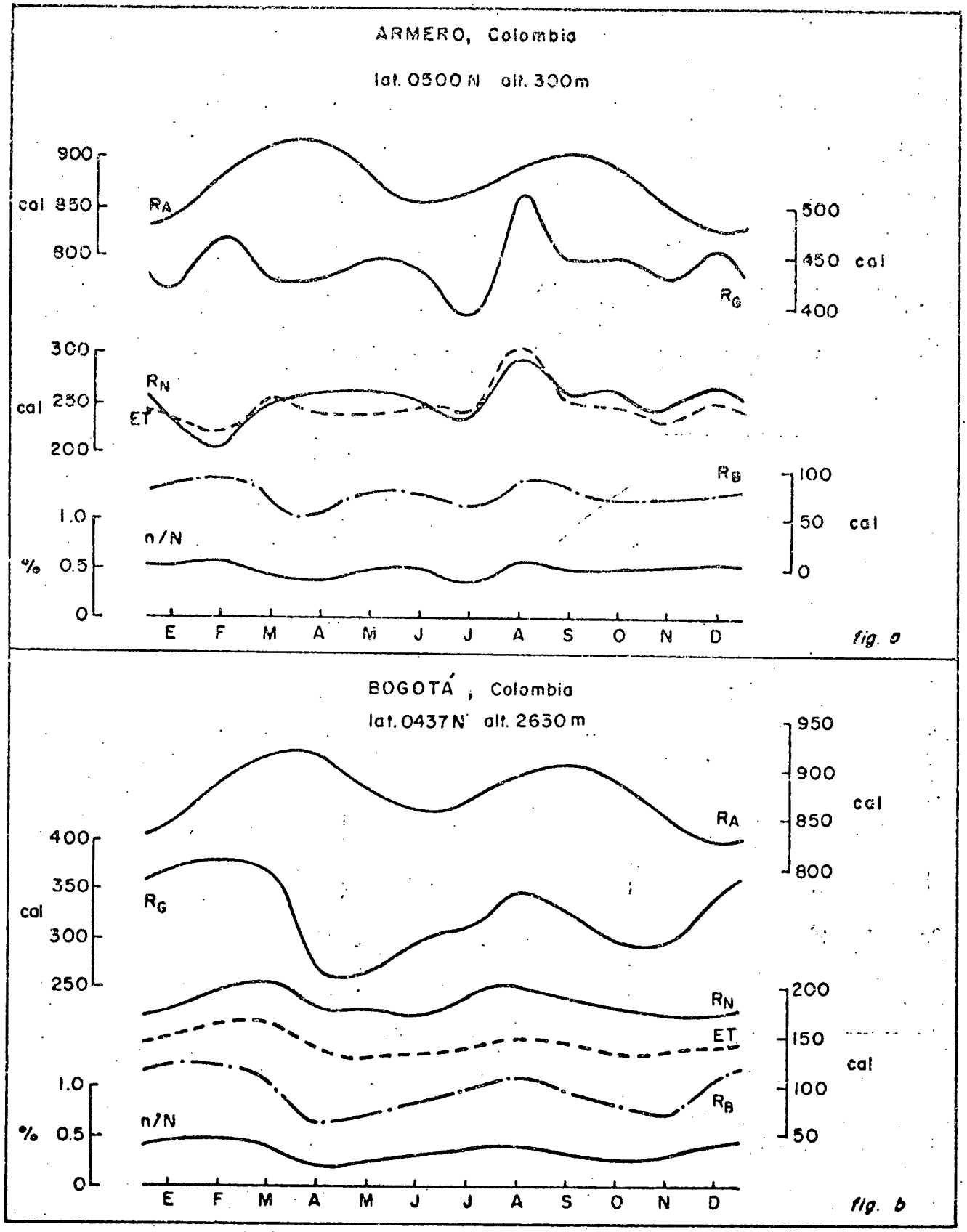


Figura 23 *Composición del balance de radiación y valores para ET (en cal/cm²/dia) y n/N (promedios mensuales).*

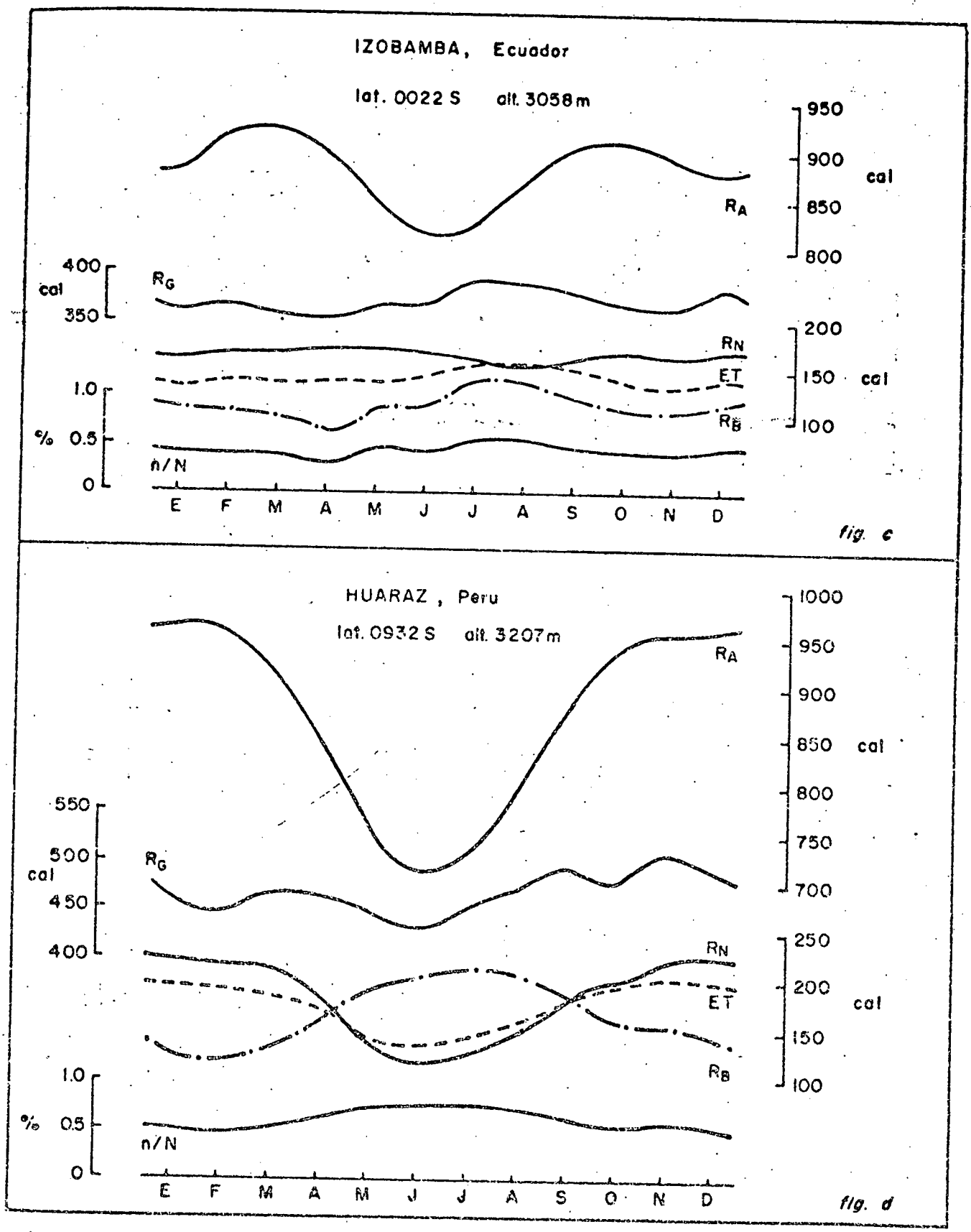


Figura 24. Composición del balance de radiación y valores para ET (en cal/cm²/día) y n/N (promedios mensuales).

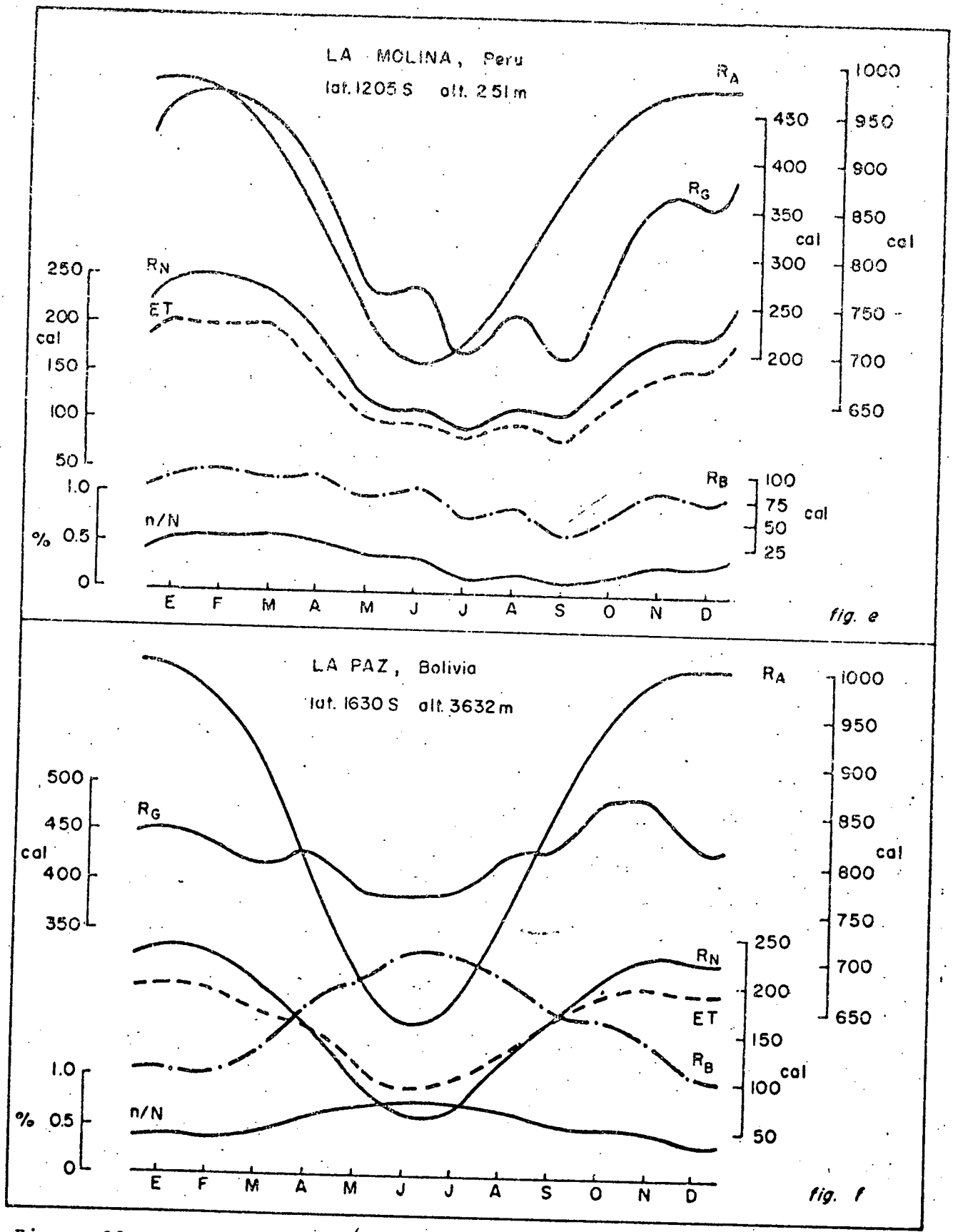


Figura 25 *Composición del balance de radiación y valores para ET (en cal/cm²/dia) y n/N (promedios mensuales).*

PROMEDIO MENSUAL Y ANUAL DE LA RADIACION GLOBAL

ESTACIONES		E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	AÑO
MUCUCHIES	HF	471	502	507	430	385	378	388	400	398	397	393	438	424
MERIDA	HF	471	502	519	468	457	437	433	485	507	455	436	449	468
BAILADORES	HF	348	445	398	392	373	390	355	436	434	419	415	366	399
BRAMON	RBY	385	413	411	365	448	445	449	484	495	452	427	410	432
BLONAY-CHINACOTA	HF	379	405	387	370	394	373	397	422	423	398	386	371	392
SALAZAR	HF	379	393	387	357	394	396	397	458	434	386	375	350	392
SAN VINCENTE	HF	417	407	401	388	391	405	444	456	447	401	379	387	410
MEDELLIN	HF	417	453	425	388	403	405	456	467	423	389	378	376	415
TUNGUAVITA	HF	417	476	437	401	379	370	374	383	398	388	368	408	400
SONSON	HF	362	395	352	412	398	428	467	479	423	401	390	397	406
LIBANO	HF	390	463	414	390	401	401	440	464	459	402	361	371	413
CHINCHINA	HF	422	442	425	389	389	401	440	453	434	406	406	404	418
ANOLAIMA	HF	434	445	426	390	401	401	405	441	459	414	372	371	413
BOGOTA	G	453	445	418	375	377	393	407	413	415	355	366	401	415
CHAPETON-IBAQUE	HF	425	435	427	402	411	411	427	440	447	403	386	384	417
USME	HF	391	457	414	329	340	320	300	353	350	332	363	363	359
TIBACUY	HF	447	459	415	390	369	388	404	419	423	404	397	417	411
SEVILLA	HF	380	400	396	366	375	377	404	416	398	368	340	353	381
PALMIRA	HF	429	438	427	401	396	396	434	449	434	405	401	389	417
MIRANDA	HF	397	417	391	401	371	417	398	437	398	406	391	392	401
LAURELES	HF	375	405	391	376	360	338	375	378	398	359	334	392	373
FLORIDA-POPAYAN	HF	436	455	429	387	370	393	419	435	434	408	394	395	413
PASTO OBONUCO	HF	349	375	357	349	343	331	346	374	362	363	341	308	355
TULCAN	HF	374	388	369	361	355	353	357	373	398	387	377	357	372
IBARRA	HF	413	427	407	384	397	383	410	430	423	425	416	408	410
QUITO	HF	438	427	432	408	408	404	442	475	459	449	416	445	434
IZOBAMBA	HF	416	428	419	383	395	381	419	440	434	425	417	422	415
LATACUNGA	HF	441	417	407	382	382	378	383	403	421	426	419	401	405
AMBATO	HF	430	430	419	405	380	356	360	390	409	450	456	438	410
PUYO	HF	347	345	320	321	312	310	315	344	360	365	384	350	340
RIOBAMBA	HF	419	418	394	404	390	374	369	423	408	427	397	415	403
CAÑAR	HF	411	408	406	390	386	370	408	420	419	415	423	418	408
CUENCA	HF	424	421	406	400	362	348	352	385	394	428	449	458	402
S. ISABEL	HF	365	360	344	340	338	366	404	395	382	392	414	381	372
LA ARGELIA LOJA	HF	379	398	369	397	351	331	358	359	381	405	428	424	382

Figura 26a *Promedios mensuales y anuales de la radiación global para las 69 estaciones de referencia.*

PROMEDIO MENSUAL Y ANUAL DE LA RADIACION GLOBAL

ESTACIONES		E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	AÑO
HUANCABAMBA	HF	394	438	450	430	407	387	375	467	463	467	467	466	433
CHACHAPOYAS	HF	486	490	490	423	454	411	441	472	485	506	521	495	473
CAJAMARCA	HF	414	416	392	378	345	357	395	403	401	433	475	437	404
HUARAZ	HF	461	447	464	461	446	429	451	459	491	475	506	485	466
HUANUCO	HF	438	409	427	415	403	388	399	435	444	449	459	448	426
LAMPAS BAJO N.3	HF	438	410	390	381	403	426	448	467	467	474	494	487	440
CERRO DE PASCO	N	505	471	447	433	433	446	374	409	453	486	471	502	453
SAN RAMON	HF	415	397	392	389	378	353	373	398	406	436	448	426	401
LA OROYA	N	516	510	514	464	451	443	413	453	486	542	539	514	487
HUANCAYO	HF	456	449	424	429	412	421	415	425	449	498	489	480	446
QUILLABAMBA	HF	418	412	399	382	376	360	371	390	401	423	441	404	398
HUAMANGA	HF	485	478	435	436	415	395	390	420	470	498	530	495	454
CUZCO - KAYRA	HF	447	412	423	434	411	399	403	438	457	473	479	430	434
ABANCAY	HF	460	450	434	434	411	390	403	448	457	498	505	457	446
CHUQUIBAMBILLA	HF	463	452	420	428	412	407	422	460	464	535	535	500	458
CAYLLOMA	HF	490	452	420	428	412	416	413	460	464	522	522	487	457
CUENCA RIO VERDE	HF	466	452	419	435	406	399	405	455	461	509	524	490	452
PUNO (GR. SALC.)	HF	492	452	456	469	390	394	390	447	485	522	549	501	462
AREQUIPA	HF	533	491	478	499	443	425	441	484	539	596	616	570	510
DESAGUADERO	HF	520	504	502	485	419	413	422	461	492	534	538	519	484
PAUCARANI	HF	429	401	442	473	427	392	416	467	503	560	552	467	461
EL BELEN	N	595	572	520	509	450	421	430	475	531	582	604	566	521
CHULUNANI	N	571	534	511	475	406	374	395	428	487	522	556	563	485
LA PAZ (C.)	HF	454	440	418	433	394	387	394	432	437	485	486	438	433
PATACAMAYA	N	574	524	518	478	414	392	407	452	519	568	582	572	500
COCHABAMBA	N	544	524	491	448	394	384	386	423	484	503	536	523	470
TOTORA	N	554	519	504	473	425	402	404	459	518	559	559	543	493
ORURO	N	575	496	508	500	409	368	390	442	499	540	565	575	489
TACAGUA	N	636	589	506	494	436	397	413	471	545	615	630	611	529
SUCRE	N	528	497	480	449	390	361	389	436	488	540	548	539	470
PADILLA	N	575	521	501	445	380	360	369	433	487	547	588	587	483
PUNA	N	591	556	523	437	400	386	392	445	501	566	621	593	501
OPLOCA	N	585	545	508	465	398	360	382	449	503	565	592	578	494
VILLAZON	N	586	545	500	451	388	358	371	438	512	563	592	578	490

Figura 26b *Promedios mensuales y anuales de la radiación global para las 69 estaciones de referencia.*

PROMEDIO MENSUAL Y ANUAL DE LA RADIACION RESULTANTE

ESTACIONES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	AÑO	%Rn/Ro
MUCUCHIES	165	181	202	202	155	192	119	196	195	190	169	152	177	42
MERIDA	206	231	254	244	230	228	207	244	243	231	208	202	227	49
BAILADORES	160	202	197	195	185	182	152	204	206	200	185	171	187	47
BRAMON	192	210	225	199	259	258	246	271	278	251	244	211	237	55
BLONAY-CHINACOTA	187	205	218	215	219	202	211	221	224	213	196	188	208	53
SALAZAR	200	212	220	211	221	219	205	241	230	219	205	186	214	55
SAN VINCENTE	219	218	225	224	222	227	235	244	244	223	206	201	224	55
MEDELLIN	198	212	219	211	219	207	222	231	224	211	189	191	211	51
TUNGUAVITA	170	206	205	206	197	183	191	195	199	194	179	168	191	48
SONSON	184	202	196	219	209	209	221	230	215	215	197	188	207	51
LIBANO	199	252	230	219	224	209	222	233	238	222	195	198	220	53
CHINCHINA	203	221	223	214	215	221	236	243	237	225	212	212	222	53
ANOLAIMA	210	225	221	212	212	208	203	220	227	219	198	193	212	51
BOGOTA	213	214	211	208	207	212	209	211	213	186	194	196	208	50
CHAPETON-IBAGUE	221	225	228	225	219	211	215	224	231	217	208	198	219	53
USME	189	208	214	192	187	180	175	189	191	188	184	187	190	53
TIBACUY	218	223	222	217	194	204	209	212	216	218	207	205	212	52
SEVILLA	204	210	219	212	211	207	212	222	223	208	191	195	210	55
PALMIRA	221	234	231	228	222	214	221	233	232	224	215	208	224	58
MIRANDA	212	230	225	226	214	238	216	228	219	224	217	206	221	55
LAURELES	193	211	214	209	194	181	181	195	208	200	185	194	198	53
FLORIDA-POPAYAN	213	227	219	209	192	195	198	207	211	217	207	199	208	50
PASTO-OBONUCO	184	196	197	191	179	168	172	191	191	194	183	192	187	53
TULCAN	187	202	203	195	183	171	173	188	201	204	198	189	191	51
IBARRA	207	217	216	203	198	182	188	225	208	215	208	209	206	50
QUITO	213	210	220	208	192	182	185	207	213	222	202	205	205	47
IZOBAMBA	201	214	212	198	186	173	176	192	206	209	206	199	196	48
LATACUNGA	211	212	208	199	188	171	178	186	203	212	208	197	198	49
AMBATO	207	215	217	201	183	169	173	185	205	215	209	209	199	49
PUYO	210	212	201	201	185	179	184	198	213	215	225	212	203	60
RIOBAMBA	202	209	207	204	186	168	176	192	200	212	201	198	196	49
CAÑAR	205	209	208	196	175	162	169	189	205	208	205	201	194	48
CUENCA	206	215	211	205	178	165	166	180	199	213	217	217	196	49
S. ISABEL	207	211	204	198	185	172	176	200	202	209	220	204	199	53
LA ANGELIA LOJA	207	216	204	207	178	158	169	181	195	211	215	217	196	51

Figura 27a *Promedios mensuales y anuales de la radiacion resultante para las 69 estaciones de referencia.*

PROMEDIO MENSUAL Y ANUAL DE LA RADIACION RESULTANTE														
ESTACIONES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	AÑO	%Rn/Rs
HUANCABAMBA	209	231	225	209	176	153	165	187	209	231	230	234	205	47
CHACHAPOYAS	233	238	238	181	185	159	171	199	221	237	238	235	211	45
CAJAMARCA	212	214	206	185	157	140	142	165	192	210	222	211	188	47
HUARAZ	220	217	215	165	141	119	126	145	183	199	224	221	183	39
HUANUCO	237	224	223	198	166	142	145	173	204	224	235	237	201	47
LAMPAS BAJO N.3	215	209	197	176	144	116	131	160	191	212	220	227	183	42
CERRO DE PASCO	227	225	206	175	140	118	124	154	187	215	221	199	183	40
SAN RAMON	251	249	238	210	174	135	145	172	204	234	253	244	209	52
LA OROYA	228	222	230	171	136	104	120	147	185	214	222	226	184	38
HUANCAYO	226	222	208	180	137	108	120	145	189	223	222	234	184	41
GUILLABAMBA	261	251	230	184	158	143	153	175	215	244	262	252	211	53
HUAMANGA	237	237	208	171	138	99	110	156	186	221	224	237	185	41
CUZCO KAYRA	230	211	202	174	124	88	103	139	179	204	222	217	174	40
ABANCAY	237	230	204	175	132	105	122	156	190	220	232	233	186	42
CHUQUIBAMBILLA	223	224	193	159	113	85	108	139	164	214	218	235	175	38
CAYLLOMA	218	213	191	156	116	82	103	138	165	202	222	223	172	38
CUENCA RIO VERDE	221	212	185	151	100	74	94	126	162	201	230	229	165	37
PUNO (GR. SALC.)	242	222	207	170	109	53	94	129	183	207	234	234	176	38
AREQUIPA	249	234	210	172	107	71	71	114	171	213	241	247	175	34
DESAGUADERO	234	227	202	156	99	69	94	122	173	207	224	234	170	35
PAUCARANI	214	206	189	140	148	62	74	107	166	199	227	214	162	35
EL BELEN	193	243	205	161	104	73	84	124	178	212	238	248	172	33
CHULUMANI	292	273	235	188	132	94	96	136	185	224	258	270	199	41
LA PAZ (C.)	232	227	195	154	99	63	72	118	159	201	227	221	164	38
PATACAMAYA	273	250	218	156	100	62	71	109	168	223	245	260	178	36
COCHABAMBA	255	241	206	153	93	48	62	110	162	199	228	242	167	35
TOTORA	263	241	206	158	97	51	62	110	168	212	243	247	172	35
ORURO	244	221	191	133	78	48	55	92	147	185	218	238	154	32
TACAGUA	287	258	214	150	84	46	57	101	162	221	239	266	174	33
SUCRE	248	237	202	149	85	36	46	98	156	203	235	253	162	35
PADILLA	296	268	231	175	108	73	80	124	176	232	274	283	193	40
PUNA	271	250	212	148	87	38	57	98	158	214	253	282	171	34
OPLOCA	294	264	223	149	77	37	42	93	159	224	258	281	175	35
VILLAZON	284	260	207	140	64	31	42	87	153	214	252	270	167	34

Figura 27b Promedios mensuales y anuales de la radiacion resultante para las 69 estaciones de referencia.

Referencias - Radiación

Angot, R. 1883 — Solar radiation at the top of the atmosphere. In: Brunt, D. 1939, Physical and Dynamical Meteorology. Cambridge University Press

Ångström, A. 1924 — Solar and terrestrial radiation. Q.J. Roy. Met. Soc.50, 121

Angström, A. 1956 — Computing global radiation from records of sunshine. Arkiv för Geofijsica, Stockholm 2, no.22

Bernard, E. 1956 — Le détérminisme de l'évaporation dans la nature. Publication de l'Institut National pour l'Etude Agronomique du Congo (INEAC).

Black, F.N., Bonython, C. and Prescott, J.A. 1954 — Solar radiation and duration of sunshine. Q.J. Roy. Met. Soc. 80, 231

Brunt, D. 1939 — Physical and dynamical meteorology. Cambridge University Press

Budyko, M.I. 1956 — The heat balance of the earth's surface. Leningrad (U.S. Weather Bureau Translation 1958)

Budyko, M.I. 1963 — Atlas of the heat balance of the Earth. Leningrad

De Jong, F. 1973 — Net radiation received by a horizontal surface of the earth. Delft University Press

Frère, M. 1960 — Le climat de la radiation à Yangambi. INEAC. Rapport interne

Glover, J. and McCulloch, J.S.G. 1958 — The empirical relation between radiation and hours of sunshine. Q.J. Roy. Met. Soc., 84, 172

Koopman, R.W. Det 1968 — Determination of evaporation with monographs. Wageningen Agricultural University, Dept. of Irrigation

Penman, H.L. 1948 — Natural evaporation from open water, bare soil and grass. Proc. Roy. Soc. London A 93, 120

Penman, H.L. 1956 — Estimating evaporation. Trans. Am. Geoph. Union 37, 43

Penman, H.L. 1963 — Vegetation and hydrology. Tech. Communic. 53, Commonwealth Bureau of Soils.

Smith, G.W. 1972 — Inexpensive instruments for the measurement of solar radiation. Q. J. Roy. Met. Soc. 98, p.855

VII. LUZ, DURACION DEL DIA Y FOTOPERIODICIDAD

La radiación es muy importante no sólo para los intercambios de calor entre la tierra y la atmósfera, sino también en lo que respecta a la fotosíntesis, que es el proceso primordial de elaboración de materia orgánica que se produce en la superficie de la tierra.

Un 41% del total de la radiación de onda corta R_G que llega a la superficie de la tierra está contenida en el espectro visible, desde las longitudes de onda de 0.40 hasta 0.76u m y ejerce efectos en la fotosíntesis. Para la mayoría de las plantas la eficacia de la fotosíntesis queda condicionada y limitada por la proporción de intercambios gaseosos que intervienen en el proceso de fotosíntesis y se admite generalmente que con temperaturas y concentración de CO_2 normales la eficacia de la fotosíntesis en la cubierta superior de los cultivos es del orden de 2%, mientras que esta eficacia puede ser muy superior cuando los órganos fotosintéticamente activos están a la sombra. Este pequeño porcentaje utilizado en fotosíntesis puede ser despreciado teniendo en cuenta los intercambios de energía que se aplican a la determinación del calor latente de vaporización.

Una de las cuestiones que a veces se pasa por alto es la sensibilidad de ciertos cultivos a la variación de la longitud del día según las estaciones del año.

En las regiones tropicales, en donde otros factores naturales tales como la temperatura, radiación, presión de vapor, lluvia, etc., pueden permanecer constantes o pueden ser compensados, por ejemplo, por el riego, nos podríamos sentir tentados (y en algunos casos así se hace) de ampliar el ciclo vegetativo de los cultivos o de cultivar fuera de la estación. La introducción de estas prácticas debe ir precedida de experimentaciones muy completas sobre el comportamiento de los cultivos y el rendimiento de la cosecha, ya que el ciclo vegetativo de la planta puede estar fuertemente influido por la fotoperiodicidad. Aunque desde luego este fenómeno es de importancia relativamente pequeña en las zonas tropicales en donde la variación de la duración del día no es tan grande como en las zonas templadas, la cuestión afecta a la introducción en las regiones montañosas tropicales de nuevas variedades de cultivos que se desarrollan en los climas propios de elevadas latitudes.

La tabla siguiente muestra para las distintas latitudes de la región cubierta por la encuesta, la variación de la duración del día según los meses del año, en horas y décimas de hora.

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
10° Lat. N	11.6	11.8	12.0	12.3	12.6	12.7	12.6	12.4	12.1	11.8	11.6	11.5
5° " N	11.8	11.9	12.0	12.2	12.3	12.4	12.3	12.3	12.1	12.0	11.9	11.8
0° "	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1
5° " S	12.3	12.3	12.1	12.0	11.9	11.8	11.8	11.9	12.0	12.2	12.3	12.4
10° " S	12.6	12.4	12.1	11.8	11.6	11.5	11.6	11.8	12.0	12.3	12.6	12.7
15° " S	12.9	12.6	12.2	11.8	11.4	12.2	11.3	11.6	12.0	12.5	12.8	13.0
20° " S	13.2	12.8	12.3	11.7	11.2	10.9	11.0	11.5	12.0	12.6	13.1	13.3

En esta tabla puede verse que en Bolivia meridional existe una diferencia de más de dos horas en la longitud de los días entre el verano y el invierno, la cual es suficiente para originar diferencias de comportamiento en lo que se refiere al desarrollo de determinadas especies de cultivos.

VIII. TEMPERATURA DEL AIRE

1. Introducción

La temperatura del aire y sus variaciones diurnas y estacionales son muy importantes para el desarrollo de las plantas ya que constituyen uno de los más primordiales factores limitativos de su crecimiento e influyen directamente en la velocidad de éste, en la longitud del ciclo vegetativo anual y en las fases de crecimiento de las plantas perennes.

Aunque en las tierras bajas de las zonas tropicales la temperatura del aire rara vez constituye un factor limitativo, no ocurre así en los climas montañosos.

2. Temperaturas medias

En la región objeto de la encuesta, debido a numerosas diferencias de latitud y altitud, existen grandes variaciones en la distribución de la temperatura del aire. En la zona ecuatorial comprendida entre 5° de latitud N y aproximadamente 2° de latitud S, la distribución de temperatura muestra mucha mayor regularidad durante todo el año, quedando definida la temperatura media principalmente por la altitud de la estación.

Más al sur las distribuciones de temperatura tienden a ser más tropicales, haciéndose más acentuadas las diferencias entre la estación fría y la cálida, siendo los meses más calurosos los comprendidos entre noviembre y febrero y los más fríos entre junio y agosto.

Hemos representado en el gráfico 28 una serie de estaciones situadas aproximadamente a la misma altitud, pero que varían en latitud desde 4 N a 19° S. Este gráfico demuestra muy claramente la variación estacional de las temperaturas medias mensuales y la acentuación, con la latitud, del período de bajas temperaturas.

En realidad, en las latitudes australes, las temperaturas muestran una profunda depresión en el gráfico, correspondiente a los meses del invierno austral, lo cual significa que las estaciones cuyas temperaturas medias están por debajo de 10° C durante esos meses, están expuestas al riesgo de heladas. Estos procesos se describen con mayor detalle al tratar de las estaciones de Perú meridional y Bolivia en un párrafo posterior.

La tabla 36 indica las temperaturas medias mensuales y anuales del aire en las estaciones de referencia utilizadas en la encuesta.

3. Gradiente de temperatura en altitud

Los gradientes de temperatura que se mencionan generalmente en la literatura especializada, para las regiones tropicales, son de aproximadamente 0.5-0.7°/100 m de altitud. Se han tomado dos ejemplos de gradiente

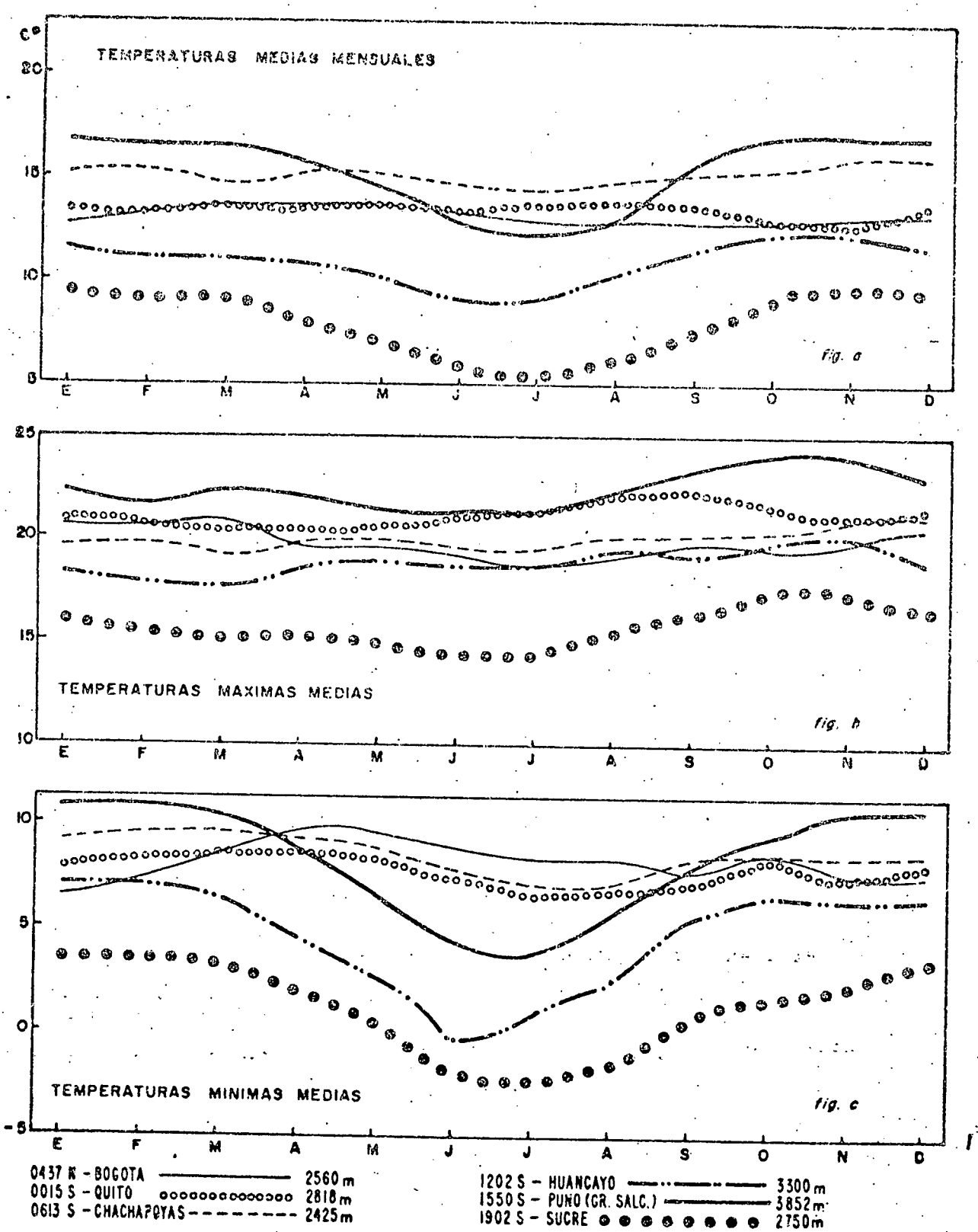


Figura 28 *Variación estacional de las temperaturas para estaciones seleccionadas: a) temperaturas medias mensuales; b) temperaturas máximas medias; c) temperaturas mínimas medias.*

de temperatura en Colombia y Perú (figuras 29-30). La primera serie estudiada está constituida por los datos procedentes de las estaciones pertenecientes a los cortes verticales I, II y III. Estos gráficos muestran sucesivamente la temperatura media del mes de mayo (estación lluviosa) y la temperatura media del mes de agosto (estación seca), en relación con la altitud.

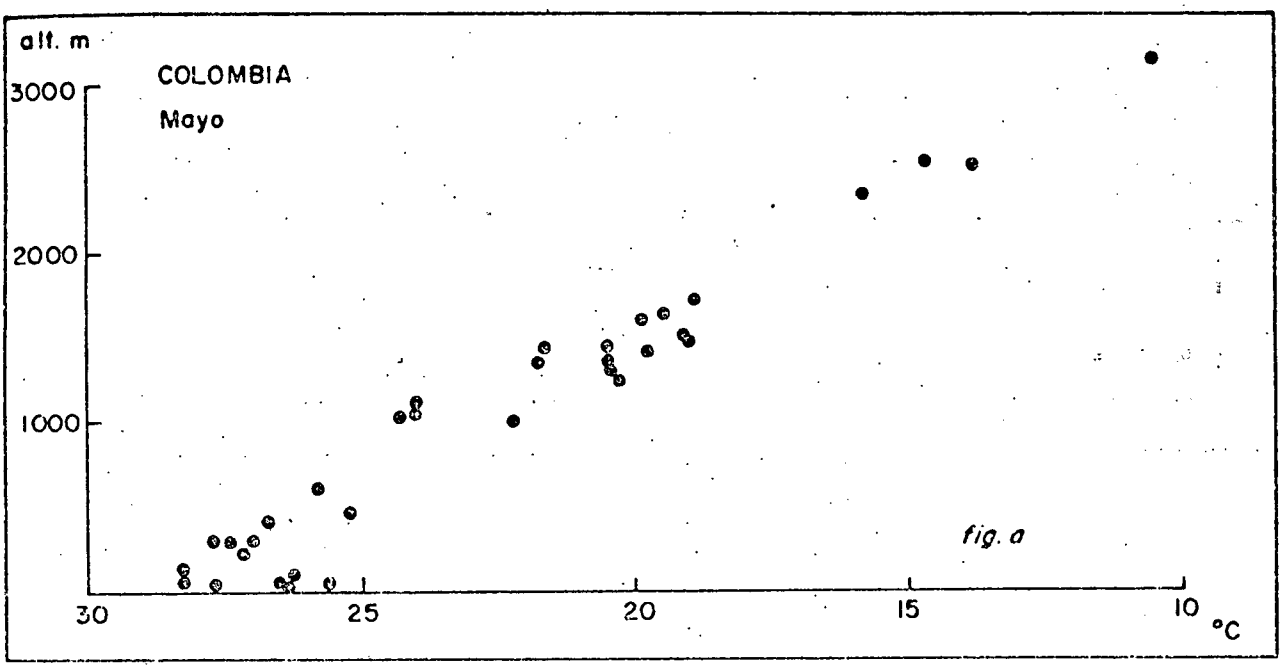


Figura 29a Gráfico de las temperaturas medias mensuales para estaciones en Colombia en el mes de mayo.

De los gráficos se deduce que el gradiente de temperatura de la región es de aproximadamente 0.55° por 100 m de altitud. En el gráfico del mes de agosto se observa una dispersión característica de los valores en las estaciones de las tierras bajas situadas por debajo de 1000 m de altitud. Parece que las estaciones ubicadas en los valles fluviales de Colombia del río Cauca y del Magdalena se caracterizan por una temperatura media, mayormente en la estación seca, que permanece constantemente por encima de la indicada por la inclinación media del gráfico. Por el contrario, las estaciones de las tierras bajas situadas en las vertientes costeras y amazónicas muestran temperaturas medias considerablemente más bajas que las indicadas por la línea de regresión. Esta situación se debe probablemente al relativo aislamiento y orientación especial de dichos valles, que motiva un calentamiento adiabático local (figura). Este hecho originará, desde luego, condiciones climáticas bastante diferentes en esos valles, si se mantienen iguales todas las otras condiciones. Los valles en cuestión se caracterizan pues por temperaturas más elevadas y por humedades inferiores a las que normalmente cabría esperar dada su altitud. Todo ello se aplica en especial a los valles de suficiente estrechez para provocar fuertes fenómenos de convección.

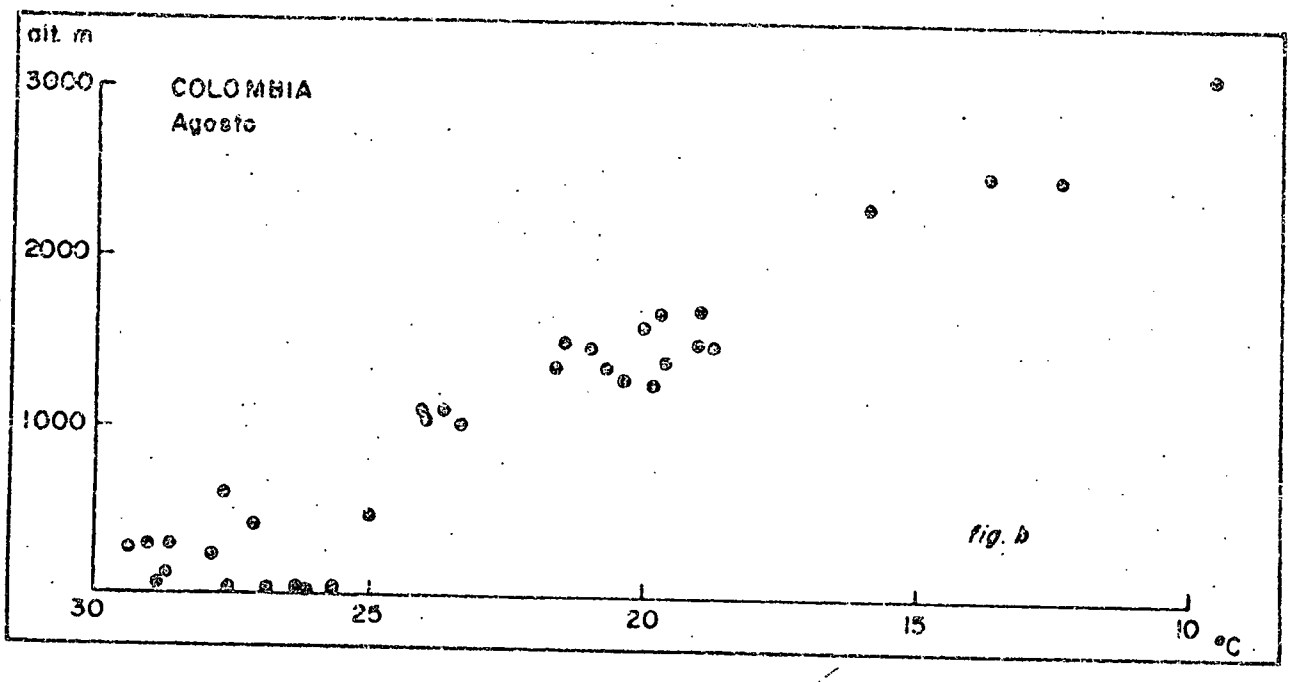


Figura 29b. Gráfico de las temperaturas medias mensuales para estaciones en Colombia en el mes de agosto.

Se ha llevado a cabo en la parte meridional del Perú un estudio similar con los datos de los cortes verticales X, XI y XII, que se extienden sobre una amplia gama de altitudes desde el nivel del mar hasta por encima de 4400 m sobre ese nivel (figura 30). El gradiente se mantiene en general alrededor de 0.55°/100 m, aunque las temperaturas medias de cada altitud determinada son desde luego superiores a las de Colombia.

La tabla siguiente por ejemplo indica la temperatura media anual a distintas altitudes, correspondiente a la latitud de alrededor 4° N y 17° S.

	4° Lat.N	17° Lat.S	Δ
3000 m	11.1°C	13.5°C	2.4°C
2000 m	16.9°C	19.5°C	2.6°C
1000 m	22.7°C	25.5°C	2.8°C
0 m.	28.5°C	-	-

Esta información muestra también que en Colombia, a más de 3000 m de altitud, el riesgo de heladas existe y que a la misma altitud en Perú este riesgo existe claramente durante el invierno.

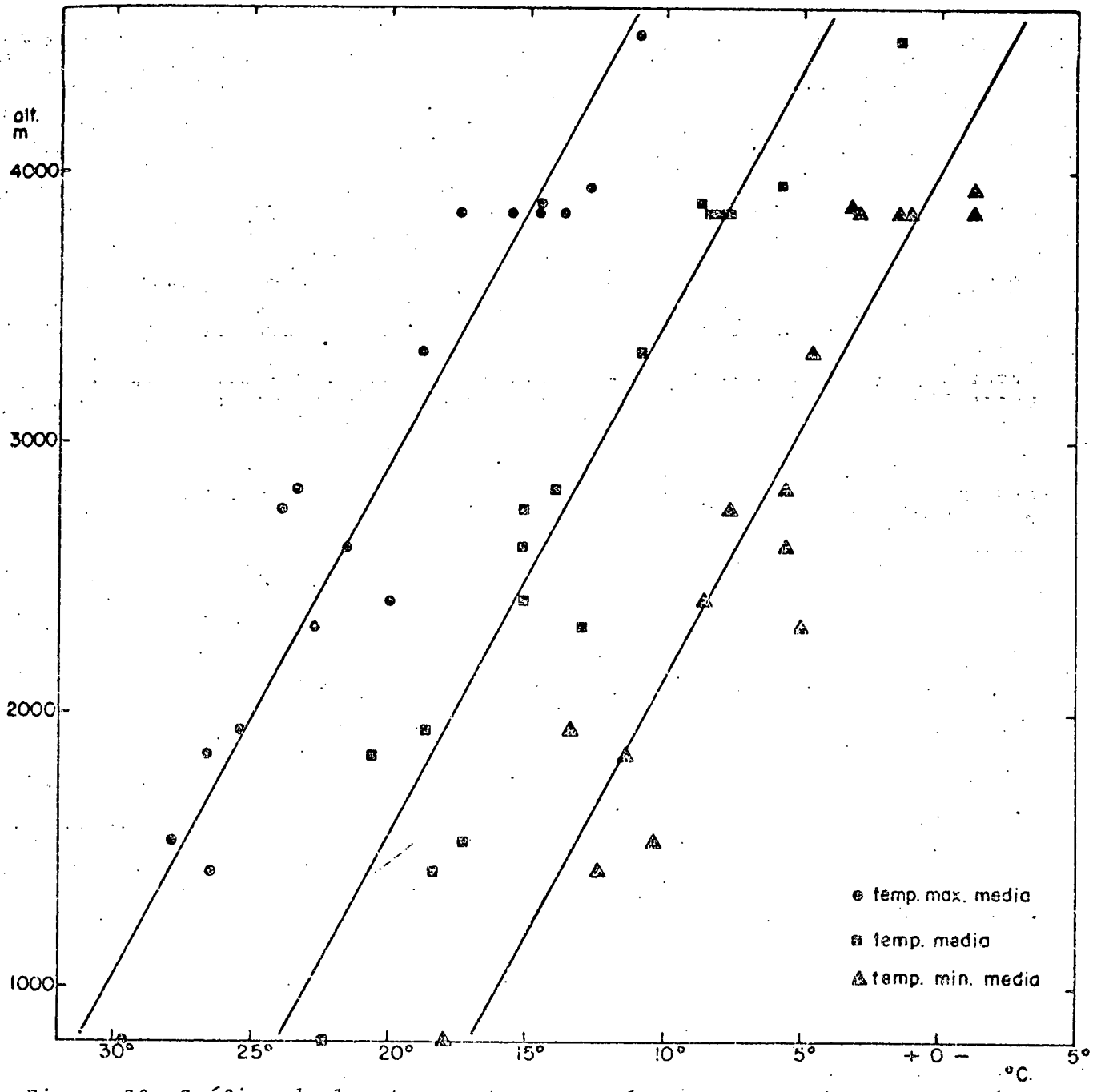


Figura 30 *Gráfico de las temperaturas anuales para estaciones en Perú*

4. Valor medio de la variación diaria de temperatura

La fisiología de numerosos cultivos está sometida a la influencia de la alternancia de temperatura que se produce de día y de noche, ya que la respiración nocturna utiliza parte de la materia orgánica, principalmente hidrocarburos, que la planta elabora por fotosíntesis de día. Interesa pues tener una idea de cuál puede ser la variación de temperatura en la región y también cómo fluctuará con la latitud, altitud, orientación del terreno, etc.

La tabla 31 indica la tendencia de la variación media diaria de la temperatura en 3 estaciones situadas a aproximadamente 4° de latitud N y a distintas altitudes.

ESTACION	ALT. (m)	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	AÑO
BAJO CALIMA	70	10.4	8.0	10.4	9.8	7.8	9.2	9.4	8.2	6.0	7.2	6.7	8.1	8.7
CHINCHINA	1360	12.5	11.7	12.6	11.1	10.7	11.0	11.0	11.4	11.3	11.1	11.2	10.7	11.3
BOGOTA	2560	16.2	14.0	11.8	11.6	10.4	9.2	10.2	11.3	12.1	10.7	11.0	14.0	11.8

Tabla 31 Oscilación de las temperaturas medias diarias a 4° latitud N.

Como puede verse, la variación de temperatura a esta latitud cambia con la altitud y también lo hace según los distintos períodos del año. Observamos mayores cambios de temperatura durante la estación del año menos lluviosa, lo cual está de acuerdo con lo que ya se estudió en el capítulo que trata de la radiación resultante.

La tabla 32 indica un estudio similar realizado en una región mucho más tropical, de una latitud aproximada de 11° S, y con mucha mayor variación de altitud.

ESTACION	ALT. (m)	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	AÑO
SAN RAMON	800	9.9	9.8	10.3	11.4	12.1	13.0	12.8	13.3	12.9	11.6	11.6	10.7	11.6
HUANCAYO	3350	12.4	11.0	11.1	14.0	16.3	19.0	17.8	17.0	14.0	13.6	13.6	12.5	14.3
PACHACHACA	4030	14.6	13.7	14.7	15.9	18.9	21.1	23.3	21.0	18.2	17.7	18.4	14.2	18.0

Tabla 32 Oscilación de las temperaturas medias diarias a 11° latitud S.

La diferencia entre las estaciones de observación es mucho más acentuada y se observa también gran diferencia, que crece con la altitud, entre las variaciones de temperatura de las estaciones del año lluviosa y seca. Estos importantes cambios de temperatura originan la aparición de heladas incluso en las zonas en donde las temperaturas diurnas permanecen aún bastante elevadas. Las estaciones situadas aproximadamente a la misma altitud pueden también mostrar pronunciadas diferencias en la variación diaria de temperatura, debido principalmente a la distinta orientación del terreno en que se hallan.

5. Temperaturas máximas y mínimas

En muchas estaciones de gran altitud, donde la temperatura media se calcula a partir de las temperaturas máxima y mínima, es muy marcada la influencia que la temperatura mínima invernal ejerce en la temperatura media (figura 28). Dicha temperatura media, cuando se usa como temperatura diurna para calcular la evapotranspiración, resulta inferior a la temperatura real del aire y puede motivar estimaciones demasiado bajas de la ET. En estas circunstancias extremas la temperatura del aire y de las superficies tales como las plantas, agua y suelo diferirán algunas veces considerablemente entre sí y por consiguiente pueden causar cambios del balance de energía.

Sin embargo, en ausencia de valores medidos de estos elementos del balance de radiación y energía, se han utilizado los datos disponibles de temperatura para los cálculos de la evapotranspiración (ET).

En vista de la importancia que tienen los parámetros de la temperatura máxima y mínima, se han elaborado tablas con las temperaturas medias, tanto como tablas que indican los valores medios mensuales y anuales de las temperaturas máximas y mínimas, correspondientes a las estaciones de referencia.

6. El problema de las heladas en las montañas andinas

La ocurrencia de temperaturas de congelación, especialmente si se prolongan en el tiempo, constituye uno de los principales factores limitativos de la agricultura en las montañas andinas, ya que reduce drásticamente la duración del ciclo vegetativo de los cultivos anuales así como su número, por encima de determinada altitud crítica que para Perú y Bolivia puede estimarse aproximadamente en 2500 m.

El efecto de este fenómeno es menos grave en la parte norte de la región objeto de la encuesta, donde la altitud media en las zonas agrícolas es inferior a la correspondiente de la parte meridional y en la que el régimen ecuatorial del clima motiva muy poca variación estacional de la temperatura, así como una reducida fluctuación diaria de la misma.

Sin embargo, en la parte meridional las altitudes son más elevadas y en particular los altiplanos de Bolivia y Perú, situados a 3500-4000 m, experimentan graves problemas de heladas mientras que al mismo tiempo constituyen una amplia zona propia para la agricultura de gran altitud. La posición tropical de esta zona origina también marcadas diferencias estacionales que se reflejan en amplias fluctuaciones de temperatura entre el verano y el invierno. También se observan amplias fluctuaciones de lluvia que caracterizan la zona.

6.1 Origen de las heladas

En las zonas montañosas de América del Sur se reconocen dos tipos de heladas: las de origen estático y las de origen dinámico. Las primeras constituyen aproximadamente el 80% de todas las heladas observadas. Dichas heladas tienen su origen en el enfriamiento nocturno de la superficie de radiación de la tierra, favorecido por el cielo despejado y el aire en calma, que dan como resultado elevados valores de radiación efectiva. En estas condiciones, la superficie de la tierra se enfría y absorbe calorías del aire circundante, lo que motiva la aparición de un estrato de aire de poco espesor con una temperatura por debajo de 0°C sobre el terreno, y a dicho estrato se le superpone una capa de aire cálido. Estas heladas reciben el nombre de "heladas blancas".

Las heladas de origen dinámico se denominan así debido a que su causa reside en el descenso de temperatura que resulta de la invasión de masas de aire frío que dependen del movimiento de los frentes polares sobre la región que se estudia. Esta invasión de las masas de aire polar resulta posible durante el invierno austral debido a la recesión hacia el norte de la zona de convergencia intertropical y a la penetración de los frentes de aire polar en el interior del cinturón tropical.

Contrariamente a las heladas blancas, las heladas dinámicas causan fuertes descensos de temperatura muy por debajo de 0° C, lo cual constituye un obstáculo definitivo para la agricultura.

Los daños experimentados por los cultivos son de carácter mecánico y se deben a la destrucción de los tejidos internos de las plantas causada por la dilatación de cada una de las células al congelarse el agua que contiene.

Como se verá más adelante, el riesgo de heladas a grandes altitudes persiste durante gran parte del año, siendo las más peligrosas, desde luego, las que se producen al iniciarse la época de crecimiento en la que las plantas todavía son pequeñas y susceptibles de permanecer completamente dentro de la delgada capa de aire frío que llega hasta pocos decímetros por encima del suelo.

6.2 Ocurrencia de las heladas

Hemos expuesto en la tabla 33 el valor medio mensual de la temperatura mínima y el número de días de helada, correspondientes a una selección

HELADAS EN BOLIVIA

ESTACION	LAT.	ELEV. M.	AÑOS	E		F		M		A		M	
				T < 0	$\bar{T}$ MIN.	T < 0	$\bar{T}$ MIN.	T < 0	$\bar{T}$ MIN.	T < 0	$\bar{T}$ MIN.	T < 0	$\bar{T}$ MIN.
CAMIRI	2006	800	6							0	14.8	0.2	12.7
TARIJA	2132	1900	5					0	12.6	0	10.0	0.8	8.6
MIZQUE	1755	2035	9					0	13.0	0	11.1	0.6	7.9
COCHABAMBA	1723	2553	9					0	10.8	0	8.6	2.0	4.8
CAPINOTA	1742	2570	7					0	13.0	0	11.4	0.2	7.7
POCONA	1739	2658	9					0	6.5	0.7	5.2	2.0	3.5
SACABA	1722	2704	9					0	10.4	0	9.3	0	6.4
ARANI	1734	2761	8					0	10.5	0	9.0	0.1	6.4
SUCRE	1903	2850	8					0	10.1	0	8.7	0.4	5.3
OPLOCA	2119	3120	9					0	11.1	0	9.2	0	5.7
PUNA	1945	3420	6	0	7.9	0	8.0	0	6.5	1.4	4.2	10.0	1.8
MOJO	2148	3460	4			0	9.1	0	8.2	1.0	5.2	15.5	0.6
VILLAZON	2205	3460	7	0	6.6	0	5.7	0.7	4.5	8.0	2.0	30.0	-4.2
ORURO	1758	3708	8	1.4	3.7	2.0	3.8	6.0	2.6	15.9	-0.9	27.1	-5.7
TACAGUA	1853	3720	6	0	6.5	0	6.8	0	6.2	5.7	3.0	17.8	-0.1
PATACAMAYA	1712	3789	9	0.1	6.0	0.1	6.0	0.4	4.6	7.3	2.2	20.9	-0.9
EL BELEN	1603	3820	6	1.5	3.3	0.7	3.8	2.0	2.9	17.2	-0.7	28.0	-3.2
SICASICA	1722	3820	7	0	7.7	1.2	5.7	0	6.2	0	5.0	5.4	3.1
CHUQUINA	1751	3823	8	0	4.8	0	4.5	0.5	4.1	7.5	1.6	21.9	-1.7
VIACHA	1639	3850	4	2.2	2.8	0.2	3.9	5.0	2.3	17.0	-0.7	27.5	-3.9
POTOSI	1935	4002	4	0	4.3	0.5	4.3	0.3	4.2	2.8	2.7	20.7	-0.2
CHARANA	1735	4057	6	14.0	-0.2	14.0	-0.4	24.6	-2.9	28.6	-4.9	31.0	-9.2
LA PAZ (EL ALTO)	1630	4105	7	1.5	2.6	0	2.8	1.4	2.3	5.6	1.3	18.4	-0.4
CHACALTAYA	1619	5280	6	29.3	-3.7	26.3	-3.5	27.7	-3.9	27.3	-3.9	29.3	-5.5

Tabla 33 Valores medios mensuales de la temperatura mínima y número medio de días de heladas para una selección de estaciones bolivianas.

de estaciones bolivianas que tienen registros de por lo menos 4 años y están situadas entre 800 y 5200 m de altitud. Aunque puede verse que por término medio todas las estaciones, incluso las más bajas, experimentan heladas en cierta época del año, es importante estimar las probabilidades de los períodos libres de heladas los cuales darán una indicación de la longitud de la posible estación de crecimiento de las plantas, por lo menos en lo que respecta a las limitaciones impuestas por la temperatura. Otro límite es el impuesto en muchos casos por la disponibilidad de agua. En esta tabla puede verse que la longitud de la estación libre de heladas expresada en meses varía desde 8 a 9 meses, por debajo de 2500 m y decrece rápidamente con la altura.

La misma tabla indica también muy claramente y para las mismas estaciones el número de meses con menos de 1, 5 y 10 días de heladas.

Estos períodos de heladas es muy probable que se hallen al principio y al final de la estación de crecimiento. Estas indicaciones son, desde

HELADAS EN BOLIVIA														NO. DE MESES SIN HELADOS	NO. MEDIO DE MESES CON MENOS DE		
J		J		A		S		O		N		D			1 DIA	5 DIAS	10 DIAS
T < 0	T̄ MIN.	T < 0	T̄ MIN.	T < 0	T̄ MIN.	T < 0	T̄ MIN.	T < 0	T̄ MIN.	T < 0	T̄ MIN.	T < 0	T̄ MIN.				
1.5	9.6	1.3	9.0	1.8	10.1	0.2	13.3	0	17.1					7	9	12	12
6.0	3.5	5.8	2.6	4.0	4.3	0.4	7.6	0	11.9					7	9	10	12
2.7	4.8	3.2	4.9	4.4	5.9	2.1	9.8	0	10.4					7	8	12	12
10.0	1.3	8.3	1.9	1.9	4.4	0	8.1	0	10.0					8	8	10	12
2.7	3.9	3.4	4.2	0.8	6.0	0	9.9	0	11.9					8	10	12	12
8.8	1.8	7.0	1.5	1.8	3.1	0.2	5.0	0	6.6					6	8	10	12
2.0	3.4	1.4	3.1	0.2	5.3	0	8.6	0	10.3					9	10	12	12
0.9	3.8	1.1	4.4	0.1	6.4	0	8.8	0	11.1					8	10	12	12
1.5	3.7	2.0	3.3	0.5	5.1	0.1	7.9	0	9.7					7	10	12	12
3.4	3.3	4.1	3.0	0.9	4.9	0.1	8.0	0	10.2					8	10	12	12
26.0	- 2.5	25.0	- 2.5	19.0	-0.2	2.2	3.4	0.9	5.5	0	6.4	0	7.7	5	6	8	9
25.0	- 2.1	29.0	- 2.9	17.2	0.4	4.5	3.4	0	7.0	0	7.8			6	6	8	8
30.0	- 8.0	31.0	- 8.2	30.0	-5.3	15.3	-0.8	4.2	3.2	1.5	4.9	0	5.6	3	4	6	7
28.3	-10.3	28.8	-10.2	28.9	- 8.0	22.6	-2.1	15.0	0	7.9	1.7	1.6	3.9	0	0	3	5
28.5	- 2.8	29.0	- 2.8	25.8	-1.4	7.1	1.6	2.2	3.5	0 3	4.7	0	6.4	4	5	6	8
29.0	-4.7	29.7	-4.4	25.7	-2.4	7.0	1.5	3.1	3.1	1.2	4.6	0.6	5.8	0	4	6	8
30.0	-6.8	30.0	- 5.6	30.0	-3.1	16.5	-1.7	9.2	1.0	10.0	1.2	1.2	3.4	0	1	4	6
16.9	0.2	21.2	-1.2	13.9	0.1	3.0	3.9	0.3	5.9	0	6.9	0	7.1	3	4	8	9
29.0	- 6.6	29.6	-4.6	14.6	0.3	3.0	3.2	2.6	2.9	2.4	3.3	0.8	3.9	2	4	7	8
30.0	-8.1	31.0	-8.3	31.0	-6.1	21.0	-1.4	12.0	0.5	9.0	2.7	4.8	2.5	0	1	3	5
27.0	- 2.4	28.0	- 2.8	23.0	-1.8	11.8	1.3	3.5	2.4	2.1	3.5	0	4.2	2	4	7	7
30.0	-12.1	31.0	-12.6	31 0	-12.2	29 0	-7.9	30.0	- 6.2	25 0	- 3 3	18.8	- 4 2	0	0	0	0
29.0	- 2.2	31.0	- 2.3	26.6	-1.4	10.0	0.3	4.2	1 8	1.3	2.5	0 3	2.6	1	2	6	7
30.0	- 6.6	31.0	- 6.4	31.0	- 5.9	29.0	- 5.4	30.4	- 4.3	29.0	- 3.6	29.0	- 3.5	0	0	0	0

Tabla 33 *Valores medios mensuales de la temperatura mínima y número medio de días de heladas para una selección de estaciones bolivianas.*

luego, de carácter general y debe siempre tenerse en cuenta el tipo de cultivo de que se trate y el clima particular de la estación de observación. Es cierto, por ejemplo, que un cultivo de tubérculos puede resistir mejor la helada antes de la emergencia de la planta o durante la fase de maduración. En esta región es evidente también que tendrá que desarrollarse la adaptación de las variedades de plantas a las condiciones ambientales adversas.

En la tabla 34 hemos tratado, utilizando los mismos valores que antes, de integrar las cifras y expresar las características de la frecuencia promedio de heladas en días por mes, para las distintas zonas de altitud. Se deduce que a 3000 m de altitud la duración de la estación libre de heladas es sólo de unos 5 meses.

ELEVACION m	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	ENE.	FEB.	MAR.	APR.	MAY.	JUN.
1500 - 2000	3.1	2.9	0.3								0.5	3.8
2000 - 2500	5.0	2.4	0.7								0.8	5.1
2500 - 3000	3.0	0.6	0.3	0.1						0.2	0.6	3.3
3000 - 3500	22.3	17.0	5.5	1.3	0.4				0.2	2.5	14.0	21.1
3500 - 4000	28.5	24.3	11.5	6.3	4.4	1.3	0.7	0.6	2.0	10.2	21.2	27.4
4000 - 4500	31.0	29.0	23.0	21.5	18.4	16.0	15.0	13.4	17.9	20.5	26.2	28.7

Tabla 34 Frecuencias promedias de las heladas para estaciones bolivianas en relación con la altitud.

En estas condiciones la importancia del factor de orientación o exposición del terreno resulta primordial ya que ejerce gran influencia en el microclima del cultivo y amplía significativamente las posibilidades de determinada plantación.

Todas estas consideraciones demuestran la importancia que tiene el efectuar un cuidadoso estudio de la ubicación de las estaciones de observación cuyos datos se han de aplicar al desarrollo agrícola, cuando estas estaciones se instalan por encima de 3000 m de altitud, y la necesidad de tener muy en cuenta el concepto de exposición y protección contra las corrientes de aire frío descendente y contra el exceso de enfriamiento por radiación.

También interesa establecer la relación que existe entre los valores medios mensuales de la temperatura mínima y el número de días de helada durante el mismo mes. Estos datos se exponen en el gráfico 35 para las dos estaciones de Patacamaya y El Belén. Como se esperaba, puede verse que a un valor medio de la temperatura mínima de -5° C corresponde un máximo de días de helada. Se ha trazado la misma línea para la mayoría de las estaciones representadas en la tabla 33 y no muestra diferencias de distribución de acuerdo con la altitud.

No obstante, debemos mencionar que los estudios hechos en las estaciones de La Paz, El Alto y Potosí han demostrado que dichas estaciones pueden tener valores medios mensuales de la temperatura mínima de hasta 4.4° C sin que se manifieste el fenómeno de las heladas. Esto pudiera ser debido a la despejada ubicación de las estaciones que originaria una mezcla más perfecta de las capas inferiores de aire, o a otra influencia microclimética.

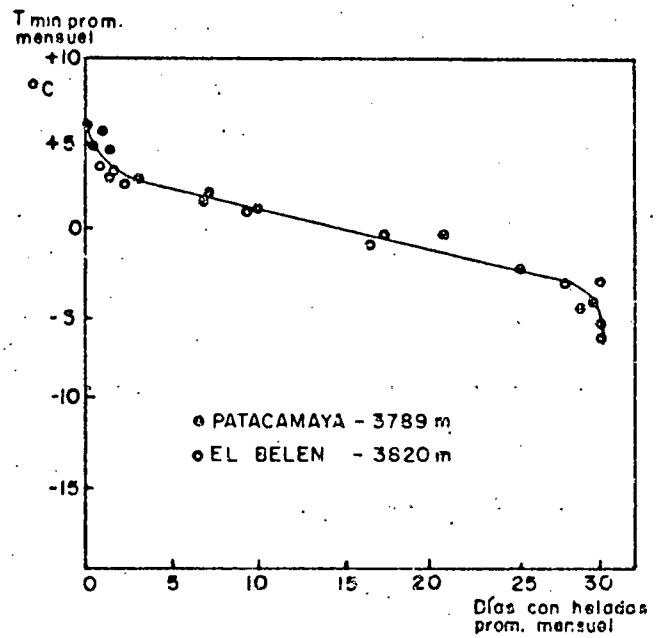


Figura 35 Relación entre la temperatura mínima media y el número medio de dias de helada.

Debe recordarse que siempre hay cierta gradiente en la temperatura entre la altura del abrigo y el nivel de las plantas. Esta diferencia puede ascender hasta 3-4° C y significa que hay helada al nivel de las plantas con una temperatura mínima media de +5-+8° C en el abrigo.

PROMEDIO MENSUAL Y ANUAL DE LA TEMPERATURA DEL AIRE													
ESTACIONES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	ANO
MUCUCHIES	10.8	11.4	11.7	12.3	12.3	12.2	11.4	11.4	11.9	11.8	11.6	11.3	11.7
MERIDA	17.8	18.4	19.1	19.2	18.5	19.2	19.0	19.3	19.6	19.0	18.5	18.1	18.9
BAILADORES	18.8	17.9	18.8	18.5	18.3	18.5	18.8	19.2	18.6	18.4	17.5	16.9	18.1
BRAMON	18.7	18.7	19.7	20.1	20.4	19.4	19.3	19.8	20.3	20.3	20.0	19.4	19.7
BLONAY CHINACOTA	18.8	19.2	19.7	20.0	20.3	19.9	19.6	19.9	20.1	20.0	19.5	18.8	19.6
SALAZAR	20.8	21.0	21.4	21.5	22.3	22.1	22.0	22.1	22.3	21.8	21.3	20.8	21.6
SAN VINCENTE	22.5	22.5	22.5	22.0	21.8	21.6	21.9	21.7	21.5	21.0	20.9	21.3	21.8
MEDELLIN	21.3	21.7	21.7	21.7	21.7	21.7	21.5	21.6	21.5	21.1	21.2	21.1	21.5
TUNGUAVITA	13.9	14.5	14.5	14.7	14.3	13.5	13.3	13.4	13.5	13.8	14.0	13.3	13.9
SONSON	14.7	14.8	15.2	14.8	15.0	15.3	15.1	15.1	14.8	14.3	14.3	14.1	14.8
LIBANO	18.4	18.8	19.0	18.8	19.0	18.7	18.7	18.8	18.8	18.4	18.4	18.6	18.7
CHINCHINA	20.6	20.8	21.1	20.6	20.6	20.5	20.6	20.7	20.4	20.0	19.9	20.3	20.5
ANOLAIMA	18.9	19.2	19.4	18.8	18.9	18.6	18.8	19.0	19.2	18.6	18.2	18.5	18.8
BOGOTA	12.8	13.2	13.7	13.7	13.7	13.2	12.9	12.9	12.8	12.9	13.1	13.1	13.1
CHAPETON-IBAGUE	19.6	20.1	20.2	20.0	20.2	20.0	20.0	20.4	20.6	19.9	19.5	19.5	20.0
USME	9.6	9.7	10.7	10.5	10.6	9.9	9.7	9.6	9.6	9.6	10.0	10.1	10.0
TIBACUY	19.1	19.2	19.4	19.0	19.1	18.7	18.7	19.1	19.5	19.0	18.6	18.8	19.0
SEVILLA	19.4	19.4	19.7	19.2	19.5	19.4	19.7	19.8	19.6	19.0	18.8	19.1	19.4
PALMIRA	24.1	24.2	24.3	24.0	23.7	23.4	23.7	23.6	24.1	23.6	23.6	23.7	23.8
MIRANDA	22.6	23.5	23.2	22.6	22.6	22.5	23.2	23.9	23.2	22.6	22.3	23.0	22.9
LAURELES	15.0	14.8	14.8	15.0	15.2	14.5	14.4	14.6	14.6	15.0	14.7	14.9	14.8
FLORIDA - POPAYAN	17.2	17.3	17.4	17.2	17.4	17.2	17.4	17.8	17.8	17.1	16.7	17.1	17.3
PASTO OBONUCO	13.1	13.2	13.4	13.5	13.7	13.3	13.0	12.9	13.2	13.3	12.9	13.1	13.2
TULCAN	10.5	10.7	10.6	11.0	10.8	10.0	9.6	9.3	9.8	10.5	10.8	10.6	10.3
IBARRA	15.6	15.6	15.8	15.8	15.9	15.4	15.1	15.4	15.5	15.5	15.3	15.6	15.5
QUITO	13.6	13.5	13.7	13.6	13.8	13.3	13.7	13.8	13.7	13.1	12.8	13.4	13.5
IZOBAMBA	11.2	11.1	11.0	10.9	11.2	10.5	10.6	10.7	10.8	10.7	10.6	11.0	10.9
LATACUNGA	13.7	13.6	13.5	13.5	13.5	12.5	12.2	12.1	12.8	13.4	13.6	13.8	13.2
AMBATO	13.0	13.1	12.9	13.3	13.0	12.0°	11.5	11.6	12.3	12.9	13.3	13.2	12.7
PUYO	20.3	20.9	20.5	20.5	20.4	20.0	19.5	19.9	20.1	20.5	20.9	20.7	20.3
RIOBAMBA	13.7	13.9	13.8	13.7	13.7	12.5	12.4	12.7	13.1	13.9	13.9	14.0	13.4
CAÑAR	11.2	11.1	11.2	11.1	11.2	10.3	10.2	10.4	10.8	10.9	10.7	10.9	10.8
CUENCA	14.4	14.2	14.1	13.7	13.7	12.6	12.6	13.0	13.4	13.8	13.7	14.4	13.8
S. ISABEL	18.8	19.0	19.1	19.3	19.9	19.8	20.5	20.5	20.3	19.8	19.4	19.1	19.8
LA ARGELIA LOJA	15.5	15.8	15.6	15.7	15.5	14.9	14.5	14.8	15.3	15.6	15.7	15.8	15.4

Tabla 36a *Temperaturas medias mensuales para las 69 estaciones de referencia.*

PROMEDIO MENSUAL Y ANUAL DE LA TEMPERATURA DEL AIRE

ESTACIONES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	AÑO
HUANCABAMBA	18.8	18.7	18.5	18.9	18.8	18.4	18.6	18.4	19.0	18.8	18.9	18.6	18.7
CHACHAPOYAS	15.2	15.4	14.8	15.3	15.1	14.8	14.4	14.8	15.1	15.4	16.0	15.9	15.1
CAJAMARCA	15.5	15.6	15.1	15.2	15.2	14.7	14.8	15.2	15.5	15.5	15.3	15.6	15.2
HUARAZ	13.9	13.8	13.9	14.1	13.8	13.2	12.6	13.4	14.5	14.2	13.8	14.1	13.8
HUANUCO	19.0	18.6	18.6	19.1	18.5	17.6	17.4	18.1	18.8	19.4	19.9	19.4	18.7
LAMPAS BAJO M.3	6.8	6.9	7.1	6.8	5.9	4.5	4.1	4.6	5.5	6.2	6.0	6.2	5.8
CERRO DE PASCO	4.8	4.4	4.6	4.2	4.1	3.7	3.4	3.8	3.7	4.3	4.4	4.6	4.2
SAN RAMON	22.9	22.6	22.5	22.4	21.9	21.2	21.1	22.1	22.8	23.2	23.3	23.1	22.4
LA OROYA	9.2	9.7	9.7	9.4	8.8	7.5	6.5	7.3	8.3	9.3	9.2	9.5	8.7
HUANCAYO	11.7	11.4	11.2	11.0	10.2	9.0	9.4	10.3	11.8	12.2	12.2	11.7	10.9
QUILLABAMBA	24.0	24.0	24.0	25.0	24.0	23.4	23.7	25.2	23.5	25.4	24.6	23.5	24.2
HUAMANGA	15.6	15.5	14.9	15.7	14.6	13.1	13.3	15.6	15.4	16.1	16.2	16.0	15.1
CUZCO-KAYRA	13.5	13.3	13.2	13.4	12.9	12.2	11.7	12.7	13.3	14.4	14.6	13.7	13.2
ABANCAY	16.5	16.4	16.4	17.0	16.5	15.8	15.9	16.0	16.4	18.8	18.1	16.8	16.7
CHUQUIBAMBILLA	8.4	8.4	8.2	7.5	5.9	4.0	3.6	4.6	7.2	8.2	8.7	8.8	7.0
CAYLLOMA	4.6	5.3	4.8	4.4	3.0	0.9	0.4	1.4	3.4	4.8	5.0	5.8	3.6
CUENCA RIO VERDE	6.2	6.5	5.9	4.9	3.3	1.3	0.5	1.3	3.4	4.5	5.4	5.9	4.1
PUNO (GR. SALC.)	9.5	9.2	9.1	8.1	7.2	5.9	5.5	6.3	7.6	9.2	9.5	9.3	8.0
AREQUIPA	14.2	14.3	14.5	13.3	12.5	10.9	11.4	12.0	12.9	13.3	13.3	13.7	13.0
DESAGUADERO	10.3	10.5	10.2	8.8	6.6	4.2	3.6	4.9	7.4	8.7	9.6	10.0	7.9
PAUCARANI	4.4	4.4	3.9	3.0	1.4	-1.7	-1.5	-0.9	0.9	1.5	2.3	3.5	1.7
EL BELEN	9.0	8.9	8.4	7.1	5.6	3.4	3.5	5.0	6.9	8.1	8.6	8.5	7.0
CHULUMANI	21.4	21.3	21.2	20.8	20.0	18.0	18.0	19.3	20.2	21.3	21.8	21.6	20.4
LA PAZ (C)	11.9	12.1	12.0	11.6	10.7	9.7	9.3	10.0	10.8	12.0	12.4	12.3	11.3
PATACAMAYA	14.7	14.6	13.6	11.2	7.9	5.0	5.4	7.6	10.7	13.5	15.2	14.6	11.2
COCHABAMBA	19.1	18.6	18.8	18.3	17.0	14.5	14.5	16.4	18.7	20.7	21.0	19.9	18.1
TOTORA	16.8	16.9	16.1	15.7	15.3	12.5	13.1	15.0	16.8	18.0	17.9	17.3	16.0
ORURO	13.1	12.7	12.6	11.7	8.4	5.0	5.8	8.0	10.6	12.8	13.9	13.6	10.8
TACAGUA	13.1	13.2	13.5	11.2	8.6	5.9	6.0	7.6	9.9	11.7	12.9	12.8	10.5
SUCRE	16.5	16.3	16.3	15.6	14.4	12.9	12.5	13.9	15.6	16.7	17.2	16.9	15.4
PADILLA	21.0	20.8	19.9	18.8	18.3	14.4	14.8	17.0	18.9	19.9	20.5	20.9	18.6
PUNA	13.5	13.9	13.1	12.5	10.8	9.0	8.4	9.8	12.3	13.7	14.3	13.9	12.1
OPLOCA	19.8	19.2	18.4	16.7	13.1	11.0	10.7	12.7	15.9	19.0	20.0	19.9	16.4
VILLAZON	16.0	15.6	14.4	11.6	6.7	3.2	2.8	5.9	10.2	13.2	15.4	14.7	10.8

Tabla 36b *Temperaturas medias mensuales para las 69 estaciones de referencia*

TEMPERATURA MAXIMA MEDIA MENSUAL Y ANUAL													
ESTACIONES.	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	AÑO
MUGUCHIES	18.5	18.8	17.8	17.5	17.3	16.4	16.1	16.6	17.1	17.1	17.3	18.4	17.4
MERIDA	23.7	24.3	25.0	24.6	24.7	24.4	24.4	25.2	25.4	24.4	23.7	23.6	24.5
BAILADORES	22.9	23.8	24.5	24.0	24.4	23.7	22.3	25.1	24.4	23.8	22.7	22.4	23.7
BRAMON	24.7	25.4	25.9	25.7	25.7	24.7	24.6	25.2	25.7	25.6	25.7	25.2	25.2
BLONAY CHINACOTA	25.4	25.2	25.8	26.1	27.2	27.0	26.7	27.5	27.9	27.2	26.4	25.4	26.5
SALAZAR	26.6	26.5	26.2	26.3	28.3	28.1	27.9	29.2	29.1	27.8	26.9	26.3	27.4
SAN VINCENTE	26.0	26.1	26.1	25.1	25.3	25.6	25.3	25.7	25.4	24.7	24.5	25.5	25.4
MEDELLIN	28.0	28.1	28.4	27.4	27.2	27.7	28.0	28.0	27.9	27.2	26.8	27.3	27.7
TUNGUAVITA	21.7	22.5	22.8	21.7	20.6	20.3	20.1	20.3	20.6	20.4	21.1	21.5	21.1
SONSON	17.7	17.9	18.3	17.7	17.6	18.3	18.5	18.3	18.3	17.9	17.1	17.3	17.8
LIBANO	23.6	24.1	23.7	23.0	23.2	23.5	24.5	24.4	24.1	22.4	22.4	23.1	23.5
CHINCHINA	28.7	28.9	28.9	27.7	27.4	26.6	27.9	27.7	27.5	26.6	26.9	27.5	27.7
ANOLAIMA	23.3	23.5	23.5	22.5	22.5	22.5	23.0	22.8	23.3	22.8	22.4	23.6	23.0
BOGOTA	20.6	20.4	20.9	19.7	19.6	19.1	18.6	19.1	19.7	19.4	19.8	20.3	19.8
CHAPETON - IBAQUE	25.6	26.3	25.8	25.4	25.9	25.7	26.2	27.0	27.2	25.2	24.9	25.5	25.9
USME	14.8	15.3	15.5	14.1	14.0	13.2	12.8	12.8	13.4	14.1	14.4	14.9	14.1
TIBACUY	24.0	24.8	24.4	23.5	23.5	23.5	24.0	24.6	25.1	23.5	22.8	23.7	24.0
SEVILLA	24.2	24.5	24.4	23.9	23.5	23.4	24.5	24.5	24.2	23.0	23.0	25.1	24.0
PALMIRA	30.0	30.7	30.5	29.8	29.1	29.4	30.5	30.7	30.5	29.4	29.1	28.8	29.9
MIRANDA	28.4	29.1	29.4	28.1	27.6	28.0	28.8	29.0	28.2	27.7	27.8	28.5	28.4
LAURELES	19.0	19.1	18.9	19.0	19.2	18.8	18.4	18.9	19.3	19.4	18.9	19.2	19.0
FLORIDA - POPAYAN	24.7	25.3	25.0	24.7	24.9	25.2	25.8	26.4	26.0	24.9	24.2	24.7	25.2
PASTO OBONUCO	17.3	17.4	17.6	17.8	18.1	17.5	17.2	17.5	17.7	17.8	17.0	17.2	17.5
TULCAN	17.1	17.2	17.1	17.2	17.1	16.4	16.0	16.2	17.0	17.8	17.8	17.6	17.0
IBARRA	21.7	21.7	21.8	21.9	22.0	22.2	22.8	23.1	23.4	22.4	21.8	21.8	22.2
QUITO	20.9	20.6	20.4	20.5	20.6	21.0	21.3	22.1	22.2	21.4	21.1	21.3	21.1
IZOBAMBA	18.1	17.5	17.3	17.2	18.0	17.6	18.3	18.3	18.7	18.1	17.7	18.1	18.0
LATACUNGA	20.5	19.9	19.1	19.1	18.8	18.0	18.1	18.4	19.1	19.9	20.4	20.3	19.3
AMBATO	21.9	21.8	21.6	21.3	20.8	19.7	19.1	19.4	20.6	22.2	22.9	22.4	21.1
PUYO	25.6	26.4	25.8	26.2	25.9	25.5	25.0	26.2	26.6	26.8	27.1	26.6	26.1
RIOBAMBA	20.0	20.0	19.6	19.4	19.0	18.1	18.5	19.1	19.1	20.2	20.7	20.7	19.5
CAÑAR	16.2	15.9	16.0	15.9	16.0	15.3	14.7	15.2	15.9	16.6	16.5	16.8	15.9
CUENCA	21.2	21.1	21.0	20.8	20.0	19.1	18.8	19.1	20.1	21.2	22.1	21.7	20.5
SANTA ISABEL	24.7	24.0	23.8	25.6	26.5	25.8	28.0	27.1	27.5	28.0	27.0	26.2	26.2
LA ARGELIA LOJA	21.4	21.5	21.6	21.7	21.6	20.4	19.5	18.8	21.0	22.6	23.3	22.5	21.4

Tabla 37a *Temperaturas máximas medias para las 69 estaciones de referencia.*

TEMPERATURA MAXIMA MEDIA MENSUAL Y ANUAL

ESTACIONES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	AÑO
HUANCABAMBA	25.7	25.2	25.2	25.2	25.7	27.0	24.7	25.2	25.3	26.0	26.2	26.0	25.6
CHACHAPOYAS	19.7	19.8	19.3	19.9	20.1	19.7	19.6	20.0	20.1	20.3	21.1	20.9	20.0
CAJAMARCA	21.3	21.3	20.9	21.3	21.7	21.8	21.6	21.9	22.0	21.6	21.7	22.0	21.6
HUARAZ	20.6	19.8	20.5	21.3	20.5	22.6	22.8	23.6	23.8	22.3	21.5	21.6	21.7
HUANUCO	26.7	26.4	25.6	26.4	26.6	25.8	25.7	26.6	26.9	27.1	27.8	27.2	26.6
LAMPAS BAJO NO.3	12.2	11.7	12.0	12.6	13.3	12.9	13.8	13.6	13.2	12.8	12.6	12.4	12.6
CERRO DE PASCO	12.0	10.9	11.4	13.0	12.2	12.8	12.5	13.0	12.1	12.5	12.6	13.0	12.3
SAN RAMON	29.2	28.9	29.0	29.5	29.3	29.0	28.7	30.0	30.7	30.3	30.4	29.8	29.6
LA OROYA	17.1	16.5	17.1	17.7	17.7	17.1	17.2	17.5	17.1	17.8	17.9	18.1	17.4
HUANCAYO	18.4	18.0	17.7	18.7	18.9	18.9	18.7	19.4	19.3	19.9	20.0	18.9	18.9
QUILLABAMBA	29.6	29.4	29.7	31.8	31.5	31.0	31.0	32.4	30.0	32.2	30.8	29.2	30.7
HUAMANGA	23.5	23.0	22.7	23.6	23.9	23.1	22.8	23.8	24.4	25.1	26.0	24.5	23.9
CUZCO - KAYRA	19.0	18.6	18.8	19.5	19.4	19.1	18.5	19.8	19.6	20.7	20.4	19.3	19.4
ABANCAY	24.6	24.4	24.2	25.2	24.5	23.6	23.9	24.6	24.4	27.7	26.6	24.7	24.9
CHUQUIBAMBILLA	17.9	17.4	17.4	17.6	17.4	16.9	16.5	17.8	18.4	19.3	19.4	17.7	17.8
CAYLLOMA	12.7	12.7	11.7	12.5	13.2	12.2	11.8	13.3	13.8	16.3	15.4	13.8	13.3
CUENCA DE RIO VERDE	13.2	12.9	12.5	12.6	12.4	12.4	12.2	13.5	14.0	15.0	15.2	13.5	13.3
PUNO (GR. SALC.)	16.1	15.5	15.1	15.4	14.9	14.4	14.4	15.5	16.2	17.4	17.3	16.6	15.7
AREQUIPA	22.1	21.9	22.9	22.4	23.0	22.4	22.4	22.7	22.8	23.2	23.0	22.5	22.6
DESAGUADERO	15.5	15.1	14.9	15.0	14.2	13.6	12.6	13.8	14.5	15.6	15.9	14.9	14.8
PAUCARANI	12.0	11.3	11.8	11.6	10.0	8.7	8.1	10.0	10.5	12.2	12.7	12.4	11.0
EL BELEN	14.6	14.3	14.1	14.5	14.2	13.6	13.1	14.1	13.9	15.3	15.5	14.2	14.3
CHULUMANI	26.9	26.8	26.9	26.9	25.4	24.5	24.7	26.3	27.0	27.7	28.5	27.5	26.6
LA PAZ	17.8	17.7	17.9	18.0	17.3	16.6	16.4	17.0	17.2	18.8	19.1	18.1	17.7
PATACAMAYA	22.7	21.9	21.1	19.3	16.5	14.6	14.9	16.8	19.1	22.6	24.3	22.6	19.7
COCHABAMBA	24.1	23.7	24.3	25.0	24.3	23.4	23.3	24.7	25.6	26.8	26.5	25.1	24.7
TOTORA	24.0	23.6	23.6	24.0	23.6	23.2	22.6	24.3	25.8	26.8	26.5	24.7	24.4
ORURO	18.8	18.3	18.3	18.0	15.9	14.9	14.5	16.1	17.2	19.3	20.1	19.2	17.5
TACAGUA	19.9	19.6	19.1	18.9	16.8	14.4	14.5	16.4	18.1	20.6	20.9	19.7	18.3
SUCRE	22.3	21.8	22.4	22.2	21.4	21.3	21.2	22.3	23.4	24.0	24.0	22.9	22.4
PADILLA	25.8	25.0	24.6	23.3	21.2	19.6	19.9	22.8	24.9	25.5	25.9	26.1	23.7
PUNA	19.9	19.8	19.5	20.7	20.5	19.9	19.5	20.1	21.3	22.4	22.1	20.3	20.5
OPLOCA	27.0	26.1	25.6	24.3	21.2	19.0	19.1	21.4	24.6	27.6	28.4	28.0	24.4
VILLAZON	25.9	25.1	24.0	21.3	17.5	14.5	14.3	17.1	21.0	23.6	25.5	24.2	21.2

Tabla 37b Temperaturas máximas medias para las 69 estaciones de referencia.

TEMPERATURA MINIMA MEDIA MENSUAL Y ANUAL													
ESTACIONES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	AÑO
MOCUCHIES	3.7	4.3	4.9	6.3	7.0	6.9	6.3	6.1	6.1	6.3	5.4	4.3	5.8
MERIDA	13.2	14.0	15.1	15.4	15.8	15.4	14.1	15.2	15.3	15.3	14.9	14.1	14.8
BAILADORES	10.3	12.0	12.7	13.2	14.2	13.3	11.5	13.3	12.8	13.0	12.3	11.4	12.5
BRAMON	13.4	13.9	14.7	15.2	14.9	14.6	14.2	14.4	14.5	14.6	14.5	14.0	14.4
BLONAY CHINACOTA	13.9	14.2	14.9	15.7	15.6	15.4	14.8	14.9	15.2	15.2	15.0	14.3	14.9
SALAZAR	16.3	16.9	17.4	17.8	18.2	17.7	17.5	17.2	17.2	17.3	17.2	17.0	17.3
SAN VINCENTE	19.5	19.2	19.7	19.2	19.2	19.4	19.3	19.2	18.8	18.4	18.5	19.3	19.1
MEDELLIN	14.5	15.2	15.4	16.0	16.2	15.7	14.9	15.3	15.2	15.5	15.6	15.0	15.4
TUNGAVITA	6.0	7.1	7.0	9.2	8.9	7.5	6.6	6.5	6.7	8.4	7.5	5.7	7.3
SONSON	11.7	11.5	11.8	12.0	12.3	12.4	11.8	12.2	11.5	11.4	11.4	11.2	11.8
LIBANO	14.6	15.0	15.0	15.4	15.7	14.9	14.2	14.5	14.7	14.7	15.1	14.5	14.9
CHINCHINA	16.6	17.0	17.2	17.0	17.1	16.8	16.8	16.9	16.5	16.4	16.6	16.6	16.8
ANOLAIMA	15.4	15.7	16.0	15.3	15.7	15.4	15.6	15.6	15.6	15.6	15.6	15.5	15.6
BOGOTA	6.7	7.4	8.7	9.7	9.5	8.9	8.6	8.3	7.8	8.7	7.5	7.7	8.3
CHAPETON - IBAQUE	15.4	15.8	16.0	16.0	16.3	15.8	15.6	15.7	16.0	15.3	15.7	15.8	15.8
USME	4.5	4.3	5.4	6.2	6.2	5.8	5.7	5.6	5.2	5.4	5.6	5.5	5.5
TIBACUY	15.5	15.6	15.9	16.0	16.1	15.5	15.5	15.6	15.6	15.3	15.4	15.3	15.8
SEVILLA	15.9	15.9	16.1	16.2	16.3	16.0	16.0	15.8	15.8	15.4	15.5	15.9	15.9
PALMIRA	18.0	18.2	18.4	18.4	18.3	18.0	17.5	17.7	17.7	17.9	18.1	18.1	18.0
MIRANDA	18.6	19.0	19.3	19.0	18.8	18.8	18.5	18.5	18.6	18.5	18.5	18.6	18.7
LAURELES	12.3	12.4	12.4	12.7	12.7	12.5	11.8	12.0	12.3	12.2	12.5	12.6	12.4
FLORIDA - POPAYAN	13.2	13.6	13.8	14.1	14.0	13.4	13.4	12.8	13.1	13.6	14.1	13.4	13.5
PASTO OBONUCO	8.0	8.3	8.5	8.6	8.7	8.2	8.1	8.0	8.1	8.3	8.3	8.3	8.3
TULCAN	6.5	6.6	7.1	7.3	7.2	6.4	5.7	5.6	5.5	6.7	6.9	6.9	6.5
IBARRA	11.3	11.5	11.5	11.9	11.5	10.9	10.9	10.0	10.4	11.1	11.4	11.4	11.1
QUITO	7.9	8.2	8.4	8.4	8.1	7.4	6.6	6.7	7.1	8.3	7.6	7.9	7.7
IZOBAMBA	5.8	6.4	6.2	6.2	6.0	5.1	4.8	4.3	4.5	5.3	5.5	5.6	5.5
LATACUNGA	8.2	7.7	8.2	8.6	8.3	7.3	6.8	6.2	6.6	7.1	7.5	7.5	7.5
AMBATO	9.6	9.6	9.7	9.8	9.8	8.8	7.9	7.7	7.9	8.6	8.6	8.1	8.9
PUYO	16.6	16.7	16.7	16.8	16.7	16.4	16.1	15.7	15.9	16.3	16.7	16.5	16.4
RIOBAMBA	9.0	9.2	9.2	9.2	9.2	8.3	7.1	6.6	6.9	8.3	8.2	8.6	8.3
CAÑAR	6.7	6.8	7.0	6.9	7.2	6.3	6.2	6.4	6.6	6.4	5.9	6.4	6.6
CUENCA	9.7	10.4	10.1	10.1	9.5	8.4	7.7	8.0	8.7	9.1	8.1	9.2	9.1
SANTA ISABEL	14.7	14.8	15.0	15.2	15.4	14.9	15.5	15.0	14.9	15.0	14.7	15.0	15.0
LA ARGELIA LOJA	12.4	12.4	12.5	12.8	12.3	11.9	11.6	11.7	12.0	11.6	11.0	12.0	12.0

Tabla 38a *Temperaturas mínimas medias para las 69 estaciones de referencia.*

TEMPERATURE MINIMA MEDIA MENSUAL Y ANUAL

ESTACIONES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	AÑO
HUANCABAMBA	14.1	14.2	13.7	14.0	12.4	13.4	13.4	13.2	13.6	13.8	13.4	13.3	13.5
CHACHAPOYAS	9.2	9.4	9.6	9.2	8.8	7.7	7.4	7.2	8.2	8.7	8.6	8.6	8.8
CAJAMARCA	7.6	6.9	7.0	6.6	4.4	3.5	3.1	3.9	4.9	6.8	6.0	6.2	5.6
HUARAZ	7.5	7.8	7.3	6.9	5.4	3.8	2.5	3.1	5.2	6.0	6.3	6.6	5.7
HUANUCO	12.7	12.5	12.4	12.3	9.8	9.0	8.4	9.7	11.1	12.2	12.9	13.2	11.4
LAMPAS BAJO NO.3	1.4	2.0	2.0	1.2	-1.6	-4.5	-5.2	-4.5	-2.7	-1.1	-0.3	-0.6	-1.2
CERRO DE PASCO	0.7	0.8	0.7	-0.5	-2.0	-4.0	-3.8	-2.9	-1.5	-0.7	-0.7	-0.1	-1.2
SAN RAMON	19.3	19.1	18.7	18.1	17.2	16.0	15.9	16.6	17.8	18.7	18.8	19.1	18.0
LA OROYA	5.0	5.6	5.5	4.3	2.7	0.7	-0.1	0.5	2.9	3.9	3.7	4.3	3.3
HUANCAYO	7.0	7.0	6.6	4.7	2.6	-0.1	0.9	2.4	5.3	6.3	6.2	6.4	4.6
QUILLABAMBA	18.4	18.6	18.3	18.2	16.5	15.8	16.4	18.1	17.2	18.7	18.5	17.9	17.7
HUAMANGA	9.6	9.7	9.4	8.5	5.9	3.8	4.1	5.4	7.6	8.6	9.7	9.3	7.6
CUZCO - KAYRA	6.8	6.8	6.3	5.2	3.2	0.9	0.8	2.0	4.5	5.9	6.3	6.7	4.6
ABANCAY	8.4	8.4	8.6	8.8	8.5	8.0	7.9	7.4	8.5	9.9	9.6	8.9	8.6
CHUQUIBAMBILLA	1.6	2.0	1.3	-1.9	-6.3	-11.7	-12.1	-10.3	-4.4	-2.7	-2.5	1.2	-3.8
CAYLLOMA	-1.0	0.0	-0.2	-1.8	-5.6	-9.2	-9.5	-9.1	-4.9	-5.7	-4.2	-0.7	-4.3
CUENCA DE RIOVERDE	-0.7	0.1	-0.7	-3.0	-5.9	-10.3	-11.3	-10.9	-7.3	-6.0	-4.5	-1.5	-5.2
PUNO (GR. SALC.)	3.7	3.8	3.3	2.0	0.3	-2.0	-2.4	-1.5	0.8	1.8	2.4	3.4	1.3
AREQUIPA	7.5	8.2	7.7	5.8	3.8	1.6	2.6	3.0	4.5	4.4	4.6	6.1	5.0
DESAGUADERO	5.2	5.8	5.1	2.6	-0.5	-5.2	-5.4	-4.1	0.3	1.7	2.8	5.0	1.1
PAUCARANI	-3.2	-2.6	-4.0	-5.8	-7.3	-12.0	-11.0	-11.7	-8.7	-9.3	-8.1	-5.4	-8.2
EL BELEN	3.6	3.8	3.0	0.0	-3.0	-6.5	-5.9	-4.4	-0.5	0.8	1.7	3.3	-0.4
CHULUMANI	15.9	15.8	15.5	14.7	14.6	11.5	11.3	12.3	13.4	14.9	15.1	15.7	14.2
LA PAZ	6.6	6.5	6.3	5.6	3.9	2.4	2.4	3.0	4.4	5.6	6.3	6.3	4.9
PATACAMAYA	5.8	6.0	4.7	2.1	-1.6	-4.8	-4.7	-2.6	1.5	3.0	4.5	5.7	2.5
COCHABAMBA	12.1	11.9	10.8	8.3	4.1	1.4	1.5	3.7	7.3	10.0	11.5	12.0	7.9
TOTORA	10.2	10.2	9.4	8.2	6.0	3.4	3.6	5.3	8.0	9.6	10.1	9.9	7.6
ORURO	3.6	4.0	2.7	-1.1	-6.5	-10.4	-10.6	-8.2	-3.6	-1.1	1.0	3.1	-2.2
TACAGUA	6.3	6.8	7.9	3.5	0.4	-2.6	-2.5	-1.2	1.7	2.8	4.9	5.9	2.7
SUCRE	10.8	10.6	10.3	8.9	6.4	4.3	3.8	5.5	7.8	9.5	10.5	10.8	8.3
PADILLA	17.3	15.7	15.0	14.1	11.3	9.8	9.6	11.1	13.0	14.5	15.1	15.8	13.5
PUNA	7.9	8.0	6.7	4.5	1.2	-2.2	-2.8	-0.4	3.2	5.2	6.6	7.8	3.8
OPLOCA	12.3	12.2	11.4	9.4	5.6	3.3	2.9	4.6	7.7	10.1	11.5	12.1	8.6
VILLAZON	6.2	6.1	4.7	1.9	-4.2	-8.1	-8.7	-5.4	-0.6	2.3	5.3	5.0	0.4

Tabla 38b *Temperaturas mínimas medias para las 69 estaciones de referencia.*

IX. HUMEDAD DEL AIRE

1. Introducción

En los estudios agrometeorológicos se considera a veces que la humedad del aire es un elemento de importancia secundaria y en realidad nunca se lo tuvo en cuenta en las encuestas agroclimatológicas realizadas hasta la fecha. Se ha considerado interesante presentar estos datos junto con algunos breves comentarios, ya que de todos modos ha sido preciso reunir los datos de presión de vapor para calcular la evapotranspiración potencial por el método Penman.

En las tablas 42 se reproducen los valores medios mensuales y anuales de la presión de vapor. También se exponen los valores correspondientes al déficit de saturación en la tabla 43.

2. Variación de la humedad del aire con la altitud

Se ha considerado interesante exponer en papel milimetrado los valores medios anuales de la presión de vapor e_d, los valores medios anuales del déficit de saturación ($e_a - e_d$) (figura 39) y la presión de saturación del vapor tomada de la temperatura media anual (figura 40). Estos valores se han calculado para las 69 estaciones de referencia utilizadas en la encuesta.

De estos gráficos se pueden deducir varias conclusiones:

a) Los valores de la presión de vapor muestran un excelente gradiente de altitud con una dispersión relativamente pequeña. La línea trazada con el mejor ajuste muestra un gradiente de aproximadamente 0.52 mb/100 m de altitud. La pequeña dispersión de este gradiente, que se produce mayormente en la parte más baja del diagrama situada por debajo de 2500 m de altitud, que es la región en que por lo general la lluvia es máxima, sugiere que el contenido de humedad de la atmósfera está sujeto al mismo gradiente que la temperatura. Pudiera ocurrir que el "factor de control" de la presión de vapor sea la temperatura mínima nocturna y más precisamente que la presión de saturación del vapor correspondiente a dicha temperatura sea lo que cause la condensación del vapor de agua tan pronto como la temperatura del aire desciende por debajo de este valor. Desde luego este proceso se realizará mejor en las regiones situadas por debajo de 2500 m en donde, en nuestro caso, por ser la lluvia mayor generalmente, la disponibilidad de agua para la evaporación es también mayor.

b) Si observamos ahora los puntos que representan las presiones de saturación del vapor correspondientes a las temperaturas medias, veremos una línea casi paralela a la anteriormente descrita y que muestra diferencias de 5 a 6 mb con respecto a ella. La dispersión de los puntos alrededor de la línea que representa el gradiente de altitud de la presión de vapor saturado es mayor que la correspondiente a la línea de la

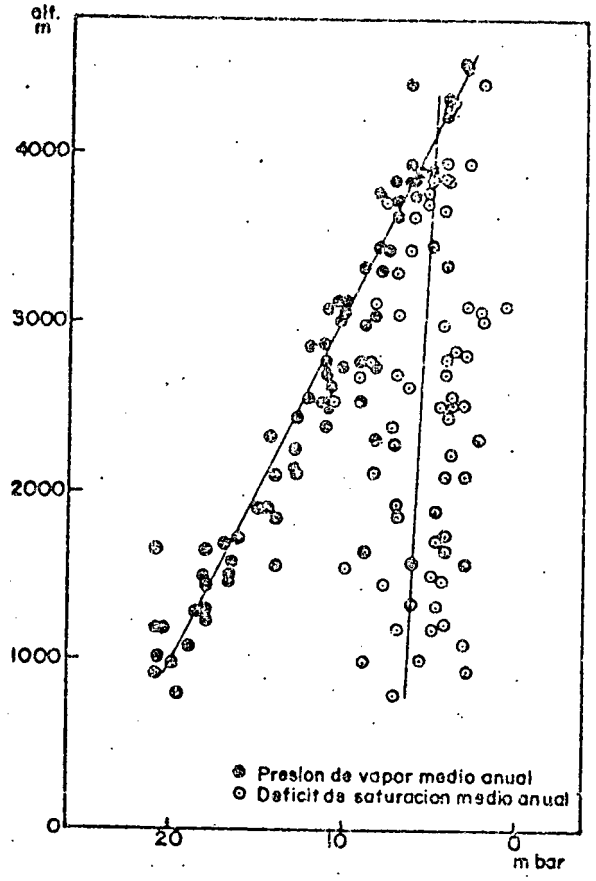


Figura 39 *Relación de la presión de vapor y el déficit de saturación con la altitud.*

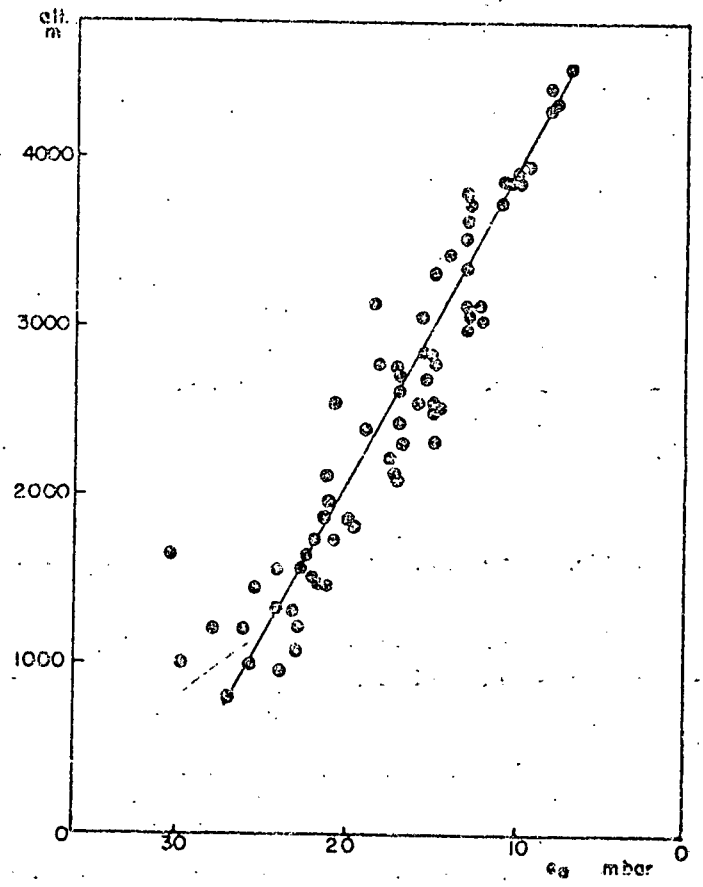


Figura 40 *Relación de la presión de saturación del vapor correspondiente a la temperatura media anual con la altitud.*

presión de vapor, aunque esto puede ser consecuencia del hecho de que esta línea se funda en la temperatura media y esta temperatura, por estar condicionada por las temperaturas mínima y máxima, será probablemente menos precisa que los valores deducidos únicamente de la temperatura mínima.

c) Sería interesante comparar en el gráfico 41 los valores anuales medios de la presión de vapor con la presión de vapor saturado correspondiente a la temperatura mínima anual del aire. La agrupación de estos puntos sobre una línea situada a 45° mostraría que la presión de vapor de las masas de aire con humedad suficiente es un hecho controlado por la temperatura mínima. También interesa observar que los valores del déficit de saturación no muestran, de manera general, grandes cambios con la altitud. Como puede verse, los valores medios del déficit de saturación deben ser de unos 6 mb a 1000 m de altitud, decreciendo ligeramente a 5 mb a los 4000 m (figura 39).

Sin embargo debe observarse que, mientras las diferencias absolutas del déficit de saturación no parecen variar mucho, las diferencias relativas son grandes, ya que a 1000 m la presión de vapor tiene un valor de 20 mb, y a 4000 m el mismo valor es de sólo 5 mb. Así el déficit de saturación es respectivamente de 30% y 100%.

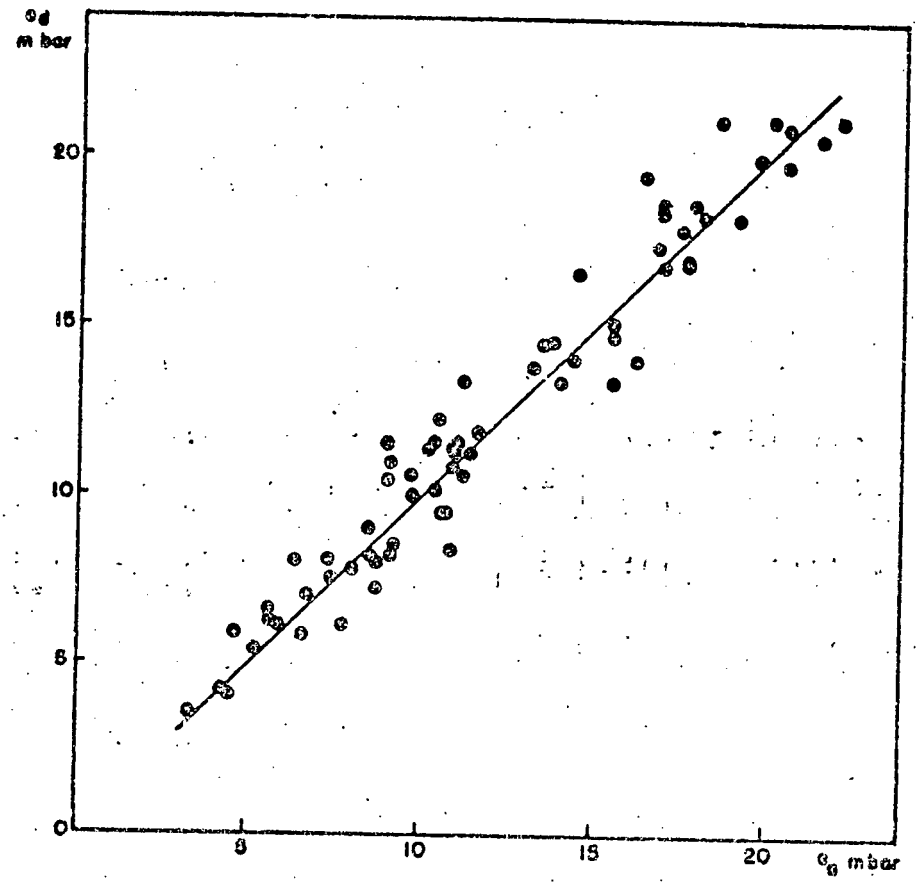


Figura 41 *Relación entre la presión de vapor media anual y la presión de vapor saturado correspondiente a la temperatura mínima media anual.*

PROMEDIO MENSUAL Y ANUAL DE LA PRESION DE VAPOR													
ESTACIONES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	AÑO
MUCUCHIES	8.3	8.1	8.1	10.0	10.3	10.2	9.2	9.4	9.5	9.8	9.1	7.9	9.2
MERIDA	16.1	16.5	17.2	18.2	16.0	16.2	17.3	17.7	18.0	18.2	17.8	17.0	17.4
BAILADORES	16.0	16.6	17.4	17.4	17.9	15.8	13.4	16.0	16.5	17.8	16.9	16.4	16.5
BRANON	18.8	18.4	18.7	19.7	19.7	18.2	19.0	19.4	20.0	20.1	20.8	19.1	19.4
BLONAY-CHINACOTA	17.5	17.8	18.4	19.1	19.4	19.0	18.2	18.6	18.6	19.1	19.0	18.2	18.6
SALAZAR	19.4	19.8	19.9	20.8	21.0	20.3	19.2	19.2	19.7	20.4	21.0	20.1	20.0
SAN VINCENTE	21.9	21.1	20.8	21.3	21.9	21.4	20.9	20.7	20.8	21.0	20.8	21.0	21.1
MEDELLIN	17.3	16.9	17.3	18.9	19.2	18.8	17.8	18.0	17.8	18.6	16.1	18.1	17.9
TUNGUAVITA	10.2	10.8	10.9	12.3	12.4	11.6	11.1	10.8	11.1	12.1	11.9	10.8	11.3
SONSON	14.0	14.0	14.8	15.2	15.1	14.5	14.1	14.0	14.3	15.1	14.8	14.4	14.5
LIBANO	18.0	18.3	18.9	19.1	19.3	18.6	17.7	17.4	18.0	18.6	18.4	18.7	18.4
CHINCHINA	17.5	17.8	18.4	18.8	19.3	18.2	18.0	17.6	17.6	18.3	18.2	18.2	18.2
ANOLAIMA	17.6	17.2	17.7	17.9	17.6	16.6	15.9	15.6	15.6	17.0	17.7	18.0	17.0
BOGOTA	10.8	10.5	11.3	11.9	11.7	11.2	10.5	10.7	10.5	11.7	11.7	11.7	11.2
CHAPETON-IGAQUE	18.5	18.7	19.0	19.5	19.5	18.5	17.8	17.3	17.8	18.6	18.9	18.9	18.6
USME	11.5	11.2	12.0	11.7	11.7	11.5	11.3	11.5	11.1	11.6	11.3	11.6	11.5
TIBACUY	17.2	16.8	17.0	17.6	17.6	16.9	16.3	15.8	15.9	17.0	17.5	17.5	16.9
SEVILLA	18.1	17.9	18.4	18.5	18.8	19.4	18.2	17.8	17.9	18.1	18.2	18.4	18.3
PALMIRA	20.9	20.4	21.3	21.9	21.5	20.5	20.0	20.0	20.5	20.8	21.1	20.9	20.8
MIRANDA	20.2	21.5	21.5	21.5	21.5	21.3	20.5	19.3	19.6	20.0	20.3	20.5	20.6
LAURELES	14.3	14.1	14.0	14.1	14.2	13.7	13.3	13.5	13.4	14.0	14.5	14.7	14.0
FLORIDA - POPAYAN	15.7	15.5	15.6	15.8	15.8	15.0	13.9	13.5	13.9	15.3	15.5	15.9	15.1
PASTO OBONUCO	11.2	11.0	11.4	11.7	11.3	10.7	10.0	9.6	9.8	11.2	11.5	11.7	10.9
TULCAN	10.7	10.9	10.9	11.2	11.0	10.3	9.9	9.7	9.9	10.6	11.0	10.8	10.6
IBARRA	13.9	13.9	14.3	14.7	14.5	13.6	12.6	12.3	13.1	14.5	14.8	14.2	13.8
QUITO	12.4	12.7	12.9	12.9	12.8	11.8	11.0	11.0	11.6	12.4	12.4	12.5	12.2
IZOBAMBA	10.9	11.0	10.9	11.1	10.9	10.0	9.4	9.2	9.7	10.5	10.7	10.8	10.4
LATACUNGA	11.6	11.9	11.7	12.1	12.1	11.2	10.8	10.5	11.0	11.5	11.5	11.8	11.5
AMBATO	11.4	11.6	11.6	11.8	11.7	11.1	10.6	10.4	10.9	11.2	11.3	11.5	11.2
PUYO	21.2	21.6	21.5	21.6	21.4	20.7	20.1	20.7	20.5	21.2	21.8	21.5	21.1
RIOBAMBA	11.5	11.6	11.7	11.9	11.7	11.1	10.6	10.4	11.0	11.6	11.5	11.4	11.3
CAÑAR	10.8	10.7	10.6	10.4	9.4	9.2	9.8	9.3	9.6	10.0	9.8	10.1	10.0
CUENCA	12.4	12.6	12.6	12.6	12.4	11.4	10.9	11.0	11.5	12.1	11.7	12.1	11.9
S. ISABEL	18.9	17.4	18.0	18.0	18.1	16.7	15.6	16.0	15.4	16.2	16.5	16.6	16.8
LA ARGELIA LOJA	13.9	14.4	13.9	14.2	13.8	12.8	11.9	12.2	12.7	13.5	13.3	13.8	13.3

Tabla 12a Valores medios mensuales y anuales de la presión de vapor para las 69 estaciones de referencia.

PROMEDIO MENSUAL Y ANUAL DE LA PRESION DE VAPOR

ESTACIONES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	AÑO
HUANCABAMBA	16.0	16.0	15.8	15.8	14.6	12.8	13.7	13.0	13.2	14.0	15.2	16.0	14.7
CHACHAPOYAS	13.5	13.6	14.2	13.8	13.1	12.9	12.0	12.8	12.9	13.3	13.6	14.0	13.3
CAJAMARCA	12.0	11.7	12.2	11.9	10.9	9.7	9.1	9.3	10.1	11.3	11.0	11.2	10.9
HUARAZ	9.6	9.8	9.7	9.6	8.7	8.0	7.0	7.0	8.1	8.0	8.5	9.2	8.6
HUANUCO	15.4	15.8	15.3	15.5	14.2	13.3	12.6	13.0	13.5	14.8	15.0	15.5	14.5
LAMPAS BAJO N. 3	7.7	8.0	7.9	7.6	6.3	5.3	4.9	5.3	6.0	6.4	6.6	6.7	6.6
CERRO DE PASCO	6.7	6.8	6.8	6.6	5.9	5.7	5.4	5.5	6.0	6.3	6.2	6.2	6.2
SAN RAMON	23.0	24.5	24.5	21.9	18.6	14.9	14.7	15.6	18.0	20.0	20.3	21.3	19.8
LA OROYA	7.1	7.3	7.5	7.2	6.9	5.8	5.6	5.8	6.3	6.7	6.7	6.9	6.1
HUANCAYO	10.8	10.5	10.5	9.8	8.3	6.7	6.7	7.1	9.0	9.3	9.2	10.0	9.0
QUILLABAMBA	25.0	24.0	23.0	17.5	17.0	17.8	17.0	17.8	21.8	23.1	24.3	25.5	21.1
HUAMANGA	11.3	12.2	12.0	10.4	9.7	7.9	7.8	9.8	9.6	10.0	9.5	10.8	10.1
CUZCO - KAYRA	9.6	9.9	9.7	8.8	7.7	6.5	6.3	6.8	7.6	8.2	8.5	9.2	8.2
ABANCAY	13.4	12.7	12.1	11.5	10.3	9.3	9.6	10.3	11.2	11.9	12.1	13.2	11.5
CHUQUIBAMBILLA	7.4	7.6	7.4	6.2	5.0	4.4	4.3	4.3	5.4	5.7	6.0	7.1	5.9
CAYLLOMA	4.9	5.3	5.1	4.6	3.7	2.9	3.0	2.7	3.6	3.4	3.7	5.1	4.0
CUENCA RIO VERDE	5.5	5.7	5.5	4.8	3.8	2.9	3.0	2.7	3.6	3.4	3.9	5.1	4.2
PUNO (GR. SALC.)	9.2	9.0	8.7	7.3	6.1	5.0	4.9	5.3	6.4	6.6	7.3	8.0	7.0
AREQUIPA	10.3	11.1	10.9	9.3	7.8	5.7	5.3	5.8	6.8	6.8	7.3	8.6	8.0
DESAGUADERO	7.3	7.5	7.4	6.3	5.4	4.0	4.0	4.2	5.2	5.2	5.7	6.9	5.8
PAUCARANI	4.8	5.4	4.9	3.6	2.9	2.3	2.1	2.3	3.2	3.0	3.4	3.9	3.5
EL BELEN	7.8	8.0	7.2	6.2	5.3	4.2	4.0	4.5	5.6	5.9	6.7	7.5	6.1
CHULUMANI	18.1	18.2	16.9	15.7	13.6	10.7	10.1	10.5	11.4	12.9	14.4	15.7	14.0
LA PAZ (C.)	9.3	9.6	9.0	7.6	5.9	4.8	4.9	5.5	6.1	6.9	7.8	8.4	7.2
PATACAMAYA	12.4	12.5	10.9	8.1	5.5	4.0	4.0	4.8	6.7	8.4	9.3	10.8	8.1
COCHABAMBA	12.6	12.9	11.9	9.9	7.9	6.1	6.1	7.1	8.2	9.5	10.4	11.9	9.5
TOTORA	12.6	12.9	11.3	10.0	8.2	5.9	6.0	6.8	8.4	9.5	10.7	11.3	9.5
ORURO	7.9	8.1	7.2	5.7	4.0	3.1	2.9	3.3	4.7	4.9	5.9	7.2	5.4
TACAGUA	10.9	11.1	10.5	8.0	5.6	4.1	4.1	4.7	6.1	7.3	7.9	9.3	7.5
SUCRE	11.2	11.6	11.1	9.5	6.8	4.9	4.8	6.0	7.1	7.9	9.3	10.7	8.4
PADILLA	18.2	18.2	16.3	14.5	11.3	9.4	8.8	9.7	11.1	12.5	14.0	15.8	13.3
PUNA	11.1	11.3	9.8	8.4	6.4	4.8	4.6	5.1	6.7	7.8	8.3	9.5	7.8
OPLOCA	16.5	15.8	14.0	11.0	7.4	5.3	5.4	6.2	8.5	10.8	11.9	14.2	10.6
VILLAZON	13.5	13.3	11.3	8.3	4.9	3.4	3.2	4.1	6.2	8.0	9.4	10.5	8.0

Tabla 42b Valores medios mensuales y anuales de la presión de vapor para las 69 estaciones de referencia.

PROMEDIO MENSUAL Y ANUAL DEL DEFICIT DE SATURACION													
ESTACIONES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	AÑO
NUCUCHIES	4.7	5.4	5.6	4.3	4.0	4.0	4.3	4.1	3.4	4.1	3.5	5.5	4.4
MERIDA	4.3	4.7	4.9	4.0	6.7	4.0	4.7	4.7	4.8	3.8	3.4	3.8	4.5
BAILADORES	2.8	3.9	4.1	4.1	4.5	5.5	5.2	6.2	4.9	3.6	3.8	2.9	4.3
BRAHON	2.6	3.2	4.2	3.6	4.2	3.3	3.4	3.7	3.8	3.7	2.6	3.4	3.5
BLONAY-CHINACOTA	4.2	4.4	4.5	4.3	4.4	4.2	4.6	4.6	4.9	4.3	3.7	3.5	4.3
SALAZAR	5.2	5.3	5.6	4.6	5.9	6.3	7.2	7.4	7.2	5.4	4.3	4.6	5.8
SAN VINCENTE	5.4	6.2	6.5	5.1	4.2	4.4	5.4	5.3	4.8	3.9	3.6	4.3	4.9
MEDELLIN	8.0	9.1	8.7	7.0	6.8	7.2	7.8	7.8	7.8	6.2	9.1	6.9	7.7
TUNGUAVITA	5.7	5.9	5.6	4.4	3.9	3.9	4.2	4.6	4.4	3.7	4.1	5.1	4.6
SONSON	2.7	2.8	2.5	1.6	1.9	2.9	3.1	3.2	2.5	1.2	1.5	1.7	2.3
LIBANO	3.2	3.4	3.1	2.6	2.7	3.0	3.9	4.3	3.7	2.6	2.8	2.8	3.2
CHINCHINA	6.8	6.8	6.7	5.5	5.0	6.0	6.3	6.8	6.4	5.1	5.0	5.6	6.0
ANOLAIMA	4.2	5.0	4.8	3.8	4.2	4.8	5.8	6.4	6.6	4.4	3.2	3.2	4.7
BOGOTA	4.0	4.7	4.3	3.8	3.9	4.0	4.3	4.2	4.2	3.1	3.3	3.3	3.9
CHAPETON-IBAQUE	4.3	4.9	4.7	3.9	4.2	4.9	5.6	6.7	6.5	4.6	3.8	3.8	4.8
USME	0.5	0.8	0.9	1.0	1.1	0.7	0.7	0.5	0.9	0.4	0.9	0.8	0.8
TIBACUY	5.0	5.5	5.6	4.4	4.6	4.7	5.3	6.3	6.8	7.0	4.0	4.2	5.3
SEVILLA	4.4	4.6	4.5	3.7	3.9	3.1	4.7	5.3	4.9	3.9	3.5	3.5	4.2
PALMIRA	9.1	9.8	9.1	7.9	7.8	8.3	9.3	9.5	9.5	8.3	8.0	8.4	8.7
MIRANDA	7.2	7.5	6.9	5.9	5.9	6.0	7.9	10.4	8.8	7.4	6.6	7.6	7.3
LAURELES	2.7	2.7	2.8	2.9	3.1	2.8	3.1	3.1	3.2	3.0	2.2	2.2	2.8
FLORIDA-POPAYAN	3.9	4.2	4.3	3.9	4.1	4.7	6.0	6.9	6.5	4.2	3.6	3.6	4.7
PASTO OBONUCO	3.9	4.2	4.0	3.8	4.4	4.8	5.0	5.3	5.4	4.1	3.4	3.4	4.3
TULCAN	2.0	2.0	1.9	1.9	2.0	2.0	2.1	2.0	2.2	2.0	2.0	2.0	2.0
IBARRA	3.8	3.8	3.6	3.2	3.6	3.9	4.6	5.2	4.5	3.1	2.8	3.5	3.8
QUITO	3.2	2.8	2.8	2.7	3.0	3.5	4.7	4.8	4.1	2.7	2.4	2.9	3.3
IZOBAMBA	2.4	2.3	2.2	1.9	2.4	2.7	3.3	3.6	3.2	2.4	2.0	2.4	2.6
LATACUNGA	4.0	3.7	3.8	3.4	3.4	3.3	3.5	3.6	3.8	3.8	4.1	4.0	3.7
AMBATO	3.6	3.5	3.2	3.4	3.3	2.9	3.0	3.2	3.5	3.6	3.9	3.7	3.4
PUYO	2.8	2.7	2.7	2.5	2.6	2.7	2.6	3.0	3.1	3.0	3.0	2.9	2.8
RIOBAMBA	4.2	4.3	3.9	3.8	4.0	3.4	3.8	4.2	4.1	4.3	4.3	4.6	4.1
CAÑAR	2.7	2.4	2.6	2.6	2.9	3.1	3.3	3.3	3.3	3.0	3.0	3.0	2.9
CUENCA	4.0	3.6	3.5	3.1	3.3	3.2	3.6	4.0	3.9	3.8	4.0	4.3	3.7
S. ISABEL	4.8	4.6	4.1	4.4	5.2	6.5	6.5	8.1	8.4	8.9	8.0	5.5	6.1
LA ARGELIA LOJA	3.7	3.6	3.8	3.7	4.0	4.2	4.6	4.7	4.7	4.2	4.5	4.3	4.2

Tabla 43a Valores medios mensuales y anuales del déficit de saturación para las 69 estaciones de referencia.

PROMEDIO MENSUAL Y ANUAL DEL DEFICIT DE SATURACION

ESTACIONES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	AÑO
HUANCABAMBA	5.7	5.6	5.5	6.1	7.1	8.3	7.8	8.1	8.8	7.7	6.1	5.4	6.9
CHACHAPOYAS	4.0	3.8	3.2	3.6	4.3	4.4	4.4	4.5	4.5	4.2	4.9	4.5	4.2
CAJAMARCA	5.7	6.0	5.0	5.4	6.4	7.0	7.7	8.0	7.6	6.4	6.4	6.6	6.5
HUARAZ	6.3	6.0	5.2	8.5	7.1	7.1	7.6	8.4	8.4	8.2	7.3	6.9	7.1
HUANUCO	6.6	5.7	6.2	6.6	7.1	6.9	7.3	7.8	8.2	7.8	8.2	7.0	7.1
LAMPAS BAJO N. 3	2.2	1.9	2.2	2.3	3.0	3.1	3.3	3.1	3.0	3.1	2.8	2.8	2.7
CERRO DE PASCO	1.9	1.6	1.7	1.6	2.3	2.3	2.4	2.5	2.0	2.0	2.2	2.3	2.1
SAN RAMON	4.9	3.0	2.8	5.2	7.4	10.2	10.3	11.0	9.7	8.4	8.3	7.0	7.3
LA OROYA	4.5	4.7	4.6	4.6	4.4	4.6	4.1	4.4	4.6	5.1	4.9	4.8	4.6
HUANCAYO	3.0	3.0	2.8	3.3	4.2	4.8	5.1	5.4	4.6	4.9	5.1	3.7	4.2
QUILLABAMBA	4.8	5.8	6.8	14.2	12.8	11.0	12.3	14.3	7.2	9.3	6.6	3.5	9.0
HUAMANGA	6.4	5.4	5.0	7.0	6.9	7.1	7.5	7.9	7.9	8.3	9.0	7.4	7.1
CUZCO - KAYRA	5.9	5.4	5.5	6.6	7.2	7.7	7.4	7.9	7.7	8.2	8.1	6.5	7.0
ABANCAY	5.4	5.9	6.5	7.9	8.5	8.6	8.5	7.9	7.4	9.8	8.7	5.9	7.6
CHUQUIBAMBILLA	3.6	3.6	3.5	4.2	4.3	3.7	3.6	4.2	4.8	5.2	5.2	4.2	4.2
CAYLLOMA	3.6	3.6	3.5	3.8	2.9	3.6	3.3	4.1	4.2	5.2	5.0	4.1	3.9
CUENCA RIO VERDE	4.0	4.0	3.8	3.9	3.9	3.8	3.3	4.0	4.2	5.0	5.1	4.2	4.1
PUNO (GR. SALC.)	3.4	3.6	3.9	5.1	6.1	7.0	4.2	4.2	4.1	5.1	4.6	3.9	4.6
AREQUIPA	5.9	5.2	5.6	6.0	6.7	7.6	8.2	8.2	8.0	8.4	8.0	7.0	7.1
DESAGUADERO	5.3	5.2	5.1	5.0	4.3	4.3	3.9	4.5	5.1	6.0	6.2	5.4	5.0
PAUCARANI	3.6	2.9	3.2	4.0	3.9	3.0	3.3	3.4	3.3	3.8	3.8	3.9	3.5
EL BELEN	3.7	3.4	3.8	3.9	3.8	3.6	3.9	4.2	4.3	4.9	4.5	3.6	4.0
CHULUMANI	7.4	7.1	8.3	8.8	9.8	9.9	10.5	11.9	12.3	12.4	11.8	10.1	10.0
LA PAZ (C.)	4.6	4.5	5.1	6.2	6.9	7.2	6.8	6.8	6.9	7.2	6.6	5.9	6.2
PATACAMAYA	4.4	4.2	4.7	5.2	5.1	4.7	4.9	5.6	6.2	7.1	7.9	6.1	5.5
COCHABAMBA	9.5	8.5	9.8	11.1	11.4	10.4	10.4	11.6	13.4	14.9	14.4	11.4	11.4
TOTORA	6.5	6.4	7.0	7.9	9.2	8.6	9.0	10.2	10.7	11.1	9.8	8.5	8.7
ORURO	7.2	6.6	7.4	8.0	7.0	6.1	6.3	7.4	8.1	9.9	10.0	8.4	7.7
TACAGUA	4.2	4.1	5.0	5.3	5.0	5.2	5.2	5.7	6.1	6.5	7.0	5.5	5.5
SUCRE	7.6	8.9	7.4	8.2	9.6	10.0	9.7	9.9	10.6	11.1	10.3	8.6	9.3
PADILLA	6.7	6.4	7.0	7.2	7.2	7.1	7.8	9.7	10.7	10.7	10.1	8.9	8.3
PUNA	4.8	4.6	5.3	6.1	6.6	6.7	6.4	7.0	7.6	7.8	8.0	6.4	6.4
OPLOCA	6.7	6.4	7.2	8.0	7.7	7.6	7.5	8.5	9.6	11.2	11.5	9.1	8.4
VILLAZON	4.7	4.4	5.1	5.3	4.9	4.3	4.3	5.2	6.2	7.1	8.1	6.2	5.5

Tabla 43b Valores medios mensuales y anuales del déficit de saturación para las 69 estaciones de referencia.

X. PRECIPITACION

1. Introducción

La lluvia es ciertamente el factor climático mejor conocido y, en la mayoría de los casos, el que más determina la producción agrícola. Esto se aplica tanto a la cantidad de lluvia recibida anualmente como a su distribución en las distintas estaciones del año. A pesar de que los instrumentos que se aplican para medir la cantidad de lluvia precipitada en una superficie son los más sencillos en meteorología, resulta difícil evaluar la cantidad de lluvia que puede ser realmente utilizada y la que cabe esperar en un período determinado. Aunque no es oportuno que tratemos aquí de los instrumentos, debemos tener en cuenta que la captación de un pluviómetro depende en gran medida de su tamaño y de la velocidad del viento. Ambas características pueden motivar que la cantidad de lluvia medida sea inferior a la que realmente ha precipitado.

En toda el área existe un número razonable de estaciones pluviométricas que permite tener una imagen general de la lluvia. Los registros de lluvia de estos son normalmente suficientemente largos para calcular valores medios que no difieren demasiado de los que se obtendrían con registros más extensos.

Por ejemplo, el valor medio anual calculado según una serie ininterrumpida de diez años de precipitaciones puede diferir en el doble del valor medio real que cuando se lo calcula según una serie de treinta años. No obstante, para hacer un estudio más detallado acerca de la distribución y la variabilidad de la lluvia, sería necesario disponer de una red de observación más densa y de más estaciones que tuvieran largas series de datos sin interrupción.

Para este tipo de estudios, se debe considerar que veinte años es un período mínimo para llegar a conclusiones fidedignas; y para períodos menores de un mes, incluso esto puede no ser suficiente.

En primer lugar trataremos los aspectos generales y haremos una descripción general de la lluvia en toda el área. Después estudiaremos las cantidades anuales de lluvia, su distribución, sus variaciones y comparaciones y las cantidades caídas durante períodos más cortos, como por ejemplo las estaciones y meses del año.

2. Otras formas de precipitación

Poco diremos en este capítulo sobre otras formas de precipitación. Con respecto a la agricultura, las dos formas de mayor importancia para ella son la nieve y el granizo. La primera actúa indirectamente, ya que normalmente ocurre fuera de la estación de crecimiento, pero puede tener significativa importancia en contribuir al agua del suelo, ya sea directamente cuando cae en las zonas agrícolas o a través de la corriente de ríos o aguas subterráneas cuando cae fuera de dichas zonas.

La importancia del granizo reside en primer lugar en su efecto dañino sobre los cultivos, debido a la frecuentemente elevada intensidad de tales precipitaciones, más que en la duración o en la cantidad de agua que proveen. Es difícil detectar las frecuencias de las granizadas, ya que la ocurrencia de granizo depende de una variedad de condiciones atmosféricas y de la exposición. En cualquier estación del año, las condiciones en la zona pueden ser tales que se produzca una granizada en vez de una lluvia y la predicción de este fenómeno de manera general y para un área mayor parece ser sumamente difícil. Una investigación de los datos disponibles indica que el granizo puede ocurrir a altitudes muy bajas, pero normalmente un riesgo acentuado de granizadas existe a altitudes de 3000 m aproximadamente, o superiores, en toda la zona.

Sin embargo, puede ser útil realizar investigaciones para una zona determinada y más restringida, tomando en consideración su importancia económica, pero esto escapa a los alcances de la presente encuesta.

3. Distribución espacial

3.1 Introducción

En general, las regiones montañosas reciben menos lluvia que las tierras bajas adyacentes situadas el este y al noroeste. El coeficiente anual de variabilidad calculado en las estaciones de las regiones montañosas con registros suficientemente largos indica cierta uniformidad de variabilidad en las estaciones que tienen una lluvia anual media mayor de aproximadamente 700 mm. Como hay muchas estaciones en la región que tienen una lluvia inferior a dicha cantidad, la variabilidad es bastante considerable. Por otra parte, teniendo en cuenta la geografía y la escala utilizada en las ilustraciones de la encuesta (1:5 000 000) no resultaría práctico trazar mapas de isolíneas de la media anual o mensual de lluvia. Se han elaborado tablas de las cantidades medias mensuales y anuales de lluvia en las 69 estaciones de referencia. Los datos de estas estaciones reflejan las condiciones en un punto determinado, pero no se conoce suficientemente la manera en que estas condiciones cambien entre las estaciones, ya que dependen en primer lugar de la altitud y exposición cuando se trata de estaciones situadas a corta distancia horizontal entre sí. Se recomienda pues al lector que estudie los cortes verticales y los mapas con histogramas que figuran en el capítulo V . Sin embargo, en los mapas de pequeña escala se pueden apreciar las condiciones dominantes. Estos mapas figuran en las publicaciones editadas por los Servicios Meteorológicos y en el Atlas Climático de América Latina que está en preparación.

En los párrafos siguientes se estudian los efectos generales de la latitud y longitud así como la influencia de la altitud y exposición.

3.2 Efectos de la latitud y longitud

En el capítulo IV se hizo una descripción climática general y una evaluación de la lluvia anual del área. A partir de los mapas y cortes verticales de dicho capítulo se pueden identificar inmediatamente varias zonas generales:

En primer lugar existe una zona oriental que se extiende desde unos 2000 m de altitud hasta las tierras bajas y constituye la transición entre las regiones montañosas y las cuencas del Orinoco y Amazonas. La lluvia es generalmente superior a 1500 mm y se recibe en dos estaciones del año,

no muy bien determinadas, en el norte y durante una estación bastante larga en el sur a una latitud de aproximadamente 5° S. Entre 0° y 5° S existe una transición entre la distribución bimodal y la monomodal.

La segunda zona ocupa toda la región montañosa situada por encima de aproximadamente 2000 m, pero al sur de 15° S sólo cubre la parte oriental de la Cordillera. Al norte de unos 3° N esta zona recibe hasta 1500 mm de lluvia, entre 3° N y 0°, una cantidad de lluvia comprendida entre 500 y 900 mm y alrededor de 0° existe una estrecha zona cuya lluvia es superior a 1000 mm, toda ella de distribución bimodal.

Entre 1° y 6° S aproximadamente la lluvia es escasa (300-600 mm) y esta zona constituye una transición entre los sistemas bimodales y monomodales. Al sur de 6° S la lluvia está comprendida entre 400 y 800 mm en una sola estación, y decrece hacia el sur.

La tercera zona cubre las montañas situadas por debajo de 2000 m y las zonas bajas adyacentes situadas al oeste. La parte septentrional de esta zona cubre las muy húmedas llanuras de Colombia y Ecuador hasta aproximadamente 2° S. Hacia el sur, la zona se transforma en desértica sin lluvia alguna. Al sur de 16° S se extiende mucho más tierra adentro hasta aproximadamente la mitad del altiplano boliviano, en donde las lluvias son inferiores a 200 mm.

3.3 Influencia de la altitud y exposición

3.3.1 Generalidades

Los efectos de la altitud y exposición no pueden en realidad ser estudiados separadamente. Conjuntamente constituyen los factores que determinan la cantidad de lluvia que ha de precipitar en distintos lugares, dentro de la misma zona climática general. Hay otros factores, tal como la inclinación y forma del terreno que influyen a su vez en la cantidad de lluvia, junto con la altitud y exposición. Todos ellos determinan el mecanismo de producción de lluvia de un modo u otro, a través de los procesos de convergencia, convección y ascenso de las masas de aire por la orografía del terreno.

Se pueden producir amplias variaciones y con frecuencia resulta imposible separar el efecto que aporta cada uno de los factores. En general la influencia de un solo factor es bastante limitada, pero siempre actúan varios factores a la vez, de modo que su importancia espacial resulta mucho mayor.

Las diferencias de lluvia según la altitud y exposición se determinan mejor considerando intervalos cortos, por ejemplo valores diarios. Debido a la falta de este tipo de datos, fue difícil preparar un ejemplo detallado de la influencia de la exposición, aunque fue posible elegir estaciones adecuadas situadas en distintos lugares del área estudiada. Para este fin, dichas estaciones deberían estar ubicadas a aproximadamente la misma altitud y a cortas distancias horizontales, pero sometidas a un régimen de viento dominante distinto.

3.3.2 Lluvia y número de días lluviosos en relación con la altitud

Los efectos de la altitud han sido estudiados con bastante frecuencia y como consecuencia se ha obtenido gran variedad de conclusiones.

Los trabajos realizados por Weischet (1965) indican que la lluvia en las regiones ecuatoriales y tropicales aumenta con la altitud hasta el nivel de 1300-1500 m y después disminuye continuamente. Esta conclusión se funda en las observaciones efectuadas en dos sistemas independientes de generación de lluvia, estando el límite superior de las nubes conectadas con el sistema inferior a unos 2000 m. Aunque estas conclusiones son los resultados generales del estudio de cierto número de cortes verticales de las montañas tropicales, se confirma la existencia en ciertos casos de un punto de inversión en lo que respecta a la cantidad de lluvia. Sin embargo al comparar los cortes verticales de la región andina resulta bastante claro que este punto de inversión existe también, pero a altitudes que varían entre menos de 1000 m y más de 3000 m. Se observa también a este respecto que existen considerables diferencias entre las vertientes orientales y occidentales. En las regiones montañosas de Africa Oriental este punto de inversión se halla entre 2600 y 3400 m (Nieuwolt 1973) mientras que Griffiths y Hemming (1963) calcularon que estaba entre 2800 y 4000 m.

Otros autores, como Spreen (1947), analizaron la lluvia no solamente en relación con la altitud sino que tuvieron en cuenta también la pendiente máxima del terreno, la exposición y la orientación. Llegaron a la conclusión de que en cierta zona de los Estados Unidos sólo el 30% de la variación de lluvia podía ser atribuida a la altitud, mientras que considerando los cuatro parámetros topográficos antes mencionados se podía explicar el 88% de la variación. Rumley (1965) analizó varios estudios y llegó a la conclusión de que no existe relación universal alguna y está de acuerdo con Peck y Brown (1962) en que la altitud puede explicar gran parte de la variación de lluvia si el estuido de la relación existente se limita a zonas relativamente pequeñas con características topográficas similares.

Para ilustrar el efecto de la altitud podemos estudiar los cortes verticales y observar que las relaciones son más bien poco uniformes. Con objeto de demostrar con mayor detalle cómo se produce la variación de la lluvia con la altitud, dentro de la zona objeto de la encuesta, se analizaron varios grupos de estaciones, teniendo cada grupo características similares de exposición. De ellos citaremos tres ejemplos representativos: uno a aproximadamente 1° S en la vertiente occidental de los Andes, en Ecuador, y el segundo a aproximadamente la misma latitud, en la vertiente oriental. En el primer caso existe un régimen monomodal con una estación que dura desde noviembre a mayo y en el segundo un régimen bimodal. El tercer ejemplo procede de una latitud comprendida entre 16 y 18° S en Bolivia, con una clara estación lluviosa que va de noviembre a marzo. Para los fines de este estudio y con objeto de evitar distancias horizontales demasiado grandes, se ha elegido un límite inferior de altitud situado a unos 500 m.

En la figura 44 ($\bar{p}$/alt) se puede observar que en la vertiente occidental existe una inversión entre 1400 y 2400 m. En la vertiente oriental dicha inversión está por debjao de 800 m o no existe en absoluto, como parece ser el caso en Bolivia. Lo mismo se aplica en los tres ejemplos a la distribución del número de días lluviosos en relación con la altitud, como puede verse en la figura 45 ($\bar{n}$/alt). Ello indica en realidad que las diferencias de cantidad de lluvia correspondientes a la altitud son en gran medida debidas a las diferentes frecuencias de lluvia más que a la intensidad de los chubascos, que tiene un carácter más variable.

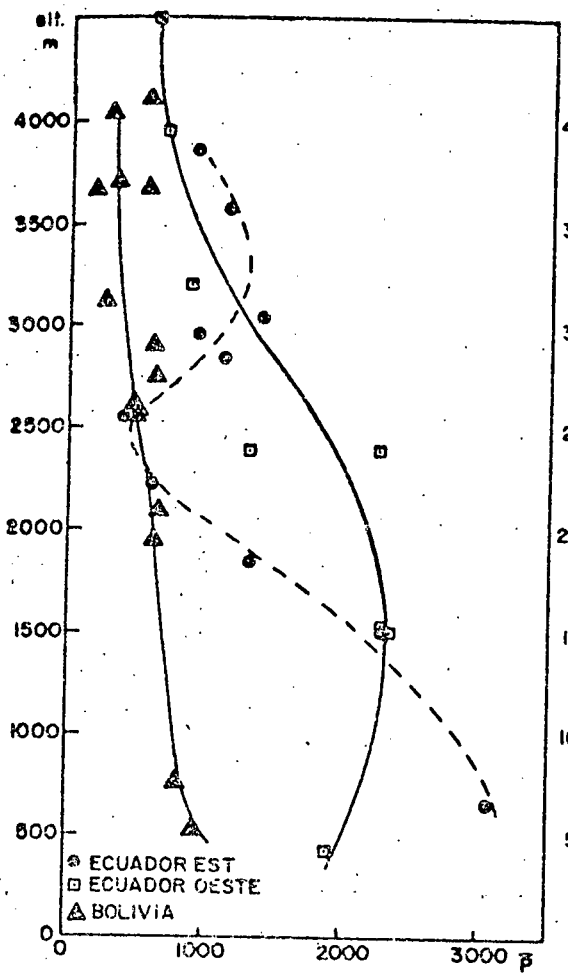


Figura 44 *Relación entre la precipitacion media y la altitud para tres regiones.*

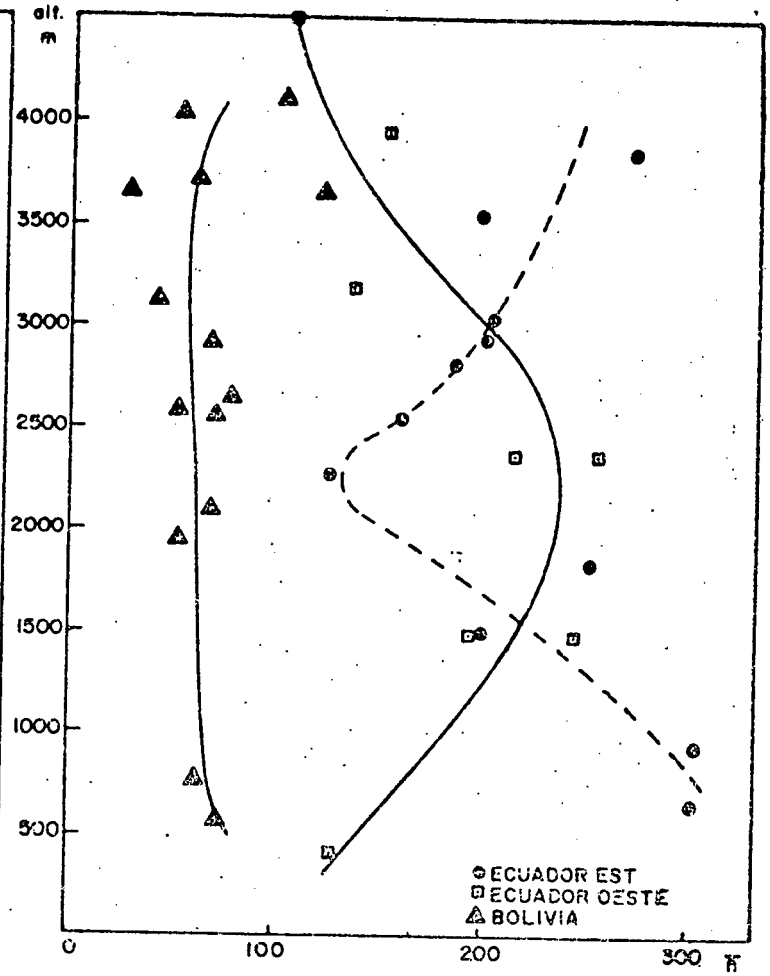


Figura 45 *Numero medio de días lluviosos en relación con la altitud para tres regiones.*

En lo que respecta al grupo de estaciones de Bolivia, se observa una dispersión del número de días lluviosos a altitudes mayores. Esto puede ser atribuido a los efectos de exposición y a la frecuencia relativamente alta, de carácter local, que tienen las lluvias de corta duración.

La conclusión general es que no existe relación universal alguna entre la precipitación anual media y la altitud. En áreas pequeñas se puede establecer una relación, con validez local, especialmente cuando se tienen en cuenta otras características topográficas. Debe entenderse a este respecto que el calcular gradientes lineales de la lluvia es de una utilidad muy limitada y sólo pueden aplicarse con carácter local, cuando las distancias horizontales son pequeñas, por ejemplo dentro de una sola cuenca fluvial.

3.3.3 Intensidad de la lluvia en relación con la altitud

En las circunstancias que prevalecen en gran parte de la región objeto de la encuesta es conveniente e incluso necesario tener una idea de la intensidad de la lluvia como complemento a la descripción que se ha hecho hasta ahora de las condiciones de dicha lluvia. La gran intensidad de lluvia en las regiones montañosas originará la erosión del suelo. Sin llegar a esa fase extrema, la escorrentía se producirá rápidamente y reducirá la infiltración, y por consiguiente el almacenamiento de agua subterránea.

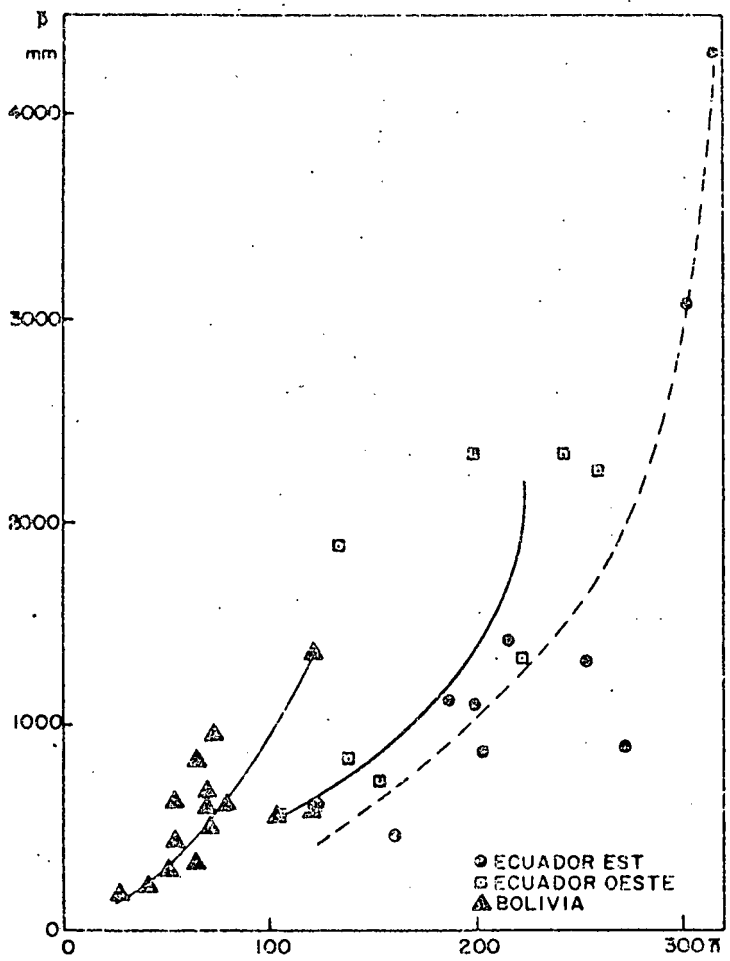


Figura 46 Relación entre el número medio de días lluviosos y la precipitación media.

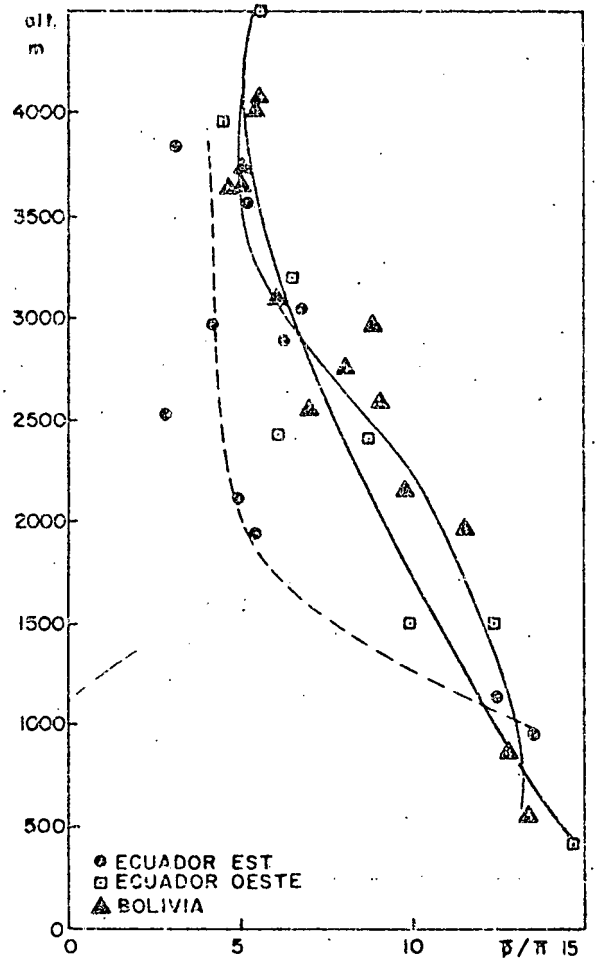


Figura 47 Relación entre cantidad media por día lluvioso y la altitud.

En vista de los datos disponibles, nos limitaremos a estudiar la lluvia media observada en cada día lluvioso. A partir de los dos gráficos anteriores se puede deducir la relación entre el número medio de días lluviosos y la precipitación media. Dicha relación se expone en la figura 46 ($\bar{n}/\bar{p}$). Se observa entre los tres grupos una clara diferencia que indica que en el régimen monomodal boliviano se recibe una cantidad doble de lluvia por día lluvioso, en comparación con la observada en el régimen bimodal. El régimen monomodal ecuatoriano no muestra una relación clara, aunque se mantiene más o menos entre los otros dos.

La cantidad media de lluvia por día lluvioso se relaciona con la precipitación media ($\bar{p}$), pero de la explicación anterior se deberá entender que tiene también que existir una relación con la altitud. Esta relación se presenta en la figura 47 ($\bar{p}/\bar{n}/alt$); en ella puede verse que las cantidades medias en un día lluvioso son casi iguales a 1000 de altitud. Al crecer las altitudes, las intensidades medias en el Ecuador occidental y en Bolivia continuan siendo altas hasta aproximadamente 2500 m, cuando son dobles las del Ecuador occidental, correspondiendo al mínimo que se halló en los gráficos anteriores. Por encima de dicha altura, las tres líneas convergen y a 3500 m y alturas superiores todas ellas permanecen a un nivel de unos 4-5 mm de lluvia por día lluvioso. Estos datos constituyen sólo una primera evaluación y permiten hacer una comparación grosera

entre los diferentes regímenes de lluvia. Es preciso disponer de información más detallada para conocer la intensidad de lluvia y estimar la eficacia de la precipitación, ya que la infiltración que contribuye al almacenamiento de agua subterránea es en primer lugar función de la intensidad y características del suelo. En dicho análisis, para el que se precisan datos diarios, conviene utilizar el índice de variabilidad interdiaria, tal como lo define Nieuwolt (1972). En algunos casos y para determinadas estaciones bolivianas y ecuatorianas por ejemplo, se indican las cantidades máximas en 24 horas para cada mes. Estas cantidades parecen ser proporcionales, con carácter mensual, a las cantidades medias por día lluvioso, calculadas como antes se dijo. Las intensidades de lluvia, para el estudio de la erosión del suelo, han de considerarse en escalas de tiempo de 5 minutos a 3 horas, aunque este tema cae fuera del alcance del presente trabajo.

4. Variabilidad de la cantidad de lluvia y estimación de probabilidades

4.1 Introducción

En general podemos decir que al investigar la variabilidad de la lluvia y la estimación de probabilidades para su aplicación a la agricultura, se trata en realidad de responder a la cuestión de saber con qué frecuencia la tierra recibirá determinada cantidad de lluvia, y la frecuencia con que la tierra recibirá una cantidad inferior o superior a ella. La respuesta se especifica en forma de fracción o porcentaje de probabilidad. Por ejemplo: 0.80 o 80% de probabilidad; o bien, 1 año de cada 5, o 4 años de cada 10, etc.

No tiene utilidad para fines agrícolas especificar una probabilidad inferior a 10% (1 año de cada 10) o superior a 90% (9 años de cada 10). Con frecuencia estos grados de probabilidad serán consecuencia de consideraciones económicas de acuerdo con las cuales se acepta que un cultivo pueda fracasar 1 año de cada 5, o 1 año de cada 10, etc.

Las consecuencias de estos análisis en las prácticas agrícolas son evidentes: una vez que se conozca la demanda mínima de lluvia de determinado cultivo, se pueden evaluar rápidamente los riesgos de llevar a cabo dicho cultivo en la región particular para la cual los datos de lluvia son válidos. Esto constituye desde luego la primera medida que ha de adoptarse. La próxima medida en importancia debe ser la investigación de la distribución de esta lluvia durante la estación de crecimiento del cultivo (que estudiaremos más tarde) y otras, tales como las referentes a la capacidad de almacenamiento de agua en el suelo.

La seguridad de un análisis tiene dos restricciones importantes: 1) su limitada validez en amplias regiones, especialmente en las montañosas; 2) que las series de observaciones de lluvia de menos de 10 ó 15 años no contienen suficientes datos para llegar a conclusiones definitivas.

Antes de iniciar un análisis matemático o estadístico es importante llevar a cabo la verificación de la calidad de los datos, de los registros que faltan y de las observaciones dudosas. Sin adentrarse en complicadas operaciones cuando se haga el análisis, podemos sustituir ocasionalmente un valor mensual que falte o ajustar series de observaciones cuando una estación ha cambiado de emplazamiento, siguiendo las normas establecidas por Thom (1966) y Rainbird (1970).

La distribución de la lluvia tiende a ser asimétrica cuando los valores medios anuales son relativamente pequeños. Esto tiene habitualmente como consecuencia el que haya un número relativamente alto de años con cantidades de lluvia inferiores a la media, los cuales quedan compensados por un número menor de años con cantidades relativamente altas. Según Griffiths (1962) este será el caso cuando las medias de las cantidades anuales son inferiores a unos 600 mm. Como en amplias zonas del área que se estudia se recibe dicha cantidad o incluso menos, es muy importante tener este hecho en cuenta, especialmente en los casos en que sólo se dispone de series cortas de datos, de modo que resulta difícil detecterlo. Esto se aplica también a los datos mensuales y en particular a los meses que coinciden con el comienzo o el final de la estación lluviosa (figura 48).

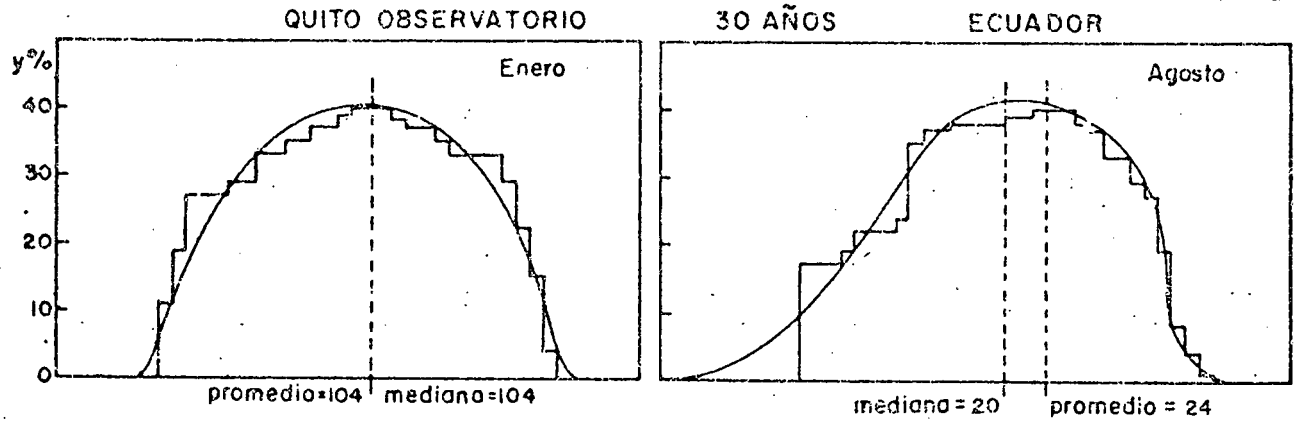


Figura 48 Diagrama de la frecuencia de cantidades en enero y agosto para Quito.

Cuando existe asimetría, los valores de la mediana (m) y de la media ($\bar{p}$) difieren y en ese caso se evalúa la asimetría mediante el denominado índice de asimetría: $\frac{m - \bar{p}}{\bar{p}}$. 100%. Habitualmente esta asimetría no influye en las pruebas de homogeneidad y según Thom (1966) una serie asimétrica de datos de lluvia puede suponerse todavía que está normalmente distribuida.

Sin embargo, en muchos casos tenemos que tratar de averiguar si la causa real de esta anormalidad es una frecuencia demasiado elevada de cantidades de lluvia relativamente bajas o la ocurrencia de un solo año muy húmedo, que perturba la simetría. En este último caso podemos llegar a la conclusión de que puede tolerarse la omisión de un valor extremo ocasional para obtener un mejor ajuste con la distribución normal y por consiguiente una estimación más precisa de la probabilidad. Para fines agrícolas esto nos llevará sólo a obtener estimaciones o probabilidades ligeramente inferiores, es decir con mayor margen de seguridad.

4.2 Homogeneidad de los registros

Las series climatológicas tales como las de datos de precipitación o temperatura son en realidad muestras procedentes de una sola población y por ello se pueden considerar homogéneas por definición. En general esto significa que debe haber la misma probabilidad de hallar un valor que difiera en cierta cantidad, por exceso o por defecto, del valor medio. Esto implica que la mediana y la media tienen el mismo valor.

Una excelente y fácil manera de comprobar la homogeneidad de una serie consiste en aplicar el método de Sved-Eisenhart. Se usan los datos en orden cronológico y, después de haber determinado el valor de la mediana m, se cuenta el número de veces en que la serie de datos cambia de valores superiores a inferiores de m y viceversa. El número total de cambios S se aumenta en una unidad y se compara con los límites de la distribución normal que se halla a partir de:

$$1 \pm 1.1 \frac{n}{2} \qquad \text{(límite superior)}$$

$$-1 + 0.9 \frac{n}{2} \qquad \text{(límite inferior)}$$

donde n es el tamaño de la población (número de años). Véase la tabla 49 .

Límites superiores e inferiores del intervalo de confianza de los registros homogéneos, utilizando el valor de la mediana para efectos de comparación

Longitud del registro N (años)	Límites superior	inferior
20	12	8
22	13	9
24	14	10
26	15	11
28	16	12
30	18	13
32	19	13
34	20	14
36	21	15
38	22	16
40	23	17
45	26	19
50	29	22

Tabla 49 Intervalo de confianza para registros homogéneos.

Cuando S está entre estos límites se considera que la muestra es homogénea, con lo cual se puede hacer un análisis de probabilidad normal. Cuando S está por encima del límite superior, este hecho indicará algunas veces que existe una oscilación y si existe algún valor de S por debajo del límite inferior esto puede indicar una tendencia. La tendencia puede ser el resultado de un cambio de emplazamiento de la estación. Los datos de este cambio, si son desconocidos, pueden ser deducidos con ayuda de una doble curva de masa.

4.3 Variabilidad y probabilidad de las cantidades anuales

4.3.1 Introducción

Al estudiar el gráfico de Huancayo, con 50 años de precipitación estacional y anual (figura 50), apreciamos inmediatamente las grandes fluctuaciones que existen de un año a otro, según se observa en los valores anuales y, en menor medida, en las cantidades estacionales.

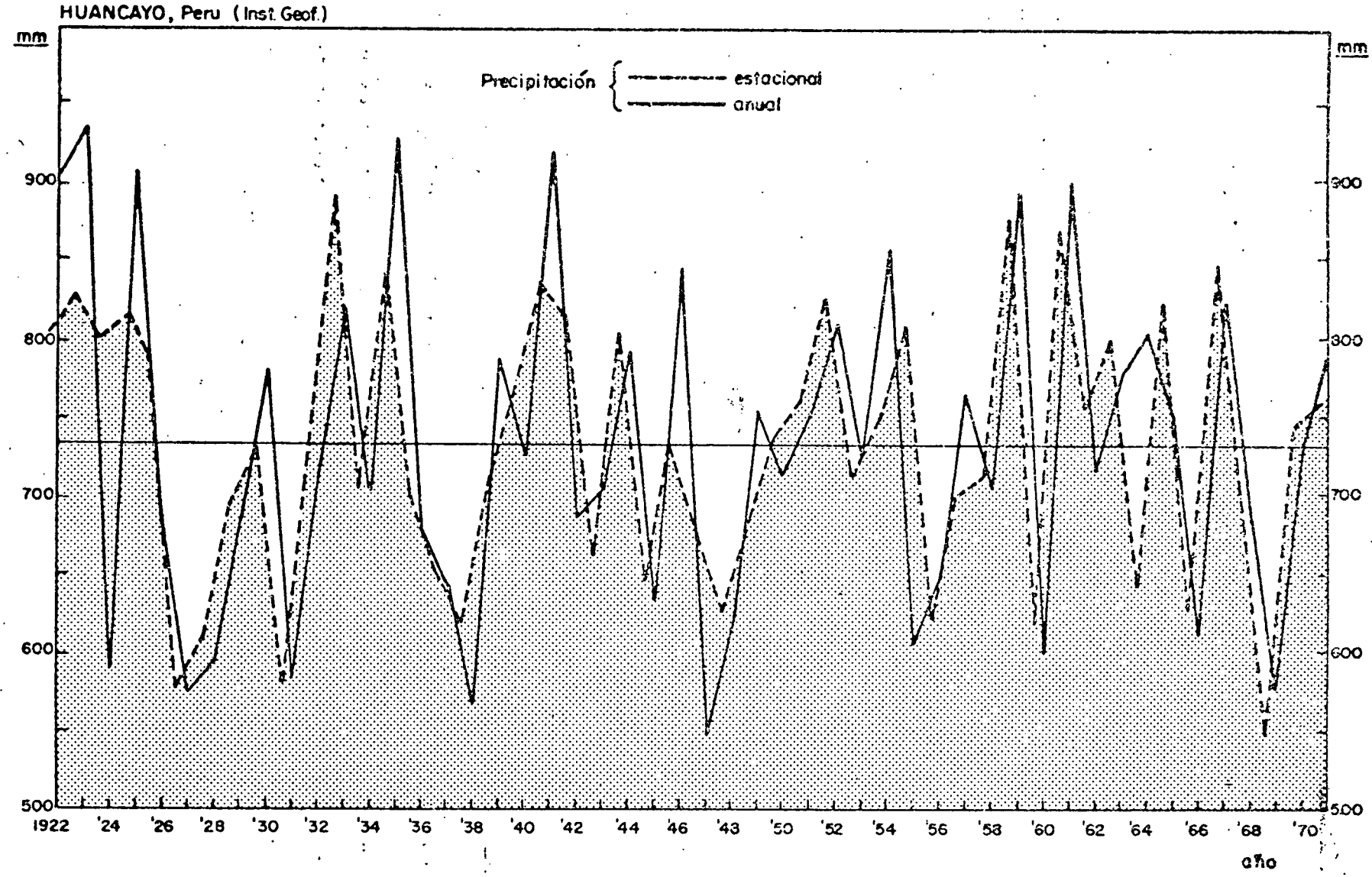


Figura 50 *50 años de precipitación anual y estacional para Huancayo.*

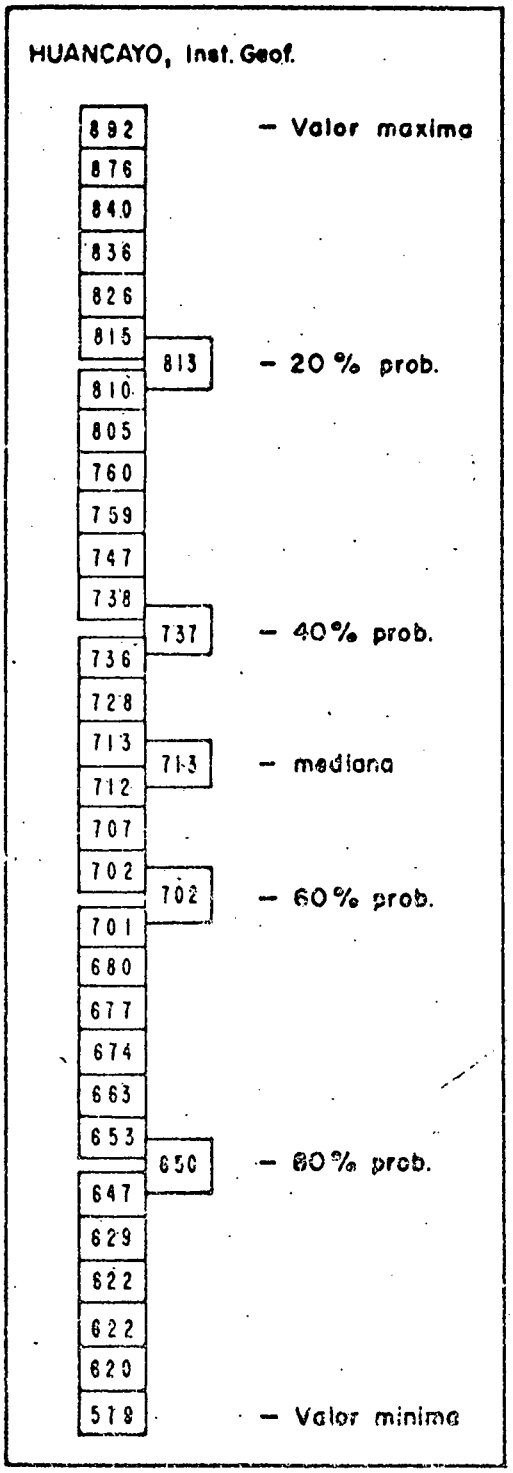


Figura 51 Serie de 30 años de precipitación para Huancayo.

En primer lugar debemos subrayar la importancia de utilizar, siempre que corresponda, cantidades estacionales, en lugar de las obtenidas en un año civil, ya que éste está compuesto en realidad de dos partes completamente distintas en lo que a la estación lluviosa se refiere.

En segundo lugar, es evidente que el valor medio de 50 años (731 mm) no da una descripción muy buena de la situación real para fines agrícolas. Necesitamos por lo menos contar con una expresión sencilla que nos dé una cantidad con determinada probabilidad.

4.3.2 Planteamiento empírico

Esta es la manera más sencilla de estudiar la variabilidad de la lluvia. Mediante este método suponemos que al tomar un período de 30 años disponemos de una muestra representativa de una distribución que se repetirá y que podemos extrapolar en el futuro.

Se considera que el período de 30 años tiene una longitud razonable. Podemos mejorar la seguridad tomando una muestra más larga que, de preferencia, debe estar constituida por un número de años múltiplo de cinco (35, 40, etc.). El sistema al que nos referimos es el de quintiles, tal como se expone en la publicación de la OMM titulada "Normales climatológicas (Clino) de las estaciones que emiten mensajes CLIMAT y CLIMAT SHIP, para el período 1931-1960" (OMM No.117 TP 52).

Los datos han sido ordenados en una serie, como puede verse en la figura 51 (ejemplo: Huancayo, cantidades estacionales 1931-1960) y el valor interpolado entre el 15° y el 16° lugar es el valor de la mediana m. La serie ha sido dividida en cinco grupos de seis valores cada uno. El valor de separación entre cada dos grupos se halla también por interpolación lineal.

Cada uno de estos cinco valores, desde los más bajos a los más altos, puede ser interpretado como la cantidad que será excedida respectivamente durante 4, 3, 2 y 1 años cada 5 años, y representa por lo tanto una probabilidad de 80, 60, 40 y 20%. Alternativamente indica que, yendo de arriba a abajo, se observarán valores inferiores a éstos durante 4, 3, 2 y 1 años de cada 5 años respectivamente.

En la publicatión de la OMM antes mencionada las frecuencias se agrupan juntas de la siguiente manera: los valores por debajo del máximo registrado y que exceden del 20% de probabilidad están en el grupo 5; los comprendidos entre el 50% y el 40% en el grupo 4; entre el 40% y el 60% en el grupo 3; entre el 60% y el 80% en el grupo 2; entre el 80% y el registro mínimo en el grupo 1. Para cada cantidad en particular registrada en un año o un mes podemos hacer fáciles comparaciones y, de acuerdo con los criterios antes especificados, decidir si dicha cantidad fue excepcional o no.

La figura 52 contiene un ejemplo completo referente a Huancayo, expuesto de manera análoga a como los quintiles son presentados en la publicación Clino de la OMM, con la excepción de que en lugar de utilizar un año civil, se comienza el año en el mes de julio como se suele hacer en el hemisferio sur para incluir la estación de lluvias completa.

Se debe tener presente que la suma de cierto número de cantidades probables no es igual a la probabilidad de la suma. Cuando simplemente sumamos los valores mensuales probables que son inferiores a la mediana (50%), hallaremos probabilidades más bajas del valor anual y por otra parte obtendremos estimaciones más altas de la precipitación anual si sumamos los valores mensuales que están por encima de la mediana. Tenemos pues que calcular específicamente las cantidades probables.

HUANCAYO, INST. GEOF. 1931-1960 — Grupos De Frequencia De Precipitación - mm

GRUPO	J	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	AÑO	GRUPO
1	0	0	19	33	32	19	67	61	39	3	1	0	579	1
2	0	2	25	49	42	70	92	84	70	33	4	2	650	2
3	1	6	36	58	58	79	109	113	96	43	16	6	702	3
4	6	9	45	75	78	91	133	128	114	52	25	10	737	4
5	12	18	58	91	98	113	168	152	135	72	32	12	813	5
	22	30	81	100	149	158	195	198	232	108	78	35	892	
PROM.	6	9	42	68	71	90	126	120	111	50	21	9	726	

Figura 52 *Quintiles mensuales y anuales para Huancayo.*

4.3.3 Distribución acumulativa

En otras ocasiones nos puede interesar saber qué probabilidad existe de que el terreno reciba una cantidad de lluvia superior a la máxima registrada en nuestra serie de 30 años, o inferior a la mínima de la misma serie, o cuál es la probabilidad correspondiente a cualquier otro nivel de precipitación. En este caso la distribución acumulativa nos da la probabilidad mediante la fórmula: $F = \frac{m}{n+1}$, siendo m el número de orden que nos interesa en nuestra serie y n el número de años de nuestra muestra (figura 51). Así pues, la probabilidad de que el terreno reciba una cantidad de lluvia inferior a la mínima de nuestra serie es $\frac{1}{31}$ 6

F = 0.065. En nuestro ejemplo referente a la estación de Huancayo el riesgo de que se produzca una cantidad de lluvia inferior a 600 mm es pues de 0.032 ó 3.2% solamente y la misma probabilidad se aplica a que la lluvia sea superior a 880 mm. Análogamente, la probabilidad de que el terreno reciba más de 600 mm se calcula en 1 - 0.032 = 0.968 ó 96.8%. El tiempo medio entre dos ocasiones en las que se exceda cierta cantidad de lluvia con determinada probabilidad, que se denomina período de retorno, es 1/1 - F.

4.3.4 Funciones matemáticas

La desventaja del método anterior reside desde luego en el limitado número de cantidades de lluvia que constituyen la muestra, lo cual no suaviza ninguna irregularidad que pueda haber ocurrido durante los 30 años. Las funciones matemáticas deducidas de dicha muestra no presentan estas irregularidades. Estas funciones están suavizadas y en muchos casos permiten trabajar con mayor facilidad y obtener estimaciones más precisas.

año	F	año	F	año	F
1	0.032	11	0.355	21	0.677
2	0.065	12	0.387	22	0.710
3	0.097	13	0.419	23	0.742
4	0.129	14	0.452	24	0.774
5	0.161	15	0.484	25	0.806
6	0.194	16	0.516	26	0.839
7	0.226	17	0.548	27	0.871
8	0.258	18	0.580	28	0.903
9	0.290	19	0.613	29	0.935
10	0.323	20	0.645	30	0.968

Tabla 53 Frecuencias para un periodo de 30 años.

A. Distribución normal

Es una de las funciones más sencillas que se utiliza para deducir las probabilidades de lluvia. Las frecuencias de la distribución normal de una amplia muestra se expresan por la fórmula de Gauss-Laplace y al ser expresadas en forma gráfica la curva tiene forma típica de campana. No estudiaremos aquí la teoría y supondremos que el usuario sabe hacer una representación gráfica de las probabilidades. Las principales características de esta distribución son las siguientes:

$\bar{p}$ es la media aritmética: $\bar{p} = \frac{\Sigma p}{n}$

σ es la desviación típica: $\sigma = \frac{\sqrt{\Sigma (p-\bar{p})^2}}{n}$

Esta desviación típica da al usuario una indicación de la variabilidad de la muestra que se estudia.

De las investigaciones efectuadas por Griffiths (1962), se deduce que la mayoría de las estaciones (75%) muestran una distribución normal de las cantidades anuales de lluvia. En este caso los valores de $\bar{p} + \sigma$ y $\bar{p} - \sigma$

Año	p	$p-\bar{p}$	$(p-\bar{p})^2$
31	579	-147	
32	674	- 52	
33	892	+165	
34	707	- 19	
35	840	+114	
36	701	- 25	
37	653	- 73	
38	622	-104	
39	728	+ 2	
40	759	+ 33	
41	836	+110	
42	815	+ 89	
43	663	- 63	
44	805	+ 79	
45	647	- 79	
46	736	+ 10	
47	677	- 49	
48	629	- 97	
49	680	- 46	
50	738	+ 12	
51	760	+ 34	
52	826	+100	
53	713	- 13	
54	747	+ 21	
55	810	+ 84	
56	622	-104	
57	702	- 24	
58	712	- 14	
59	876	+150	
60	620	-106	
30		-11	197877 SUMA

Mediana ..... m	713
Promedio ..... $\bar{p}$	726
Desviación promedio ..... $\lvert\bar{e}\rvert$	67.3
Desviación típica ..... σ	81.2
Variabilidad relativa ..... $\lvert\bar{e}\rvert/\bar{p}$	0.093
Coeficiente de variabilidad ..... $\sigma/\bar{p}$	0.112
$(m-\bar{p})/\bar{p}$	-0.018
$\bar{p}+\sigma$	807
$\bar{p}-\sigma$	645

deben ser hallados a los niveles de probabilidad de 16% y 84% respectivamente, cuando los datos han sido agrupados. Observemos la forma típica en la que se indican los elementos, junto con los niveles de los grupos donde se hallen los valores de $\bar{p}+\sigma$ y $\bar{p}-\sigma$. Observaremos que la probabilidad contenida entre estos dos niveles es de 68%, o sea aproximadamente de 2 años de cada 3, de modo que cuando además del valor medio de la lluvia se da la desviación típica, los datos obtenidos son mucho más informativos. Un ejemplo se da en figura 54 .

A este respecto, cuando se trabaje con cantidades anuales o estacionales de lluvia, es importante no dividir estos valores de acuerdo con el año civil, sino utilizar el año real de lluvia, incluyendo toda la estación húmeda. Por ejemplo la estación de Huancayo, con una estación muy acentuada de lluvia desde octubre a abril, no muestra una distribución normal cuando se toman los totales de enero a diciembre, pero tiene una buena distribución normal si se tienen en cuenta los totales de julio a junio.

Cuando una muestra no está simétricamente distribuida alrededor de la media, se produce lo que se denomina asimetría, lo cual implica que la media $\bar{p}$ y la mediana m de la muestra ordenada no tienen el mismo valor. Lo más corriente en el caso de asimetría es el desplazamiento de la curva hacia la izquierda, que indica la tendencia de que haya cierto número de años relativamente secos, compensado por un número menor de años relativamente húmedos. La asimetría se evalúa mediante la fórmula $\frac{m-\bar{p}}{\bar{p}}$ y en este caso es negativa.

Para comparar la variabilidad de diferentes estaciones se usa el coeficiente de variabilidad, que es la desviación típica dividida por la media $(\sigma/\bar{p})$.

Aparte de la posibilidad de comparar la variabilidad de 2 estaciones, es interesante ver la variación de una misma estación en el curso de los años. En la figura 55 se indican todos los parámetros de dos períodos normales: 1901-1930 y 1931-1960, y se comparan con la misma información correspondiente a todo el período 1901-1960.

Figura 54 Ejemplo de calculación de los elementos de la distribución normal.

BOGOTA, OBSERVATORIO METEOROLÓGICO NACIONÁL													
Periodo	$\bar{p}$	m	σ	$\sigma/\bar{p}$	$\bar{p}+\sigma$	$\bar{p}-\sigma$	min.	20%	40%	60%	80%	max.	$(m-\bar{p})/\bar{p}$
1901-1930	971	934	177	0.182	1148	794	631	869	921	969	1069	1445	-0.040
1931-1960	941	937	206	0.219	1147	735	553	752	852	974	1090	1376	-0.004
1901-1960	956	934	193	0.201	1149	763	553	802	911	974	1080	1445	-0.023

Figura 55 Comparación de la variabilidad para los períodos 1901-1930 y 1931-1960 para Bogotá.

Este coeficiente carece de dimensiones, lo cual permite hacer comparaciones entre las estaciones, cualquiera que sea el nivel de su lluvia media.

Una de las posibilidades de utilizar este coeficiente se ilustra en la figura 56, donde $\sigma/\bar{p}$ está trazado en relación con $\bar{p}$ (valores anuales) para 29 estaciones distribuidas sobre la zona total. Los datos correspondientes de 25 estaciones se encuentran en la tabla 72 (80% probabilidad de lluvia), en la medida en que la serie de datos cubre por lo menos 20 años. Además, se incluyen otras cuatro estaciones, cuyos datos se consignan a continuación:

Estación	$\bar{p}$	σ	$\sigma/\bar{p}$	no. de años	altitud
El Alto	572	87	0.15	30	4050 m
Yacuiba	1008	226	0.22	25	580 m
Apolo	1350	197	0.15	30	1383 m
Baños	1453	266	0.18	30	1853 m

En este gráfico pueden distinguirse dos grupos de puntos, uno formado por las estaciones con una precipitación pluvial superior a 800 mm aproximadamente y con variaciones relativamente pequeñas en su coeficiente de variabilidad: entre 0.22 a 800 mm y ca. 0.14 a 2500 mm. El otro grupo comprende estaciones con precipitación pluvial inferior a 800 mm, pero con una diferencia muchó mayor, entre 0.11 a 750 mm y 0.35 a 250 mm aproximadamente.

Hay que señalar que el primer grupo está compuesto por estaciones en la zona montañosa ecuatorial hasta 4° S aproximadamente y el segundo por estaciones de la zona montañosa tropical. Las estaciones a baja altitud en Bolivia que reciben más de 800 mm de lluvia están estrechamente asociadas con el primer grupo.

Las diferencias que se encuentran aquí en la variabilidad de la precipitación pluvial, como están relacionadas con las dos regiones principales de la zona, son análogas a las diferencias en las características de la precipitación pluvial descritas anteriormente con respecto a la precipitación media en relación con los días lluviosos y la altitud.

Tal como puede verse más adelante al tratar los valores mensuales, el gráfico de la relación entre $\bar{p}$ y $\sigma/\bar{p}$ es aparente continuamente, hasta que a niveles muy bajos de precipitación ya no se ofrece ninguna información práctica, ya que σ se vuelve mucho mayor que 0.5 $\bar{p}$.

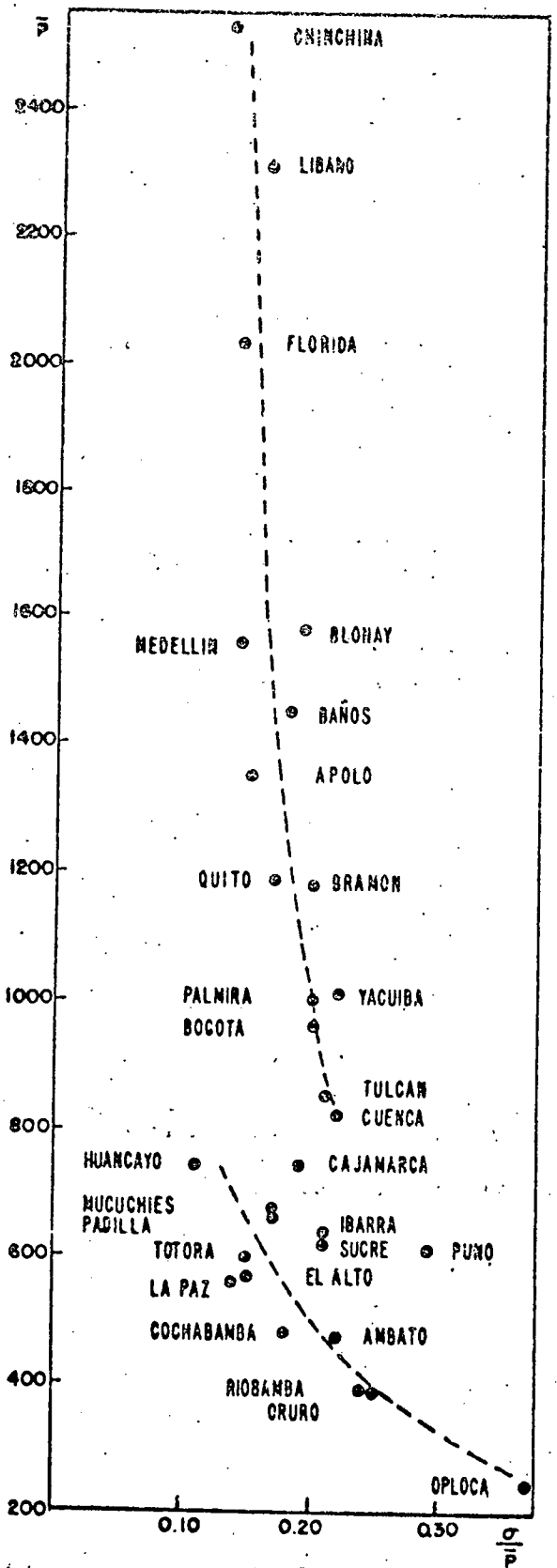


Figura 56 Relación entre la coeficiente de variabilidad y precipitación media.

Otros parámetros que pueden calcularse, como se indica en el formulario tipo (figura), son los siguientes:

- desviación media $|\bar{e}| = \frac{1}{n} \Sigma |p-\bar{p}|$
- variabilidad relativa $|\bar{e}|/\bar{p}$
- error típico de la media $\sigma/\sqrt{n}$
- error típico de la mediana $1.25\ \sigma/\sqrt{n}$

B. Otras funciones matemáticas -

Es importante observar que, especialmente cuando se trabaja con períodos cortos de meses o décadas, aparecen pronto uno o varios ceros en la serie de observaciones. Es evidente que dicha serie con un límite en un lado ya no pueden tener una distribución normal, lo cual es muy fácil de comprobar con el método antes descrito. Los cálculos fundados en una supuesta distribución normal no darán evidentemente resultados correctos en este caso y por ello se proponen otros métodos. Una serie de datos de lluvia que no tenga una distribución normal puede ser transformada muchas veces con éxito en dicha distribución normal tomando el logaritmo de los valores o el logaritmo de la cantidad más una constante. Estos métodos pueden aplicarse tanto mediante el cálculo como por medios gráficos, como posteriormente se explicará, y en muchos casos han demostrado ser plenamente satisfactorios. En lo que respecta al último método, la constante ha de ser determinada normalmente por tanteo, utilizando papel logarítmico normal. No obstante, Manning (1950, 1955) ha descrito un método más sistemático de evaluar las constantes.

Otro método que debemos mencionar aquí es la función gamma incompleta descrita por Barger (1949-1959) y Thom (1958). Con este sistema se obtuvieron excelentes resultados pero requiere excesivos cálculos y por consiguiente resulta más adecuado cuando se dispone de una computadora electrónica.

En la literatura especializada podemos hallar otros métodos de análisis de los datos de lluvia; la mayoría de ellos tienen por objeto transformar los

datos de un modo u otro en una distribución normal. Debemos mencionar aquí la utilización de la segunda, tercera y cuarta potencia de p, así como de sus raíces cuadrada y cúbica. Estas potencias y raíces pueden ser utilizadas con buenos resultados para rectificar distribuciones, como se ilustra muy bien por Stidd (1953, 1968, 1970, 1973) que las aplicó con éxito en varios casos. También se usa la transformación $\sqrt[3]{p}$ para estimar probabilidades en períodos de 10 días fundándose en distribuciones conocidas durante días y meses.

En cualquier cálculo de correlaciones en que intervenga la lluvia es muy importante conseguir que se utilicen siempre datos normalizados de precipitación, con objeto de que se puedan comparar los procedentes de diferentes estaciones.

C. Variabilidad interanual

Otro parámetro que puede ser fácilmente calculado a partir de las series de lluvia es la variabilidad interanual, que en realidad constituye la variación media de la lluvia de un año al siguiente. Se expresa por la fórmula:

$$IAV = [|p^1 - p^2| + |p^2 - p^3| + \ldots\ldots + |p^{n-1} - p^n|\ ]/n - 1$$

o bien:

$$IAV = \frac{1}{n-1} \Sigma^n |p^n - p^{n+1}|$$

Para hacer comparaciones entre las estaciones conviene utilizar la variabilidad interanual relativa, que es $100\ \frac{IAV}{\bar{p}}\%$.

Se comprende fácilmente que esta expresión de variabilidad no está unida a una supuesta distribución normal y por consiguiente su aplicación no tiene limitaciones. La información obtenida de los cálculos que se reproduce en la figura 57 , muestra que este indicador de variabilidad aumenta cuando decrece la lluvia media y su relación con $\bar{p}$ se parece a la que se halló para el coeficiente de variabilidad $\sigma/\bar{p}$. No estudiaremos con detalle este método ni tampoco lo recomendamos, excepto en los casos en que se dispone únicamente de series incompletas o cortas que no se prestan al análisis más completo antes descrito.

4.3.5 Cálculo gráfico

Se puede evaluar en muchos casos, de manera rápida y suficientemente precisa la probabilidad de lluvia utilizando los formularios normalizados que se reproducen en la figura 58 . Estos formularios normalizados se deducen del gráfico ordinario de probabilidades, expresando en ordenadas las probabilidades según la integral de Gauss. Las líneas horizontales se trazan a los niveles indicados por las probabilidades calculadas de acuerdo con $F = \frac{m}{n+1}$. En el caso de una muestra de 30 años, estos valores figuran en la tabla 53 (página 93). Para series mayores, de 40 ó 50 años, podemos simplemente calcular los valores de F y construir los gráficos. Los niveles de σ se sitúan a 16 y 84% respectivamente. En la abscisa figura una escala lineal de las cantidades de lluvia. A continuación se transcriben los datos siguiendo su orden en el conjunto, es decir, la cantidad menor en la línea inferior, la penúltima en la segunda línea, etc. Después se traza a ojo la línea de mejor ajuste, teniendo presente que los puntos situados cerca del centro ejercen mayor influencia que los valores extremos.

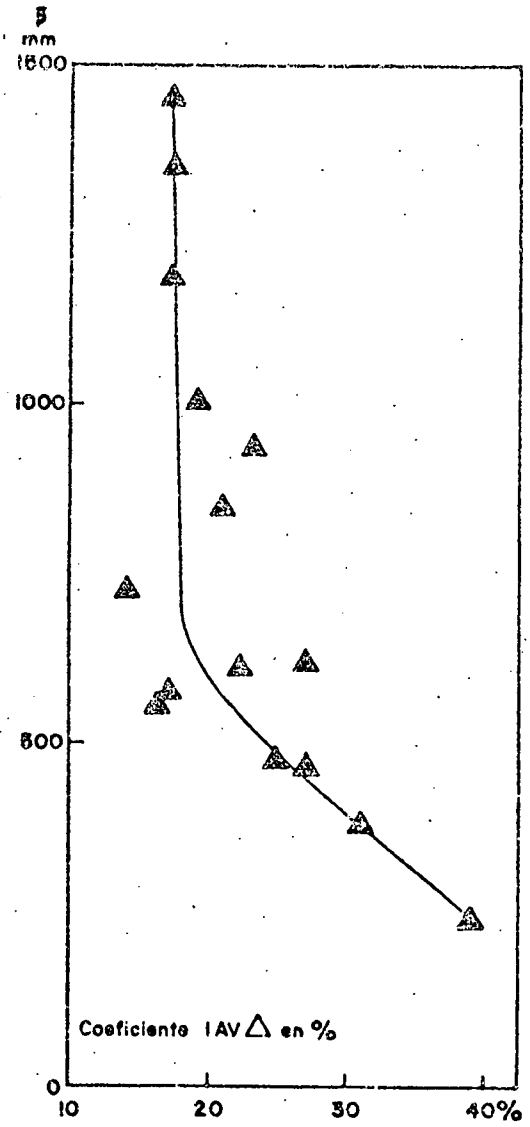


Figura 57 Variabilidad interanual relativa en relación con la precipitación media.

Las probabilidades se leen en la intersección con la línea construida. El valor de 50% (mediana) es, desde luego, de especial interés y es normalmente el más cercano al de la media $\bar{p}$. La inclinación de la línea constituye una medida del valor de σ, ya que la cantidad contenida entre el 16% y el 84% es igual a 2σ. En nuestro ejemplo (figura 58) $\bar{p} = 935$ y $\bar{p} + \sigma = 1160$; $\bar{p} - \sigma = 720$; por consiguiente $2\sigma = 440$ y $\sigma = 220$. Las importantes probabilidades que hay que leer directamente en el gráfico son las que indican los quintiles: 20, 40, 60 y 80%.

En lo que respecta a varias estaciones podríamos llegar a la conclusión de que no es muy fácil ajustar una línea recta a los puntos transcritos. Ello indica en realidad que la muestra que se estudia no sigue rigurosamente una distribución normal y quizás sea necesario en ese caso seguir otros planteamientos. La distribución anormal puede ser causada por la naturaleza de la lluvia o por observaciones incorrectas o que faltan. Cuando se produzcan grandes desviaciones con respecto a la distribución normal, podemos tratar de ajustar los valores a una línea recta mediante papel logarítmico, ya que los logaritmos de las cantidades de lluvia pueden tener una distribución normal. Si esta distribución logarítmica no resulta satisfactoria, se tratará de utilizar los cuadrados de las cantidades de lluvia y estos valores pueden ser transcritos primeramente en papel de probabilidad normal y después en papel logarítmico normal. En cada caso se debe conseguir la necesaria adaptación de la escala de ordenadas.

En la figura 58 , A, B, C y D representan las cuatro posibilidades de que hemos tratado. En la tabla se hace la comparación entre los valores deducidos y los valores calculados de $\bar{p}$ y σ. En la columna titulada adaptación se evalua el ajuste de la línea recta a los puntos transcritos.

Otra posibilidad es tratar de utilizar los logaritmos de los datos, aumentados con una constante. El mejor ajuste puede ser obtenido tras varias pruebas, usando constantes cada vez mayores, pero teniendo siempre presente que al aumentar los totales, la línea tendrá una inclinación cada vez menor y por consiguiente la información deducida, tal como σ, $\bar{p}$ y otras probabilidades, será menos precisa.

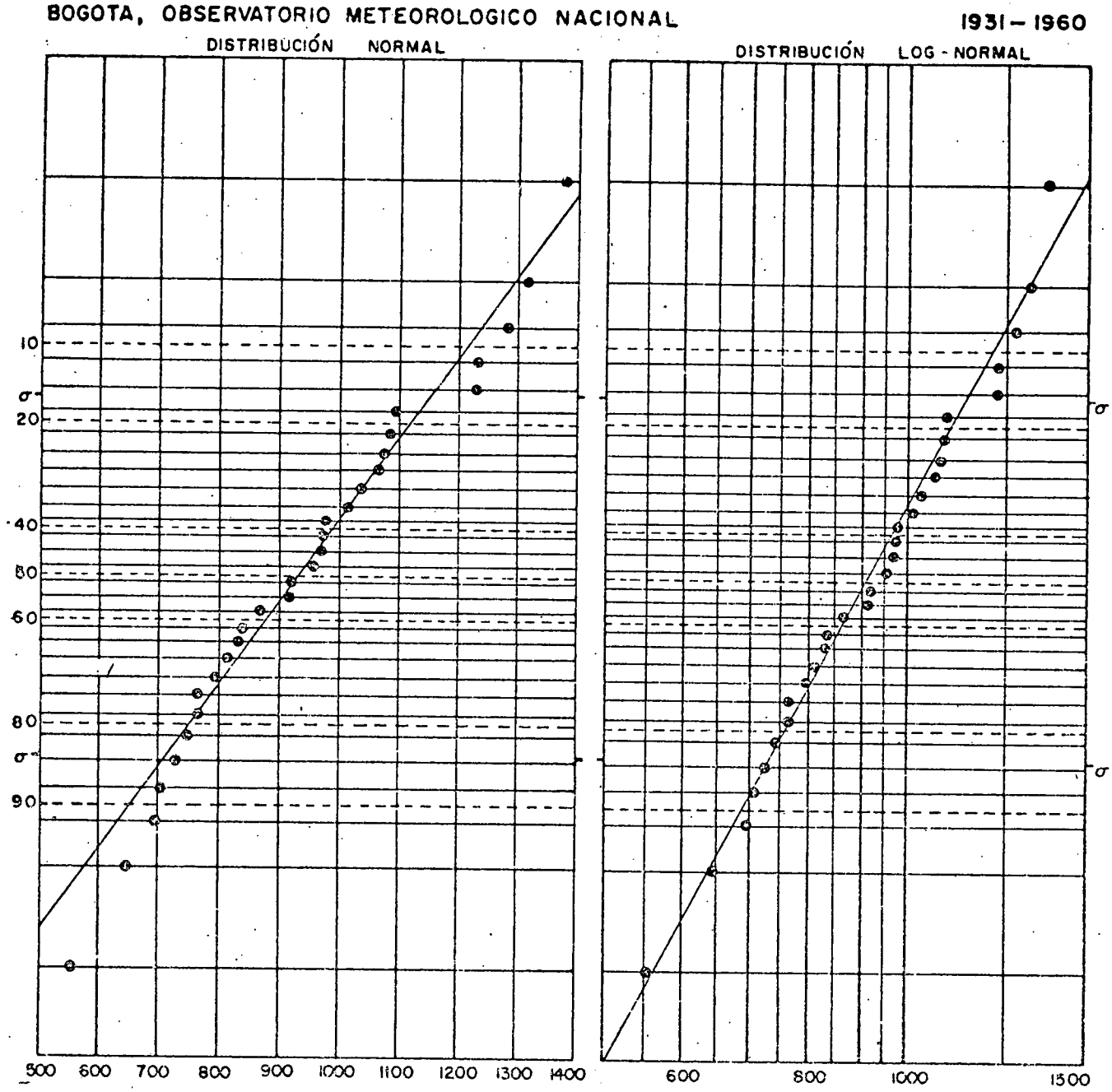


Figura 58a *Cálculo gráfico de la distribución normal de lluvia para Bogotá.*

Figura 58b *Cálculo gráfico de la distribución log-normal de lluvia para Bogotá.*

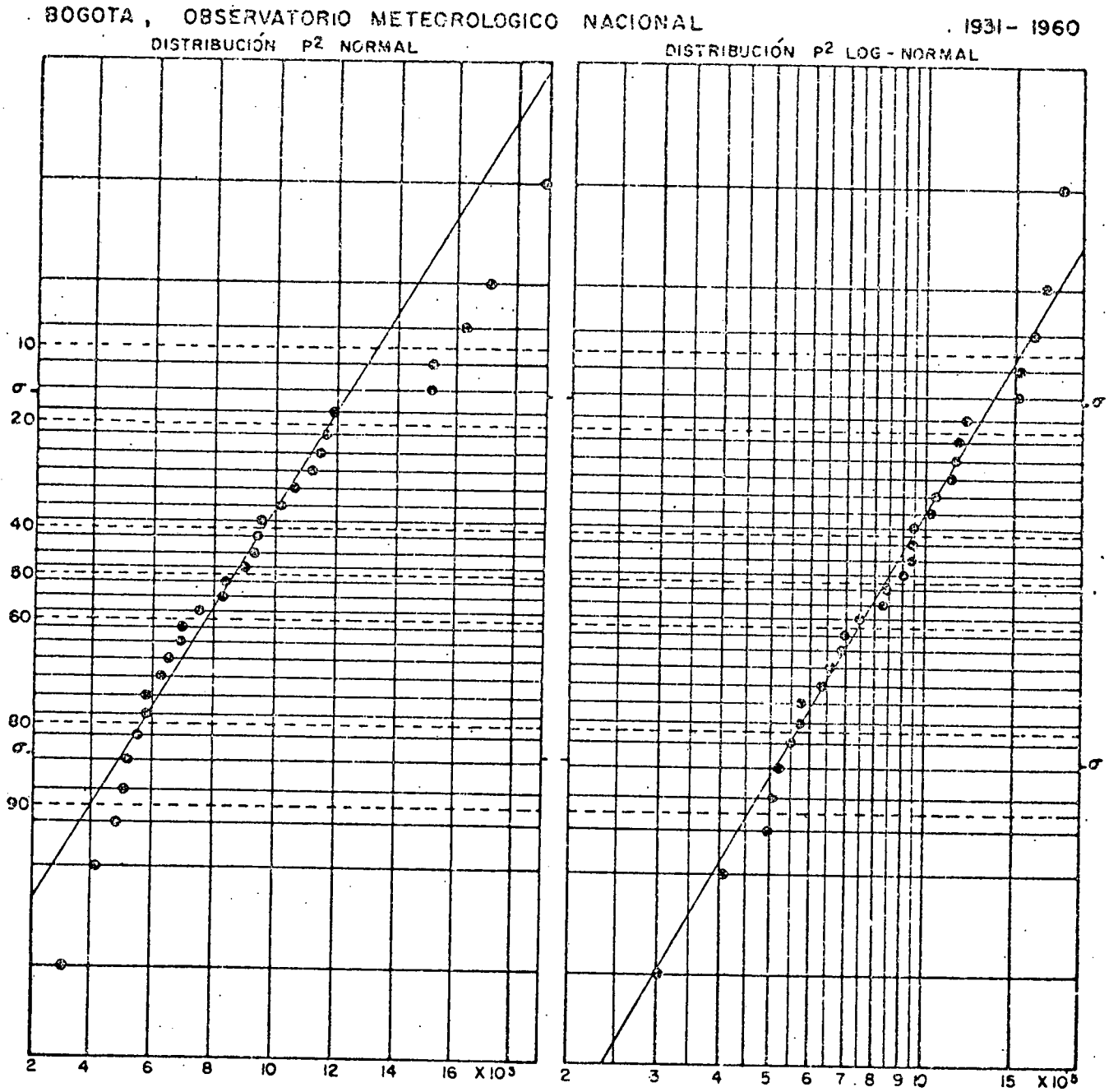


Figura 58c *Cálculo gráfico de la distribución P^2 normal de lluvia para Bogotá.*

Figura 58d *Cálculo gráfico de la distribución log P^2 normal de lluvia para Bogotá.*

BOGOTA, 1931 - 1960 OBSERVATORIO METEOROLOGICO NACIONAL													
Normal		Adapción	Log		Adapción	p² Normal		Adapción	p² Log		Adapción	Calc.	
β	σ		β	σ		β	σ		β	σ		β	σ
935	220	±	910	210	+	941	200	−	917	215	+	941	208

Figura 59 Comparación entre los diversos métodos de la distribución de lluvia.

Aparte de las diferencias que existen entre cada una de las estimaciones gráficas y los valores calculados, tenemos razones para pensar que la línea de mejor ajuste no da siempre los resultados más próximos a los valores calculados (figura59). Este ejemplo ilustra que cualquier método tiene sus restricciones y por tanto el usuario debe siempre conocer las limitaciones en lo que se refiere a su aplicabilidad y precisión.

4.4 Períodos más cortos

4.4.1 Introducción

Al ir de norte a sur en el área que estudiamos, el régimen de lluvia cambia de bimodal a monomodal en cierta zona situada al sur del ecuador. Si continuamos más hacia el sur, la longitud efectiva de la estación queda reducida frecuentemente a sólo 4 ó 5 meses. Es evidente la gran importancia que tiene para la planificación de las faenas agrícolas el conocer qué variación puede ocurrir al principio y al final de la estación, así como cuáles son las cantidades probables de lluvia que se recibirán durante determinadas fechas de esta estación de lluvias.

En el primer caso, los datos mensuales de lluvia disponibles pueden ser utilizados para calcular las probabilidades y la variabilidad con dos fines: deducir la longitud prevista de la estación lluviosa cuando se conoce la cantidad de lluvia que necesita determinado cultivo, y estimar la lluvia máxima con objeto de ajustarla con la demanda máxima de agua del cultivo, generalmente en la época de floración o inmediatamente antes.

4.4.2 Longitud de la estación de crecimiento

En el área objeto de nuestra encuesta sólo se publican en realidad datos mensuales de lluvia en forma de series largas aptas para su análisis.

Con objeto de comparar entre ciertas estaciones la duración relativa de la estación de crecimiento y la ocurrencia de meses con lluvia máxima, nos hemos referido a varias publicaciones de Trojer. Este autor ha expresado la lluvia media mensual como porcentaje de los valores medios anuales de determinadas zonas de América Latina, incluida la andina (Trojer, 1954-1959).

Utilizando este sistema podemos establecer un límite inferior de la lluvia media anual en ciertas áreas y para determinados fines. Siempre que la lluvia anual esté por encima de dicho límite, podemos evaluar inmediatamente, mediante la representación en tantos por ciento, la longitud de la estación incluidos los meses en los que la precipitación alcanza determinado porcentaje del valor anual.

En la tabla 71 se expresa la precipitación media mensual como porcentaje de los valores anuales de las 69 estaciones de referencia.

Las cantidades mensuales se pueden estimar con cierta probabilidad, para obtener la longitud prevista de la estación de crecimiento durante la cual está garantizada una cantidad mínima de lluvia.

Como hemos explicado antes, cuando las cantidades de lluvia en diferentes períodos son independientes, podemos multiplicar las probabilidades con el fin de llegar a establecer la probabilidad en todo el período.

Sin embargo, las investigaciones realizadas con datos adecuados han demostrado que las cantidades reales en períodos más cortos no son independientes. Por ejemplo, se observa con frecuencia que en las zonas que tienen distinta estación lluviosa la lluvia en el mes que tiene mayor precipitación media está relacionada con la lluvia total de la estación. Los meses que siguen al que tiene la mayor precipitación son pues menos independientes a medida que se aproximan al final de la estación. Esta información, interpretada debidamente, puede ser de utilidad para estimar la longitud efectiva de la estación de crecimiento en función de la lluvia. Podemos calcular después las probabilidades mensuales y compararlas con la longitud total de la estación de crecimiento, para la cual se pueden calcular fácilmente las cantidades probables considerándola en su totalidad.

En la región situada al sur de 2° S aproximadamente, que tiene una clara estación lluviosa, los valores estacionales son efectivamente iguales a las cantidades anuales siempre que el año se considere desde julio a junio; en algunos casos han de despreciarse las pequeñas cantidades de lluvia que se producen en mayo, junio, julio, agosto y septiembre.

El conocer los datos que se esperan al principio de la estación de lluvias es casi tan importante como saber cuál será la longitud de la estación. Generalmente el principio de la estación quedará definido por la probabilidad de que se reciba determinada cantidad (mínima) de lluvia, por ejemplo 20 mm en 10 días o la mitad de la evapotranspiración potencial calculada para dicho mes.

4.4.3 Variabilidad de la lluvia y estimación de las cantidades probables en períodos más cortos

El análisis de la variabilidad y probabilidad de determinadas cantidades se realiza de manera análoga al de las cantidades anuales.

La variabilidad de la lluvia cambia rápidamente cuando decrecen las cantidades de lluvia. En la figura 60 se representan los coeficientes de variabilidad ($\sigma/\bar{p}$) mes por mes en función de $\bar{p}$, correspondientes a 5 emplazamientos en Bolivia y 4 en Ecuador, a altitudes comprendidas entre 1300 y 3800 m. Las estaciones del Ecuador están situadas en diferentes regímenes de lluvia y en los gráficos no se incluyen los meses cuyos datos contienen ceros. De todos modos parece haber cierta consecuencia en la variabilidad.

Se ve que por debajo de un valor medio de unos 70 mm de lluvia se obtiene una desviación típica de unos 35 mm ($\sigma/\bar{p} = 0.50$). Esto significa una probabilidad de 68% de que se reciba una cantidad comprendida entre 35 y 105 mm de lluvia. Cuando las cantidades medias decrecen más, el cociente $\sigma/\bar{p}$ aumenta rápidamente hasta 0.80 y en ese momento la información obtenida ya no tiene mucha utilidad.

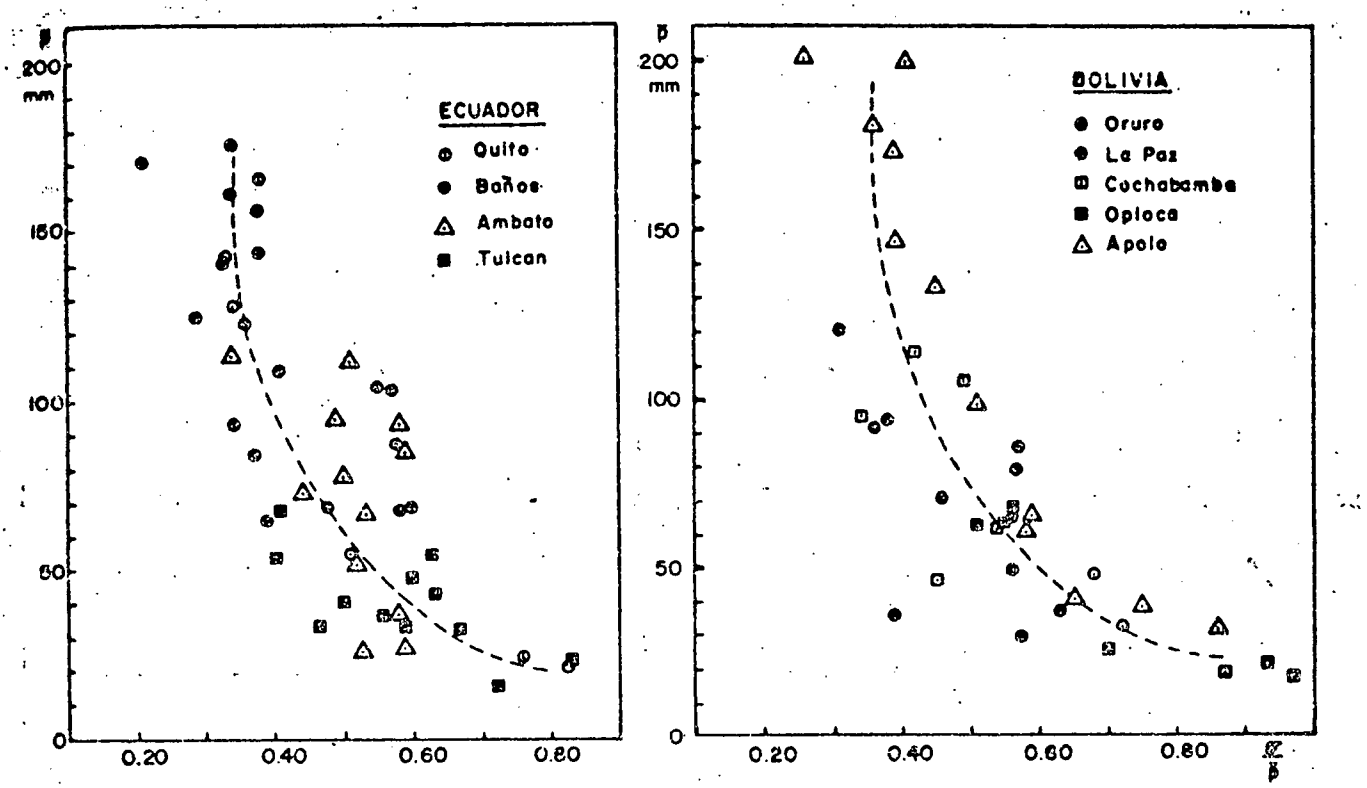


Figura 60 *Coeficientes de variabilidad en función de precipitación media.*

Los diagramas como el que ahora presentamos fundados en los valores mensuales y el antes expuesto a partir de valores anuales (figura 56) pueden pues ser utilizados para evaluar la variabilidad probable en un lugar en que el régimen sea el mismo, y con respecto al cual sólo se dispone de datos para calcular una media de por ejemplo 10 años dentro de cierto período.

Inversamente, podemos representar gráficamente y de manera directa las cantidades probables mes por mes. En estas condiciones, cuando las desviaciones típicas de las cantidades aproximadamente iguales recibidas en distintos meses son análogas y relativamente bajas, podemos también representar gráficamente los valores medios en función de cantidades probables tales como por ejemplo 20% y 80%. Tendremos así como resultado 2 series de puntos a través de los cuales se pueden trazar rectas que nos darán una estimación razonable de la cantidad probable correspondiente a cualquier valor medio (figura 61, valores anuales de Bolivia y mensuales de Huancayo).

4.4.4 Estimación de la lluvia máxima

La estimación de la lluvia máxima durante la estación es algunas veces importante para planificar las actividades agrícolas. En la región montañosa del norte, donde existe una distribución bimodal o un tipo transitorio de lluvia, la lluvia máxima no está muy concentrada en un solo mes y por consiguiente la extensión de la estación lluviosa es mucho mayor que la que se observa en la parte meridional de la región objeto de la encuesta. Se deduce pues que la ocurrencia real de una cantidad

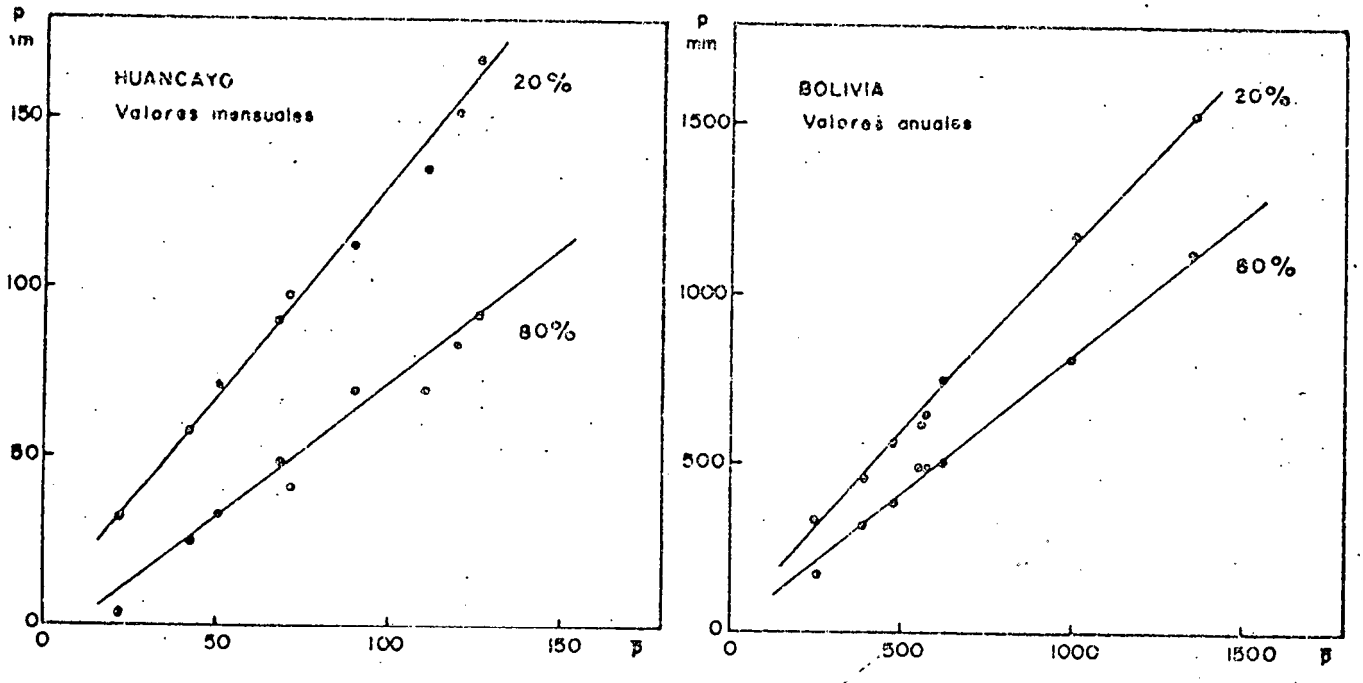


Figura 61 Diagramas de probabilidad de lluvia para Huancayo y Bolivia.

de lluvia puede diferir mucho de la situación media, como puede verse en los balances hídricos de Izobamba correspondientes a 1967, 1971 y a su valor medio en general (figura 62). Sin embargo las diferencias en este caso no son tan grandes como para que se produzca escasez grave de agua, sobre todo si tenemos en cuenta que una modesta capacidad de almacenamiento de agua subterránea es ya suficiente para suavizar estas fluctuaciones.

En las regiones montañosas meridionales, donde existe una sola y bien marcada estación de lluvias, cuando se retrasa un mes o incluso sólo 2 o 3 semanas la aparición de una cantidad máxima de lluvia, se pueden producir graves problemas ya que puede ocurrir que todavía no se haya efectuado almacenamiento de agua subterránea. Sin embargo, en lo que se refiere a la mayoría de las estaciones de observación de esta región, no existe una clara relación entre la precipitación en enero, que es generalmente la mayor, y la precipitación estacional. Tampoco hay una clara relación entre las precipitaciones de enero o febrero y el valor estacional de distintas estaciones de observación en el mismo año.

El valor medio de la lluvia máxima puede ser fácilmente estimado a partir de las tablas de la distribución, en tantos por ciento, de la precipitación en las estaciones de referencia.

4.4.5 Períodos inferiores a un mes

En las actividades agrícolas un período de un mes resulta generalmente demasiado largo para efectos de planificación. Por consiguiente conviene analizar la lluvia en períodos más cortos tales como décadas, semanas o péntadas. Por otra parte, se debe tener presente que al acortar estos períodos, aumenta al número de años necesario para hacer un análisis seguro y también toda clase de irregularidades, que ya no están suavizadas.

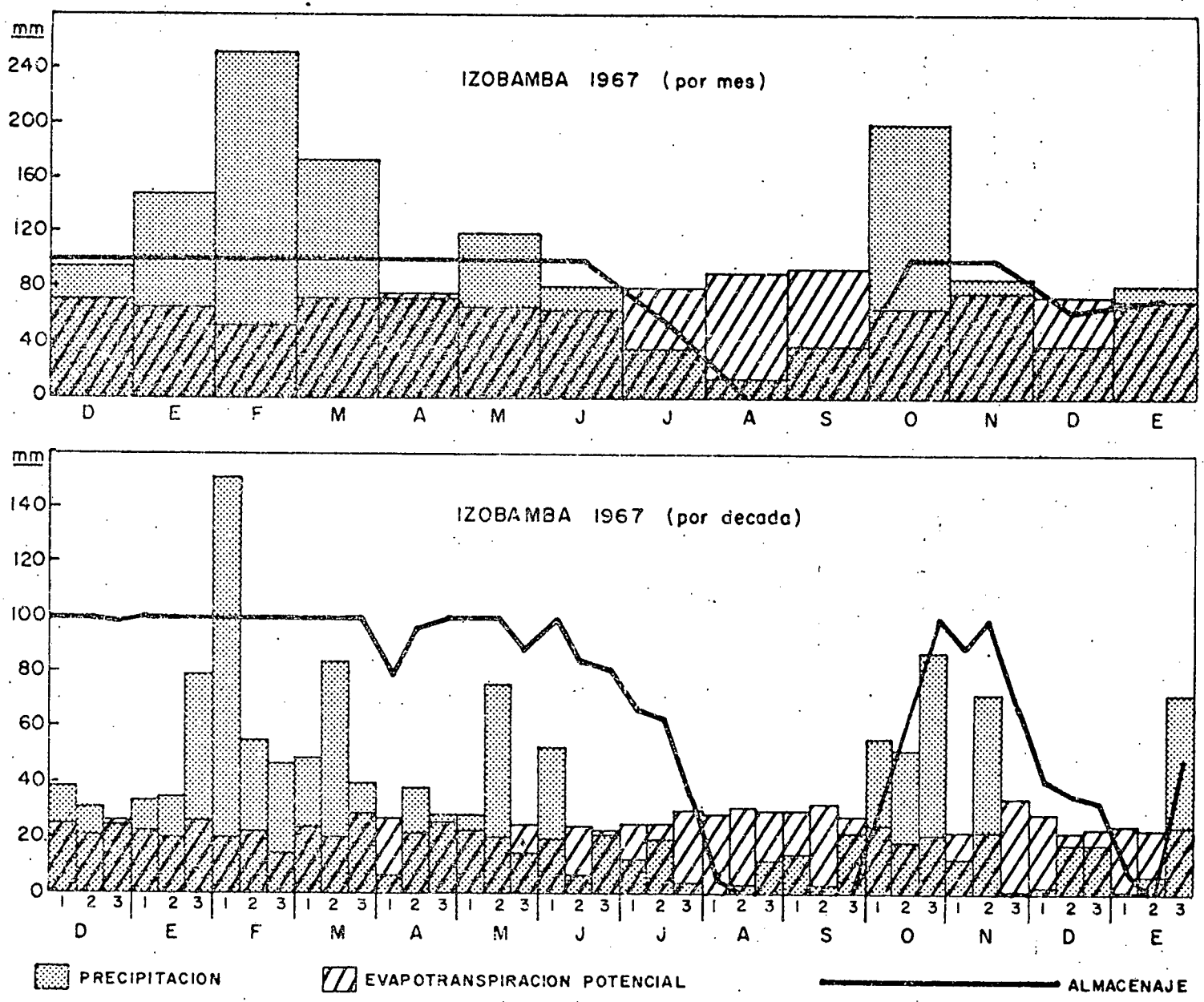


Figura 62 *Balances hídricos para Izobamba, valores por mes y por década.*

Ocasionalmente la presencia de fuertes chubascos puede influir marcadamente en el valor medio, aunque este hecho no es proporcional a la frecuencia de ocurrencia de dichos chubascos. El resultado es que la variabilidad aumenta fuertemente lo cual hace que los valores medios tengan una utilidad bastante limitada.

Cuando necesitamos evaluar el balance hídrico de un solo año, aumentará considerablemente la precisión obtenida utilizando décadas en vez de valores mensuales. En la figura 62 se da un ejemplo del año 1967, relativamente seco, en Izobamba (balances hídricos).

Los métodos utilizados para analizar la lluvia durante períodos más cortos es el mismo que se describe para la lluvia anual y mensual. Sin embargo, incluso en los meses más húmedos, aparecerán ceros en las series y en mayor número a medida que el período sea más corto. Con el fin de obtener resultados seguros es preciso incrementar la longitud de las series de datos y en ese caso ya no sirven los métodos sencillos descritos anteriormente. Es preciso entonces utilizar funciones teóricas tal como la función gamma incompleta.

4.4.6 Períodos húmedos y sequías

La lluvia puede concentrarse en determinado período dentro de un mes, creando así uno o varios períodos más secos en las partes restantes del mes. No es preciso insistir en la importancia que las consecuencias de este hecho tienen al principio de la estación lluviosa y especialmente en la parte meridional de la región objeto de la encuesta, en donde normalmente no queda agua en el suelo procedente de la estación anterior. En las montañas peruanas y bolivianas puede no producirse suficiente almacenamiento de agua subterránea incluso durante el mes más húmedo, que permita compensar una sequía de cierta longitud sin que se vea afectado el crecimiento de los cultivos.

Como el proceso de lluvia tiene cierta persistencia, el hecho de que llueva o no en determinado día influirá hasta cierto punto en la probabilidad de lluvia del día siguiente. Este hecho influye pues en la alternancia de los días húmedos y secos y en el número de días sucesivos húmedos o secos.

En el ejemplo siguiente se indican las probabilidades de los días secos, habiéndose definido estos días, para los efectos de nuestro estudio, como aquellos en que se ha registrado 1 mm o menos de lluvia. Debe entenderse que todos los comentarios se aplican también, con las correcciones oportunas, a los períodos húmedos. Se dedica atención a los períodos que se prolongan dentro del mes anterior o subsiguiente, atribuyendo una importancia proporcional a los días que constituyen dichos períodos.

En primer lugar se indican las frecuencias de ocurrencia de sequías de 1, 2, 3, etc. días consecutivos en el mes de octubre en Huancayo (tabla 63), junto con el número medio de días que constituyen cada período seco y la probabilidad de ocurrencia de todas las sequías en octubre.

Longitud de la sequía en días	Frecuencia media	Número medio de días de sequía	Probabilidad de que se produzca cada tipo de sequía
1	1.87	1.87	0.33
2	0.87	1.73	0.15
3	1.29	3.87	0.23
4	0.35	1.40	0.06
5	0.41	2.07	0.07
6	0.30	1.80	0.05
7	0.18	1.27	0.03
8	0.20	1.60	0.03
9	0.07	0.60	0.01
10	0.07	0.67	0.01
11	0.05	0.60	0.01
12	-	-	-
13	-	-	-
14	0.06	0.87	0.01
			0.99

Tabla 63 Frecuencias de ocurrencia de sequías en octubre en Huancayo.

Conviene observar las frecuencias relativamente altas de los períodos de sequía de 1, 3 y 5 días de duración, aunque aquí, desde luego, sólo se da la frecuencia media. Con respecto a estos períodos cortos de sequía es interesante conocer la variación de ocurrencia.

En la próxima tabla se dan las frecuencias relativas al número de ocurrencias de sequías de 1, 2 y 3 días de duración durante el mes de octubre. Las sequías de 4 o más días se producen prácticamente sólo una vez al mes o nunca. La probabilidad de que se produzcan 2 sequías de 4, 5 o 6 días de duración en el mismo mes es de aproximadamente 5%.

Sequías de 1 día		Sequías de 2 días		Sequías de 3 días	
No. de sequías	Frec.	No. de sequías	Frec.	No. de sequías	Frec.
0	0.13	0	0.40	0	0.33
1	0.20	1	0.33	1	0.20
2	0.40	2	0.27	2	0.27
3	0.20	3	-	3	0.20
4	0.07	4	-	4	-

Tabla 64 Frecuencias relativas de sequías en octubre en Huancayo.

Con las dos tablas anteriores podemos estimar razonablemente bien la probabilidad de que se produzca una sequía de determinada longitud en octubre, aunque debemos hacer al respecto dos comentarios. En primer lugar no se deduce de los datos que la frecuencia o longitud de una sequía esté relacionada con la precipitación real, aparte del hecho de que el número total de días secos (sequías de 1 día, es decir la inversa de días

lluviosos) esté moderadamente en relación con la precipitación total. En segundo lugar, parece que los días lluviosos tienden a concentrarse en ciertas partes del mes; por término medio casi el 50% de los días lluviosos se hallan entre el 15 y el 25 de octubre.

La persistencia antes mencionada, aunque no puede ser fácilmente cuantificada, no permite una distribución aleatoria de los días lluviosos, y por consiguiente de las sequías. Dentro de las limitaciones de los datos disponibles no es posible efectuar cálculos más precisos de la probabilidad de ocurrencia de determinada sequía.

Pensamos que es conveniente mencionar otro planteamiento que da la probabilidad de que se produzca un día seco, precedido de 1, 2, 3, etc., - días secos en la tabla 65 .

Esta tabla no es directamente comparable con la anterior que da las frecuencias de las sequías de longitud determinada. La mitad superior de la tabla sigue con bastante precisión la esperanza teórica; las frecuencias de sequías de 5 o más días son demasiado bajas para poder ser estimadas con precisión.

La probabilidad teórica de que se produzca un día seco al principio de una sequía de n días de duración se halla multiplicando las correspondientes probabilidades individuales.

Días secos	Probabilidades	
S	0.59	1.00
S/S	0.41	0.69
S/2S	0.29	0.49
S/3S	0.19	0.32
S/4S	0.14	0.24
S/5S	0.09	0.16
S/6S	0.06	0.11
S/7S	0.04	0.07
S/8S	0.03	0.04
S/9S	0.02	0.03

Huancayo, octubre. Probabilidades de ocurrencia de un día seco (S) después de 1 día seco (S/S), 2 días secos (S/2S), etc., expresadas respectivamente en % del número total de días y del número de días secos en el mes.

Tabla 65 Probabilidad de ocurrencia de días secos en octubre en Huancayo.

Este sistema permite desde luego obtener probabilidades de ocurrencia de cualquier combinación que se desee de días secos y naturalmente de días húmedos. Por ejemplo podemos desear saber la probabilidad de que se produzca un día húmedo a continuación de dos o tres días secos (H/2S, H/3S) y viceversa. En este caso se puede usar cualquier definición de día seco o día húmedo.

4.4.7 Años húmedos y secos

Los recientes acontecimientos que se ha producido en todo el mundo han demostrado que la aparición de dos ó tres años moderadamente secos consecutivos pueden ejercer una influencia mayor en la situación alimentaria que un solo año más seco. Para hacer un análisis sencillo con objeto de evaluar empíricamente la frecuencia de años secos consecutivos podemos utilizar medias móviles del período deseado y organizarlas en quintiles, como se indicó anteriormente.

En la tabla 66 figuran los quintiles de las medias móviles de dos años, correspondientes a las estaciones de Puno y Huancayo para una serie de 26 y 51 años respectivamente. Los valores medios de la precipitación son 615 y 730 mm. A partir de estos quintiles podemos ver que su distribución es análoga a la de los valores estacionales, y que la probabilidad de que haya dos años consecutivos por debajo de la media es aproximadamente la misma (50%) que la de un año.

	Puno		Huancayo	
	Medias móviles de 2 años	Valor Estacional	Medias móviles de 2 años	Valor Estacional
	880	990	825	890
I				
	790	755	795	815
II				
	615	620	750	755
III				
	525	530	725	710
IV				
	455	465	670	645
V				
	335	330	595	545
$\bar{p}$		615		730
m		585		735

Tabla 66 Quintiles de las medias móviles de dos años y de los valores estacionales.

4.5 Uso de las cantidades probables estimadas de lluvia

De los anteriores párrafos se deduce claramente que el uso de los datos medios de lluvia en agricultura tiene numerosas desventajas. Al aceptar cierto factor de riesgo fundado en consideraciones económicas o de otra índole, podemos evaluar la probabilidad deseada de suministro de agua para los cultivos y calcular las correspondientes cantidades. A partir de dicha cantidad de agua "optima" se puede deducir la lluvia, siempre que se disponga de una estimación del uso real cultivo-agua durante las distintas fases de crecimiento.

Como ya se dijo en los correspondientes capítulos que tratan del balance hídrico, sólo expondremos aquí los valores mensuales, ya que en un estudio de este tipo no se conocen suficientemente otras necesidades específicas que permitan calcular los valores para un decenio.

Las cantidades probables calculadas se pueden presentar de varias formas, según el uso que ha de hacerse de ellas. En la figura 67 se presenta un gráfico en el cual pueden leerse fácilmente el curso durante el año de las cantidades probables en un 10, 20, 50, 80 y 90%. Esta lectura se hace de modo análogo al aplicado a la publicación no. 6 del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Ecuador (1970).

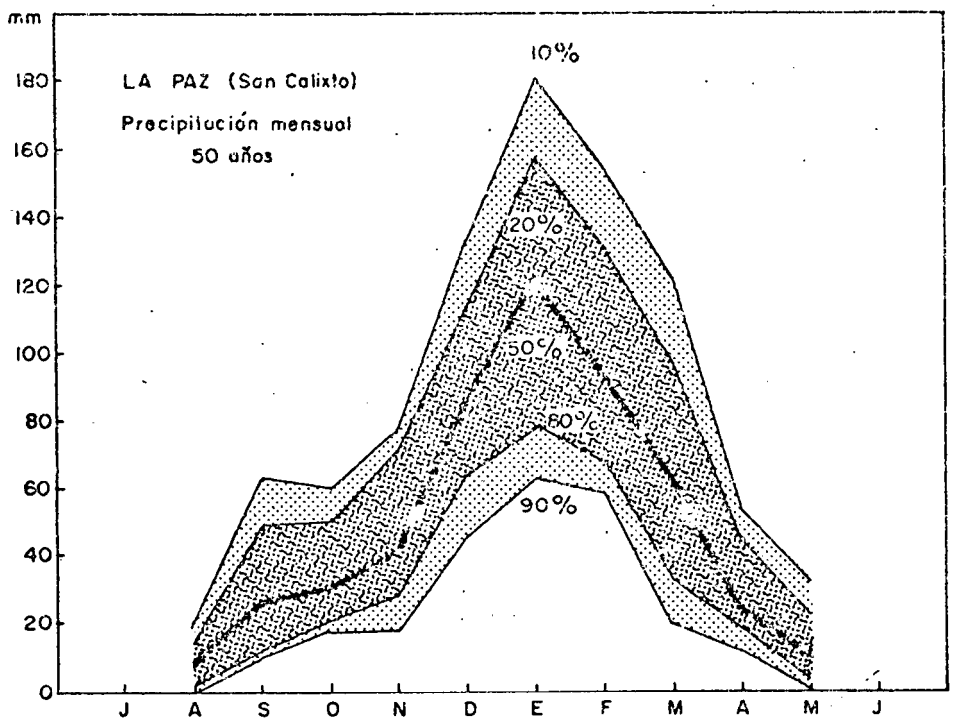


Figura 67 Cantidades probables de lluvia en La Paz.

Otro modo de presentación es en forma de tablas de acuerdo con las cantidades especificadas (figura 68) o con las probabilidades especificadas (figura 69).

Se han preparado, para mayor comodidad, tablas del mayor número posible de estaciones de referencia, en las que se da la lluvia probable en un 80%, calculada o estimada (valores excedidos 4 años de cada 5)(figura 72).

Estas tablas incluyen también los valores anuales para la desviación promedio (σ) y el coeficiente de variabilidad ($\sigma/\bar{p}$). Por razones prácticas (registros faltantes, etc.) no siempre fue posible utilizar los mismos períodos, como para la precipitación pluvial media tal como está presentada en la tabla 70.

Para identificar las diferencias eventuales, que son importantes sólo en unos pocos casos, se indican los dos valores para $\bar{p}$, así como el número de años sobre los cuales se extienden los datos. En general, la información presentada para series menores de 20 años se debe considerar sólo como indicativa.

Se comprende que en ciertos casos no existen series suficientemente largas de datos de lluvia que permitan analizar su variabilidad anual. Cuando hay estaciones relativamente cercanas y adecuadas, con datos de buena calidad, podemos en algunos casos utilizar estimaciones de probabilidad referentes a dichas estaciones (véase Rainbird, 1967). Es importante comparar para este fin no sólo las estaciones situadas en las mismas condiciones de emplazamiento (altitud, exposición) y de lluvia media. Se pueden observar diferencias de lluvia media en casos de exposición similar de las estaciones, pero cuando la serie de años más húmedos y más secos es similar podemos transferir los valores calculados de $\sigma/\bar{p}$. Para los años que son comunes a ambas estaciones podemos evaluar, con ayuda de la correlación por rangos o del análisis de doble masa, sus similitudes en lo que respecta a la lluvia anual o estacional.

Cuando se comparan las cantidades al nivel de 80% de probabilidad con la precipitación media, no parece existir una relación constante. Del hecho de que $\sigma/\bar{p}$ aumente cuando $\bar{p}$ disminuye, se sigue que $P80/\bar{p}$ también disminuye en este caso. La zona considerada es claramente no homogénea

HUANCAYO, INST. GEOF. 1931 – 1960										
Nivel mm.	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200
J	0.10									
A	0.18									
S	0.84	0.50	0.18	0.03						
O	0.97	0.91	0.58	0.35	0.03					
N	0.97	0.82	0.55	0.37	0.18	0.07	0.04			
D	0.94	0.94	0.89	0.55	0.34	0.17	0.08			
E	0.97	0.97	0.97	0.92	0.74	0.48	0.33	0.24	0.13	
F	0.97	0.97	0.97	0.83	0.66	0.45	0.25	0.15	0.13	
M	0.97	0.88	0.91	0.68	0.56	0.38	0.19	0.15	0.13	0.07
A	0.92	0.69	0.30	0.12	0.04					
M	0.44	0.14	0.07							
J	0.11									
Nivel		600	650	700	750	800	850			
AÑO		0.95	0.79	0.61	0.35	0.26	0.09			

Tabla 68 *Probabilidades para cantidades de lluvia especificadas en Huancayo.*

HUANCAYO, INST. GEOF. 1931 – 1960						
F = 0.90		0.80	0.60	0.40	0.20	0.10
J	—	—	—	3	12	17
A	—	—	6	9	19	22
S	22	25	38	45	58	68
O	42	49	58	75	91	95
N	35	42	58	78	98	111
D	81	70	79	81	113	133
E	84	92	108	133	168	183
F	76	84	113	120	152	184
M	63	70	96	114	135	187
A	28	33	43	52	72	82
M	2	4	6	25	32	42
J	—	—	6	10	12	20
AÑO	622	650	702	737	813	838

Tabla 69 *Cantidades de lluvia con probabilidades especificadas para Huancayo.*

en este aspecto, y no se puede tomar simplemente determinado porcentaje de la precipitación media como una estimación de la precipitación pluvial con un 80% de probabilidad.

Sin embargo, zonas relativamente llanas y más bien extensas pueden mostrar una relación constante. Por ejemplo, en amplias partes de Tanzania la precipitación con un 80% de probabilidad se estima a veces tomando 82% del promedio para valores mensuales, que es aproximadamente igual a $\bar{p} - \sigma$ (Woodhead, inf. pers.).

Puede concluirse que las montañas andinas se pueden dividir en dos partes también en lo referente a la precipitación. La parte ecuatorial septentrional muestra un modelo bimodal más o menos pronunciado, con cantidades anuales generalmente superiores a 1000 mm. Este modelo está asociado con una variabilidad relativamente baja e intensidades moderadas.

Las montañas tropicales meridionales tienen una estación monomodal diferenciada y más bien corta, con una precipitación media entre 300 y 700 mm y de caracter e intensidad diferentes y más variables.

REFERENCIAS - PRECIPITACION

Barger, G.L. and Thom, H.C.S. 1949 — A method for characterizing drought intensity. Agronomy Journal 41, no.1

Barger, G.L. and Thom, H.C.S. 1949 — Evaluation of drought hazard. Agronomy Journal 41 no.11

Barger, G.L. et al 1959 — Gamma distribution parameters for 2 and 3 week precipitation totals. Iowa University

Griffiths, J.F. 1958 — An initial investigation of the annual rainfall in East Africa. East African Met. Dept. Memoirs, Vol.III no.5

Griffiths, J.F. 1961 — Some rainfall relationships in East Africa. Inter-African Conference on Hydrology. CCTA, Nairobi

Griffiths, J.F. 1962 — Bioclimatology and the meteorological services, in D.J. Bargman ed. Tropical Meteorology in Africa. Nairobi, Munitalp Foundation

Griffiths, J.F. and Hemming, C.F. 1963 — A rainfall map of eastern Africa and Southern Arabia. East African Met. Dept. Memoirs, Vol.II, no.10

Manning, H.L. 1950 — Confidence limits of expected monthly rainfall. J. Agric. Sc. Vol.40, 1 y 2

Manning, H.L. 1955 — The statistical assessment of rainfall probability and its application in Uganda agriculture. Proc. Roy. Soc. B 144, 460

Niewolt, S. 1972 — Rainfall variability in Zambia. J. Trop. Geogr. 34, 44

Niewolt, S. 1973 — Normales climatológicas (Clino) de las estaciones que emiten mensajes CLIMAT y CLIMAT SHIP para el período 1931-1960. OMM No.117, TP 52

Peck, F.L. and Brown, M.J. 1962 — An approach to the development of isohyetal maps for mountainous areas. J. Geoph. Res. 67, no.2, 681

Rainbird, A.F. 1970 — Methods of estimating areal average precipitation. WMO/IHD Project Report no. 3

Rumby, G.B. 1965 — An investigation of the distirbution of rainfall with elevation for selected stations in Ecuador. Texas A and M University, Dept. of Ocean. and Meteorol.

Servicio Nat. Met. e Hidrol. Ecuador 1970 — Publicación no.6

Spreen, W.C. 1947	Determination of the effect of topography upon precipitation. Trans. Am. Geoph. Union, 285
Stidd, C.K. 1953	Cube root normal precipitation distributions. EOS Transactions Am. Geoph. Union 34 (1), p.31-35
Stidd, C.K. 1968	A three parameter distribution for precipitation data. Proceedings First Statistical Meteorological Conference. pp.158-162 Am. Met. Soc. Hartford, Conn.
Stidd, C.K. 1970	The nth root normal distribution of precipitation. Water Resources Research 6 (4) pp.1095-1103
Stidd, C.K. 1973	Estimating the precipitation climate. Water Resources Research 9 (5) p.1235
Thom, H.C.S. 1958	A note on the gamma distribution. Monthly Weather Rev.86, no.4, 117
Thom, H.C.S. 1966	Some methods of climatological analysis. WMO Tech. Note no.81 (no.199, TP 103)
Trojer, H. 1954	El tiempo reinante en Colombia. Bol. Técnico Vol.II no.13 Fed. Nat. Cafeteros
Trojer, H. 1956	La investigación agroclimatológica para el cultivo del café en Colombia. Bol. Informativo, Vol.II, no.75 Fed. Nat. Cafeteros
Trojer, H. 1958	Meteorología y climatología de la vertiente del Pacífico Colombiano. Rev. Acad. Colomb. Ciencias Exactas, Físicas y Naturales 10 (40) 199
Trojer, H. 1959	Fundamentos para una zonificación meteorológica y climatológica del trópico. Cenicafé, Climchiná. Vol.10, 8, 289
Trojer, H. 1966	Algunas características agroclimatológicas del trópico americano. En: Reunión Intern. sobre problemas de la agricultura en los trópicos húmedos de América. Lima
Trojer, H. 1968a	Sistematización de características meteorológicas para la clasificación del trópico. En: Seminario sobre trópicos húmedos del Istmo Centramericano, IICA, Turrialba
Trojer, H. 1968b	The phenological equator for coffee planting in Colombia. Proc. First Symp. Agromet., Reading. Unesco Nat. Res. Res. Vol.III, Paris
Weisdiet, W. 1965	The tropical convectional and extra-tropical advectional type of precipitation. Erdkunde 19, band XIX, 6

PROMEDIO MENSUAL Y ANUAL DE LLUVIA

ESTACIONES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	AÑO
MUCUCHIES	4	10	14	69	101	100	103	87	72	73	58	7	676
MERIDA	49	35	42	165	256	173	120	122	183	242	190	91	1668
BAILADORES	20	18	17	118	97	76	35	43	44	94	84	29	675
BRAMON	42	48	48	124	137	178	160	123	100	144	146	78	1328
BLONAY CHINACOTA	47	72	51	298	167	151	82	81	144	226	251	122	1692
SALAZAR	98	132	102	380	292	172	82	138	277	115	499	300	2587
SAN VINCENTE	115	106	109	235	218	151	92	144	133	259	249	105	1918
MEDELLIN	41	46	78	159	182	130	109	130	132	177	114	67	1365
TUNGUAVITA	35	42	57	122	110	53	45	45	69	148	84	37	847
SONSON	57	93	123	208	239	217	165	159	216	255	267	135	2144
LIBANO	97	133	208	280	239	159	117	124	205	306	270	157	2295
CHINCHINA	138	141	195	285	283	208	154	167	175	316	276	200	2538
ANOLAIMA	83	83	82	167	151	88	51	48	100	198	144	114	1308
BOGOTA	51	50	69	100	105	57	47	41	52	144	138	85	939
CHAPETON IBAQUE	85	117	195	237	208	176	123	126	129	225	202	146	1969
USME	23	39	53	128	153	170	168	108	83	139	91	38	1193
TIBACUY	61	70	92	129	113	68	40	35	51	181	166	98	1124
SEVILLA	93	105	148	281	195	158	85	87	145	270	223	150	1940
PALMIRA	77	76	105	156	136	85	43	29	59	157	134	83	1140
MIRANDA	145	112	137	199	147	78	44	76	82	167	219	192	1600
LAURELES	78	88	122	103	108	89	75	94	86	181	216	47	1287
FLORIDA - POPAYAN	156	147	163	189	138	99	40	32	92	281	302	277	1916
PASTO - OBONUCO	53	59	64	93	56	54	26	30	33	106	112	101	790
TULCAN	71	69	80	94	76	50	23	26	37	102	111	94	833
IBARRA	46	49	63	110	73	41	8	14	27	72	75	50	628
QUITO	123	135	154	179	128	50	19	22	82	133	114	104	1243
IZOBAMBA	127	161	154	189	133	72	24	29	78	140	155	118	1396
LATACUNGA	33	47	54	66	40	31	13	11	18	55	55	40	465
AMBATO	40	43	51	62	50	35	21	21	28	50	49	35	485
PUYO	305	312	386	480	328	381	378	311	328	365	382	352	4268
RIO BAMBA	28	40	47	54	32	33	11	15	23	49	40	29	399
CAÑAR	49	63	67	60	31	38	19	18	29	48	45	35	511
CUENCA	72	78	85	101	66	52	22	20	51	114	96	80	823
S. ISABEL	52	60	113	79	39	15	5	4	14	14	13	35	443
LA ARGELIA LOJA	83	84	100	80	50	59	49	49	49	80	52	67	788

Tabla 70a Promedio mensual y anual de lluvia para las 69 estaciones de referencia.

PROMEDIO MENSUAL Y ANUAL DE LLUVIA													
ESTACIONES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	AÑO
HUANCABAMBA	33	40	41	18	26	14	11	7	14	39	44	30	319
CHACHAPOYAS	85	96	113	69	39	16	24	27	49	99	64	72	753
CAJAMARCA	96	86	102	86	30	6	5	10	27	91	77	77	693
HUARAZ	121	129	137	79	24	3	0	3	25	57	92	69	739
HUANUCO	53	59	52	20	11	5	4	9	20	46	47	52	377
LAMPAS BAJO N. 3	100	137	164	75	20	3	3	3	16	67	69	75	732
CERRO DE PASCO	117	144	146	83	40	8	18	27	56	94	104	126	963
SAN RAMON	266	244	250	198	104	63	77	34	144	183	129	225	1958
LA OROYA	77	83	80	45	23	5	9	22	34	54	60	75	567
HUANCAYO	126	107	113	52	28	3	9	19	48	71	66	98	739
QUILLABAMBA	137	142	162	64	21	17	25	25	50	88	95	133	959
HUAMANGA	110	113	106	29	11	6	6	10	26	44	40	89	590
CUZCO - KAYRA	139	130	112	36	9	1	7	7	29	48	68	132	718
ABANCAY	100	115	126	30	10	3	7	6	17	47	48	58	567
CHUQUIBAMBILLA	140	136	131	51	16	1	4	2	25	47	71	154	778
CAYLLOMA	133	164	133	42	9	5	2	6	15	27	28	105	669
CUENCA RIO VERDE	141	136	130	37	19	1	3	3	23	40	59	140	731
PUNO (GR. SALC.)	120	135	134	37	14	1	3	4	30	36	53	121	687
AREQUIPA	28	25	8	0	1	0	0	0	2	0	1	3	68
DESAGUADERO	125	132	95	29	13	4	4	6	22	18	41	119	607
PAUCARANI	67	78	72	4	1	1	0	0	2	3	25	58	311
EL BELEN	89	79	59	31	30	1	5	12	29	31	52	97	515
CHULUMANI	171	223	141	56	38	17	20	58	97	99	117	188	1225
LA PAZ (C.)	121	93	64	29	12	6	6	11	37	35	50	91	555
PATACAMAYA	88	69	47	15	8	2	1	9	37	18	33	76	403
COCHABAMBA	114	105	61	17	6	2	2	5	7	18	46	95	478
TOTORA	143	133	84	26	4	4	3	6	6	24	64	110	607
ORURO	85	79	48	15	8	4	3	9	21	17	32	70	389
TACAGUA	66	72	62	10	4	3	1	2	25	7	26	73	351
SUCRE	150	122	65	23	7	2	3	7	29	32	63	112	615
PADILLA	134	119	80	28	11	4	5	8	26	55	75	124	669
PUNA	87	90	58	22	7	1	0	4	17	18	76	88	468
OPLOCA	68	63	25	3	0	0	0	0	2	2	21	62	246
VILLAZON	72	64	41	10	1	0	0	0	4	11	22	102	327

Tabla 70b *Promedio mensual y anual de lluvia para las 69 estaciones de referencia.*

PRECIPITACION MENSUAL EN % DE TOTAL ANUAL

ESTACIONES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	AÑO
MUCUCHIES	1	1	2	10	15	15	15	13	11	11	5	1	676
MERIDA	3	2	3	10	15	10	7	7	11	15	11	5	1668
BAILADORES	3	3	3	17	14	11	5	6	7	14	12	4	675
BRAMON	3	4	4	9	10	13	12	9	8	11	11	6	1326
BLONAY CHINACOTA	3	4	3	18	10	9	5	5	9	13	15	7	1692
SALAZAR	4	5	4	15	11	7	3	5	11	4	19	12	2587
SAN VINCENTE	6	6	6	12	11	8	5	8	7	14	13	5	1916
MEDELLIN	3	3	6	12	13	10	8	10	10	13	8	5	1365
TUNGUAVITA	4	5	7	14	13	6	5	5	8	17	10	4	847
SONSON	3	4	6	10	11	10	8	8	10	12	12	6	2144
LIBANO	4	6	9	12	10	7	5	5	9	13	12	7	2295
CHINCHINA	5	6	8	11	11	8	6	7	7	12	11	8	2538
ANOLAIMA	6	6	6	13	12	7	4	4	8	15	11	9	1308
BOGOTA	5	5	7	11	11	6	5	4	6	15	15	9	939
CHAPETON IBAQUE	3	6	10	12	11	9	6	6	7	11	10	7	1969
USME	2	3	4	11	13	14	14	9	7	12	8	3	1193
TIBACUY	5	6	8	11	10	6	4	3	5	16	17	9	1124
SEVILLA	5	5	8	14	10	8	4	3	7	14	11	8	1940
PALMIRA	7	7	9	14	12	7	4	3	5	14	12	7	1140
MIRANDA	9	7	9	12	9	5	3	5	5	10	14	12	1600
LAURELES	6	7	9	8	8	7	6	7	7	14	17	4	1287
FLORIDA - POPAYAN	8	8	9	10	7	5	2	2	5	15	16	14	1916
PASTO OBONUCO	7	7	8	12	7	7	4	4	4	13	14	13	790
TULCAN	9	8	10	11	9	6	3	3	4	12	13	11	833
IBARRA	7	8	10	18	12	7	1	2	4	11	12	8	628
QUITO	10	11	12	14	10	4	2	2	7	11	9	8	1243
IZOBAMBA	9	12	12	14	10	5	2	2	6	10	11	8	1396
LATACUNGA	7	10	12	15	9	7	3	2	4	12	12	9	465
AMBATO	8	9	11	13	10	7	4	4	6	10	10	7	485
PUYO	7	7	9	11	8	9	9	7	8	9	8	8	4268
RIOBAMBA	7	10	12	14	8	8	3	4	6	12	10	7	399
CAÑAR	10	12	13	13	6	3	4	4	6	9	9	7	511
CUENCA	9	9	10	12	8	6	3	2	6	14	12	8	823
SANTA ISABEL	12	14	26	16	5	3	1	1	3	3	3	8	443
LA ARGELIA LOJA	11	11	13	11	6	7	6	6	6	8	7	9	786

Tabla 71a *Precipitación mensual expresada en porcientos del total anual.*

PRECIPITACION MENSUAL EN % DE TOTAL ANUAL													
ESTACIONES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	AÑO
HUANCABAMBA	10	13	13	6	9	4	3	2	4	12	14	9	319
CHACHAPOYAS	11	13	15	9	5	2	3	4	7	13	8	10	753
CAJAMARCA	14	12	15	12	4	1	1	1	4	13	11	11	693
HUARAZ	16	17	19	11	3	0	0	0	3	8	12	9	739
HUANUCO	14	16	14	5	3	1	1	2	5	12	12	14	377
LAMPAS BAJO NO. 3	14	19	22	10	3	0	0	0	2	9	9	10	732
CERRO DE PASCO	12	15	15	9	4	1	2	3	6	10	11	13	963
SAN RAMON	14	12	13	10	5	3	4	2	7	9	7	12	1956
LA OROYA	14	15	14	8	4	1	2	4	6	10	11	13	567
HUANCAYO	17	14	15	7	4	0	1	3	6	10	9	13	739
QUILLABAMBA	14	15	17	7	2	2	3	3	5	9	10	14	955
HUAMANGA	19	19	18	5	2	1	1	2	4	7	7	15	590
CUZCO - KAYRA	19	16	16	5	1	0	1	1	4	7	9	18	716
ABANCAY	18	20	22	5	2	1	1	1	3	8	8	10	567
CHUQUISAMBILLA	13	18	17	7	2	0	1	0	3	6	9	20	776
CAYLLOMA	20	25	20	6	1	1	0	1	2	4	4	16	669
CUENCA DE RIO VERDE	19	19	18	5	3	0	0	0	3	5	8	19	731
PUNO (GR. SALC.)	17	20	20	5	2	0	0	1	4	5	8	18	687
AREQUIPA	41	37	12	0	1	0	0	0	3	0	1	4	58
DESAGUADERO	21	22	16	5	2	1	1	1	4	3	7	20	607
PAUCARANI	22	25	23	1	0	0	0	0	1	1	8	19	311
EL BELEN	17	15	11	6	6	0	1	2	6	6	10	19	515
CHULUMANI	14	18	12	5	3	1	2	5	8	6	10	15	1225
LA PAZ	22	17	12	5	2	1	1	2	7	6	9	16	555
PATACAMAYA	22	17	12	4	2	0	0	2	9	4	8	19	403
COCHABAMBA	24	22	13	4	1	0	0	1	1	4	10	20	478
TOTORA	24	22	14	4	1	1	0	1	1	4	11	18	607
ORURO	22	20	12	4	2	1	1	2	5	4	8	18	389
TACAGUA	19	21	18	3	1	1	0	1	7	2	7	21	351
SUCRE	24	20	11	4	1	0	0	1	5	5	10	18	615
PADILLA	20	18	12	4	2	0	0	1	4	8	11	19	669
PUNA	19	19	12	5	1	0	0	1	4	4	16	19	468
OPLOCA	28	26	10	1	0	0	0	0	1	1	9	25	246
VILLAZON	22	20	13	3	0	0	0	0	1	3	7	31	327

Tabla 71b *Precipitación mensual expresada en porcientos del total anual.*

PRECIPITACION MENSUAL Y ANUAL CON 80% PROBABILIDAD

ESTACIONES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	AÑO	$\bar{P}$	$\bar{P}$ REF.	σ	$\sigma/\bar{P}$	NO. DE AÑOS
MUCUCHIES	0	1	2	34	74	69	74	58	56	45	19	0	573	675	676	112	0.17	20
BRAMON	14	15	23	57	83	101	99	94	63	78	57	19	971	1179	1326	233	0.20	25
BLONAY CHINACOTA	18	14	19	72	132	73	62	63	72	130	121	43	1275	1589	1692	303	0.19	30
SALAZAR	32	61	24	101	198	42	29	48	120	301	335	141	2303	2811	2587	539	0.19	15
SAN VINCENTE	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	1700	1946	1916	258	0.13	12
MEDELLIN	22	42	50	129	134	95	60	79	113	154	102	42	1341	1563	1365	217	0.14	25
TUNCUAVITA	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	750	847	847	110	0.13	7
SONSON	42	67	108	146	133	94	85	122	152	192	165	86	1804	2106	2144	512	0.24	15
LIBANO	37	79	118	203	181	82	46	89	157	220	151	103	1965	2311	2295	364	0.16	20
CHINCHINA	80	75	145	205	210	160	95	120	95	255	200	155	2202	2528	2538	335	0.13	30
ANOLAIMA	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	1080	1295	1308	236	0.18	10
BOGOTA	14	22	35	61	64	31	33	25	26	97	75	40	777	956	959	190	0.20	30
CHAPETON - IBAQUE	64	51	123	185	146	74	34	64	90	156	125	93	1694	1945	1969	341	0.18	15
TISACUY	21	31	35	77	70	32	17	20	21	119	116	49	981	1119	1124	182	0.16	15
SEVILLA	38	50	95	165	118	113	46	47	97	163	152	91	1744	1919	1940	297	0.15	15
PALMIRA	35	30	50	75	80	30	5	5	30	90	60	40	775	1000	1140	226	0.20	30
FLORIDA - POPAYAN	101	97	102	109	93	45	16	10	47	238	272	203	1786	2031	1916	276	0.14	20
PASTO OBONUCO	25	25	40	55	25	35	15	15	15	75	55	50	650	791	790	160	0.20	15
TULCAN	45	34	48	58	42	27	11	16	16	89	60	44	688	850	833	176	0.21	30
IBARRA	18	21	22	63	35	8	1	3	7	39	53	29	529	640	628	134	0.21	25
QUITO	57	86	111	99	105	33	6	5	35	81	65	70	1020	1190	1243	201	0.17	30
IZOBAMBA	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	1240	1444	1396	208	0.14	11
LATACUNGA	19	24	25	33	23	13	6	2	8	35	33	21	463	488	465	32	0.07	15
AMBATO	15	23	28	44	36	15	7	9	16	20	25	13	383	475	485	105	0.22	30

Tabla 72a. Precipitacion mensual y anual con 80% de probabilidad.

PRECIPITACION MENSUAL Y ANUAL CON 80% PROBABILIDAD

ESTACIONES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	AÑO	$\bar{P}$	$\bar{P}$ REF.	σ	$\sigma/\bar{P}$	NO. DE AÑOS
PUYO	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	4100	4457	4268	424	0.10	9
RIOBAMBA	13	22	24	27	16	16	3	3	12	25	11	23	302	395	399	94	0.24	20
CAÑAR	25	26	51	37	20	20	13	10	11	19	26	14	400	500	511	123	0.25	15
CUENCA	45	36	69	58	52	32	11	14	26	55	31	33	692	818	823	176	0.22	25
SANTA ISABEL	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	380	474	443	103	0.22	11
LA ARGELIA LOJA	35	50	60	65	30	25	20	25	25	35	30	40	725	866	788	147	0.17	8
HUANCABAMBA	10	17	10	12	2	1	1	0	0	3	3	5	171	374	319	204	0.55	15
CAJAMARCA	—	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	650	740	693	143	0.19	30
HUANCAYO	92	84	70	33	4	2	0	2	25	49	42	70	650	726	739	81	0.11	30
PUNO (GR. SALC.)	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	465	613	687	177	0.29	30
EL BELEN	44	50	34	3	15	0	0	0	16	22	34	62	460	515	515	65	0.13	9
CHULUMANI	135	165	95	10	20	1	0	20	55	60	90	145	1090	1225	1225	150	0.12	8
LA PAZ	85	65	32	16	2	0	0	2	13	23	28	66	489	560	555	78	0.14	30
PATACAMAYA	60	55	20	8	0	0	0	0	5	8	20	55	310	456	403	105	0.23	10
COCHABAMBA	80	63	27	4	0	0	0	0	0	3	28	68	389	479	478	87	0.18	30
TOTORA	102	98	43	9	0	0	0	0	0	8	38	73	510	606	607	90	0.15	25
ORURO	39	43	18	1	0	0	0	0	3	5	10	39	315	388	389	98	0.25	30
TACAGUA	40	45	30	5	0	0	0	0	0	0	2	50	255	350	351	90	0.26	10
SUCRE	91	71	29	7	0	0	0	0	7	15	32	72	504	619	615	129	0.21	25
PADILLA	103	76	47	9	3	0	0	0	11	15	57	79	590	669	669	117	0.17	25
PUNA	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	360	468	468	100	0.21	10
OPLOCA	33	30	9	0	0	0	0	0	0	0	5	36	169	246	246	92	0.37	30
VILLAZON	25	30	20	2	0	0	0	0	0	1	8	40	220	311	327	101	0.32	15

Tabla 72b *Precipitacion mensual y anual con 80% de probabilidad.*

XI. EVAPORACION

1. Introducción

Como ya se ha mencionado, los dos factores limitativos que afectan a la producción de los cultivos en muchos lugares de las montañas andinas son la ocurrencia de temperaturas mínimas perjudiciales para las plantas y la falta de agua para el adecuado crecimiento y desarrollo de las mismas. Esta cuestión de las temperaturas mínimas ha sido ya estudiada en el correspondiente capítulo, y lo mismo podemos decir de la distribución de la lluvia y sus características.

El objeto de este capítulo es exponer las distintas maneras de estimar la cantidad de agua perdida por las plantas durante su ciclo vegetativo, concediendo mayor importancia a la ocurrencia en gran escala de este fenómeno con objeto de definir una magnitud que pueda ser comparada con la lluvia e introducida en el balance hídrico de la región que se estudie. En los capítulos que tratan de determinados cultivos, en la segunda parte de la presente publicación, se intentará exponer, en la medida de lo posible, las demandas específicas de agua de los diferentes cultivos de acuerdo con sus fases vegetativas y su desarrollo.

2. Escala

Teniendo presente el carácter general de esta encuesta, la escala de tiempo considerada será el mes. Se reconoce que dicho período no será siempre el más adecuado y que los estudios agrícolas exigen en realidad unidades menores de tiempo tal como la década (10 días), la semana o incluso la péntada (5 días). Estas unidades de tiempo deben ser utilizadas siempre que se efectúen estudios más detallados.

Se debe poner de manifiesto que el presente capítulo tratará de los elementes climáticos medidos en las estaciones meteorológicas ordinarias, con exclusión de las observaciones microclimatológicas dentro o sobre la cubierta vegetal de los cultivos. Este modo de operar, aunque no representa perfectamente las condiciones al nivel de la planta, se utiliza con objeto de dar un carácter representativo más general de la zona y facilitar así la comparación de los parámetros climáticos de un lugar y otro, lo cual constituye uno de los fines prácticos más importantes de la encuesta.

Por otra parte, la evaporación del agua, por estar directamente relacionada con la radiación solar entrante y con la temperatura, es menos variable que la lluvia. Por este motivo las estimaciones de la evaporación serán presentadas en forma de valores medios.

3. Terminología

Los términos aquí utilizados y su significado son en general los propuestos por la OMM (1966). En determinadas condiciones evaporación potencial (Eo) es la cantidad de vapor de agua que puede ser emitida desde

una superficie libre de agua. Transpiración es la pérdida de agua liberada hacia la atmósfera a través de los estomas de las plantas. Evapotranspiración es la suma de las cantidades de agua evaporada desde el suelo y transpirada por las plantas. Evapotranspiración potencial (ET) es la cantidad máxima de agua capaz de ser perdida por una capa continua de vegetación que cubra todo el terreno, cuando es ilimitada la cantidad de agua suministrada al suelo. Evapotranspiración real es la cantidad de agua perdida por el complejo planta-suelo en las condiciones meteorológicas, edafológicas y biológicas existentes. En estas últimas se incluye el tipo de cultivo y su fase de crecimiento y desarrollo. En las condiciones edafológicas se incluye el contenido de humedad y la fuerza con que ésta humedad es mantenida. Eo es por consiguiente la demanda evaporativa de la atmósfera. Normalmente excede de ET en aproximadamente 20%, debido principalmente a la mayor reflexión radiativa de la capa vegetal comparada con la superficie del agua. Cuando Eo es muy elevada, ET puede ser considerada como la demanda evaporativa de la atmósfera que, en muchos casos, no puede ser satisfecha por los cultivos, aunque el suelo esté saturado de humedad debido a que las plantas no pueden conducir agua desde el suelo a otro sitio en donde pueda evaporarse con mayor rapidez. Este hecho se pone de manifiesto por la marchitez que se observa a medio día en ambientes calientes y secos.

4. Métodos

En encuestas anteriores siempre se ha estimado la evapotranspiración potencial y la evapotranspiración utilizando la fórmula establecida por Penman en 1948. Dicha fórmula también será aplicada en la presente encuesta con carácter prioritario, teniendo en cuenta los nuevos coeficientes para la estimación de la radiación total entrante que se describen en el capítulo que trata de este factor climático. Además, y en vista de la relativa escasez de datos meteorológicos completos que existe en la región estudiada, debemos indicar que se han utilizado otros métodos para estimar la evapotranspiración potencial. El más conocido de ellos es el de C.F. Thornthwaite, que utiliza como variables la temperatura del aire y duración del día y figura en las correspondientes tablas. También se describen los métodos creados por Turc y Hargreaves.

En ausencia de valores medidos de la evapotranspiración y evaporación, es difícil pronunciarse de manera definitiva sobre su utilidad respectiva como medio de estimar debidamente la evapotranspiración potencial en las condiciones climáticas particulares de las regiones montañosas. En el presente capítulo haremos algunos comentarios sobre este tema.

4.1 El método Penman

Esta fórmula que fue establecida por Penman en 1948 para estimar la evaporación de una superficie libre de agua y la evapotranspiración de una capa vegetal, ha sido ampliamente utilizada en todo el mundo durante los últimos veinte años con resultados generalmente satisfactorios. La aplicación de la fórmula en climas áridos y al comparar sus resultados con las observaciones hechas sobre el terreno, parece que da lugar a valores demasiado bajos de la evapotranspiración potencial. Por otra parte se debe tener presente que en estas regiones el balance de energía resulta perturbado con frecuencia por la advección de aire cálido y seco procedente de los alrededores y por la consiguiente mayor evaporación de la zona, generalmente pequeña, que se estudia.

Debemos también manifestar que lo que se pretende con este método es incluir todos los factores climatológicos que influyen en la evapotranspiración potencial tomando nota debidamente de la presión de vapor de la atmósfera. En la fórmula se incluye también un factor que tiene en cuenta la variación de la presión atmosférica debida a la altitud.

Comprendiendo la importancia de tratar de simplificar los cálculos que intervienen en la fórmula de Penman, especialmente en el caso de actividades que tienen lugar sobre el terreno donde no se dispone con frecuencia de medios muy perfeccionados, se ha preparado un sencillo formulario de trabajo que permite hacer fase por fase estos cálculos, con ayuda de tablas válidas para latitudes comprendidas entre 50° N y 50° S.

En las figuras 73 y 74 se exponen como ejemplo los dos formularios de trabajo: uno para el cálculo de la evapotranspiración potencial y el otro para la evaporación de una superficie libre de agua.

Los dos formularios difieren entre sí en la cifra adoptada para el albedo, que es de 25% para la capa vegetal y sólo del 5% para la superficie del agua. Otra diferencia es la correspondiente al denominado término aerodinámico, en el que el factor constante relacionado con la velocidad del viento es de 1.00 en el caso de la vegetación para tener en cuenta la mayor rugosidad de la superficie de evaporación, y de 0.50 cuando se trata de la evaporación del agua.

Las dos fórmulas para el cálculo de la evapotranspiración potencial y la evaporación de una superficie libre de agua se transforman en las siguientes:

a) Evapotranspiración potencial

$$ET = \frac{\frac{p_o}{p} \cdot \frac{\Delta}{\gamma}\left[0.75 R_A (0.29 + 0.42 \frac{n}{N}) - \sigma T_K^4 (0.56 - 0.079\sqrt{e_d})(0.10 + 0.90 \frac{n}{N})\right] + 0.26(e_a - e_d)(1.00 + 0.54 U)}{\frac{p_o}{p} \cdot \frac{\Delta}{\gamma} + 1.00}$$

b) Evaporación desde una superficie libre de agua

$$Eo = \frac{\frac{p_o}{p} \cdot \frac{\Delta}{\gamma}\left[0.95 R_A (0.29 + 0.42 \frac{n}{N}) - \sigma T_K^4 (0.56 - 0.079\sqrt{e_d})(0.10 + 0.90 \frac{n}{N})\right] + 0.26(e_a - e_d)(0.50 + 0.54 U)}{\frac{p_o}{p} \cdot \frac{\Delta}{\gamma} + 1.00}$$

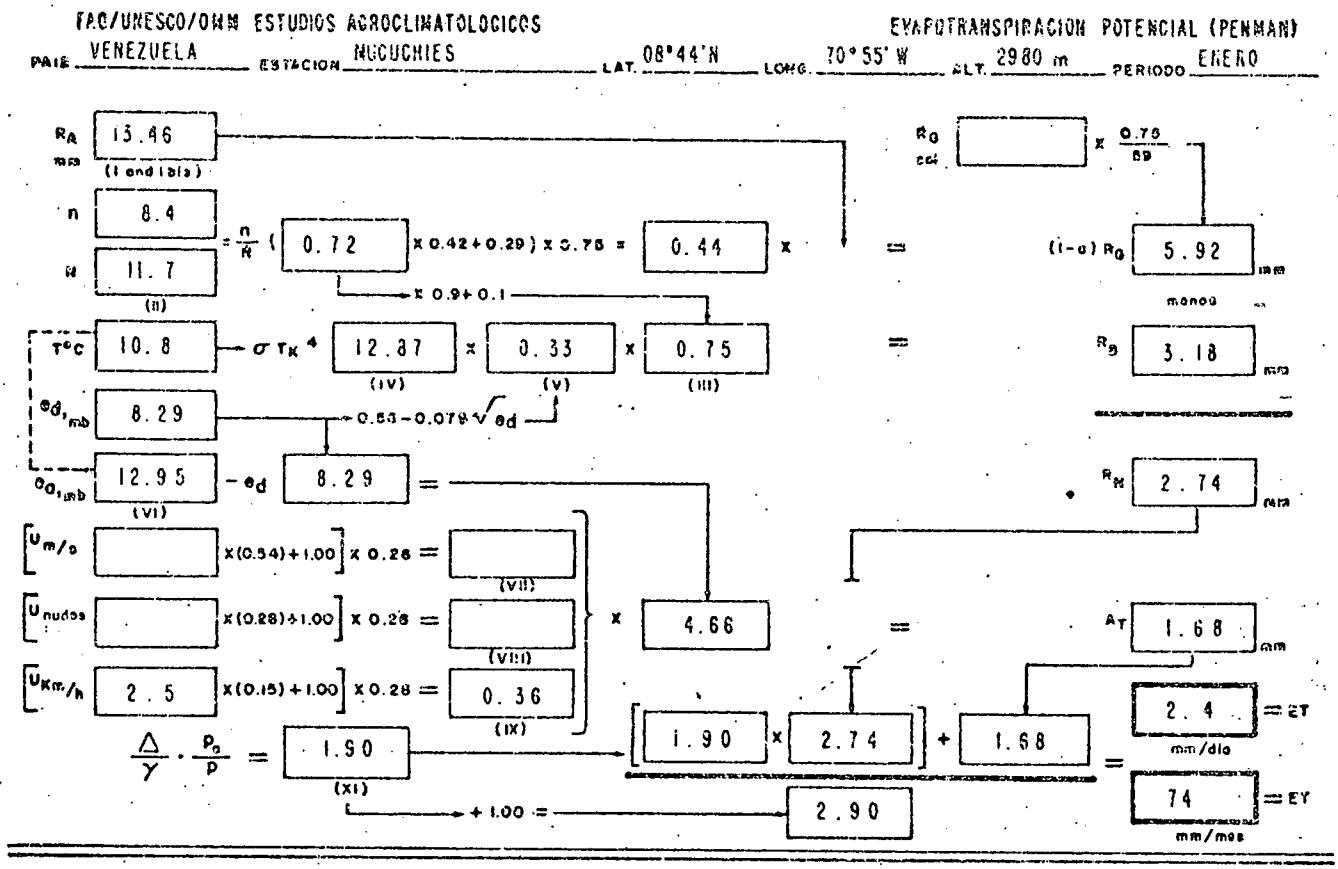
Los términos que intervienen en las fórmulas y en los formularios de trabajo se definen de la manera siguiente y se expresan en las unidades que a continuación se indican:

E_T = estimación de la evapotranspiración potencial en un período determinado, expresada en mm;

Eo = estimación de la evaporación desde una superficie libre de agua en un período determinado, expresada en mm;

p_o = presión atmosférica media expresada en milibares al nivel del mar;

p = presión atmosférica media expresada en milibares en función de la altitud de la estación en donde se calcula la estimación;



Figuras 73 y 74 *Ejemplo del cálculo con el método Penman de la evapotranspiración potencial y la evaporación del agua libre.*

Δ = gradiente de la presión de vapor saturante con respecto a la temperatura, expresada en milibares por grado centígrado;

γ = coeficiente psicrométrico, para el psicrómetro con ventilación forzada, = 0.66;

0.75 y 0.95: factores de reducción de la radiación total de onda corta entrante y que corresponden respectivamente a un albedo de 0.25 y 0.05;

R_A = radiación de onda corta recibida en el límite de la atmósfera expresada en mm de agua evaporable (1 mm = 59 calorías) y de acuerdo con la Escala Pirheliométrica Internacional (IPS 1956);

n = duración de la insolación durante el período que se estudia, expresada en horas y décimas de hora;

N = duración de la insolación astronómicamente posible en un período determinado;

σT_K^4 = radiación del cuerpo negro expresada en mm de agua evaporable para la temperatura prevaleciente del aire;

e_a = presión de vapor saturante, expresada en milibares;

e_d = presión de vapor durante el período que se estudia, expresada en milibares;

$T°_C$ = temperatura del aire medida en la garita meteorológica, expresada en grados Celsius;

$T°_K$ = temperatura del aire expresada en grados Kelvin, en donde $T°_K = T°_C + 273$;

$U_{m/s}$ = velocidad media del viento a una altura de 2 m durante el período que se estudia y expresada en m/seg. El coeficiente que se aplica a la velocidad del viento en la fórmula tiene que ser 0.28 si la velocidad se expresa en nudos y 0.15 si se expresa en km/h.

Además, al utilizar la fórmula se han de tener en cuenta las notas siguientes:

1) Cuando se dispone de medidas de radiación total expresadas en $cal/cm^2/día$, estas medidas pueden ser introducidas directamente en el formulario de trabajo y en el bloque que indica RG calorías. La radiación expresada en Julios/día debe ser dividida por 4.19 antes de ser introducida en los cálculos.

2) Los coeficientes $0.29 + 0.42 \frac{n}{N}$ utilizados para la estimación de la radiación total entrante, han sido explicados en el capítulo que trata de radiación.

3) Si la humedad se expresa como humedad relativa, ésta puede ser transformada en milibares de presión de vapor multiplicando la presión de vapor saturante (tabla) correspondiente a la $T°_C$ dada por la humedad relativa. Por ejemplo, si la humedad relativa RH = 78% y T° = 22.4, la tabla da para e_a un valor de 27.08 milibares; e_d será 0.78 x 27.08 = 21.12 milibares.

4) Los datos necesarios para los cálculos, que se inscriben en los recuadros que constituyen la primera columna de la izquierda del formulario, deben corresponder todos el mismo período, por ejemplo, la media mensual de los valores diarios. El resultado final de los cálculos será pues ET o Eo en mm/día y el valor mensual puede hallarse multiplicando por 28, 29, 30 ó 31, según el número de días que tenga el mes.

Las doce tablas que se necesitan para estos cálculos figuran en el apéndice de esta encuesta. Su numeración se cita en los formularios de trabajo con cifras romanas entre paréntesis, en algunos bloques de dichos formularios.

4.2 El método Thornthwaite

Este método de estimación de la evapotranspiración potencial ha sido profusamente utilizado en todo el mundo debido principalmente a que exige sólo una variable meteorológica: la temperatura.

Su fórmula es la siguiente:

$$E_T = 1.6\ (10\ T/I)^a$$

En donde E_T es la evapotranspiración potencial en un mes de 30 días

T es la temperatura media del aire

I es el índice de calor, que es la suma de 12 índices mensuales expresados por la fórmula:

$$i = (T/5)^{1.514}$$

El cálculo de la fórmula se facilita con el uso de tablas.

La estimación de la evapotranspiración potencial por la fórmula de Thornthwaite, aunque es muy fácil de obtener, puede no dar los mejores resultados en latitudes tropicales ya que análogas temperaturas medias pueden corresponder a acentuadas diferencias de radiación solar entrante. Del mismo modo, el descenso de la temperatura con la altitud queda compensado en la mayoría de los casos por una radiación solar entrante más intensa.

Reproducimos a continuación una tabla que muestra los simples cálculos que se precisan para estimar la evapotranspiración potencial utilizando el método de Thornthwaite en las estaciones de Bogotá (Colombia), Izobamba (Ecuador), Huancayo (Perú) y La Paz (Bolivia). Algunos valores pueden diferir ligeramente de los que figuran en la literatura. (Tabla 75)

En vista de lo dicho anteriormente sobre el uso de la fórmula de Thornthwaite en latitudes tropicales y en especial en las regiones montañosas, hemos representado en la tabla 76 una serie de estaciones que cubren toda el área y hemos indicado para cada estación la relación entre la evapotranspiración anual calculada mediante la fórmula de Penman y la obtenida por la de Thornthwaite. Dicha tabla muestra una relación curvilínea en la que la relación $\frac{\text{ET Penman}}{\text{ET Thornthwaite}}$ va desde 0.77 al nivel del mar hasta aproximadamente 2.00 a 3800 m de altitud, pasando por el valor 1 a unos 1000 m de altitud. Dicha tabla se reproduce en la figura 77 .

Bogotá

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
T	13.9	14.3	14.9	15.0	14.7	14.2	13.5	13.8	13.9	14.1	14.0	14.1
i	4.70	4.91	5.22	5.28	5.12	4.86	4.50	4.65	4.70	4.81	4.75	4.81
PE	1.8	1.8	2.0	2.0	2.0	1.8	11.7	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8
coef.	30.6	27.9	30.9	30.6	31.8	30.9	31.8	31.5	30.3	30.9	29.7	30.6
ET	55.1	50.2	61.8	61.2	63.6	55.6	54.1	56.7	54.5	55.6	53.5	55.1

I = 58.31 ET = 677

Izobamba

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
T	11.2	11.1	11.0	10.9	11.2	10.5	10.6	10.7	10.8	10.7	10.6	11.0
i	3.39	3.34	3.30	3.25	3.39	3.08	3.12	3.16	3.21	3.16	3.12	3.30
PE	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.5	1.7	1.	1.7	1.7	1.7	1.7
coef.	31.2	28.2	31.2	30.3	31.2	30.3	31.2	31.2	30.3	31.2	30.3	31.2
ET	53.0	47.9	53.0	51.5	53.0	45.5	53.0	53.0	51.5	53.0	51.5	53.0

I = 38.82 ET = 619

Huancayo

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
T	11.7	11.4	11.2	11.0	10.2	9.0	9.4	10.3	11.6	12.2	12.2	11.7
i	3.62	3.48	3.39	3.30	2.94	2.44	2.60	2.99	3.58	3.86	3.86	3.62
PE	1.8	1.7	1.7	1.7	1.5	1.3	1.3	1.5	1.8	1.8	1.8	1.8
coef.	32.7	29.1	31.5	29.7	30.0	28.5	29.7	30.3	30.0	31.8	31.8	33.3
ET	58.9	49.5	53.6	50.5	45.0	37.1	38.6	45.5	54.0	57.2	57.2	59.9

I = 39.68 ET = 607

La Paz

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
T	11.9	12.1	12.0	11.8	10.7	9.7	9.3	10.0	10.8	12.0	12.4	12.3
i	3.72	3.81	3.76	3.67	3.16	2.73	2.56	2.86	3.21	3.76	3.96	3.91
PE	1.8	1.8	1.8	1.8	1.7	1.5	1.3	1.5	1.7	1.8	1.9	1.9
coef.	33.7	29.7	31.5	29.4	29.3	27.9	29.0	29.9	30.0	32.1	32.2	33.9
ET	60.7	53.5	56.7	52.9	49.8	49.9	37.7	44.9	51.0	57.8	61.2	64.4

I = 41.1 ET = 633

Tabla 75 Ejemplo del cálculo con el método de Thornthwaite de la evapotranspiración potencial para algunas estaciones.

Para permitir la comparación con la fórmula Penman, se dan en la tabla 78 los promedios anuales de ET calculados con la fórmula Thornthwaite para las 69 estaciones de referencia. Estos valores siguen la misma tendencia, como se muestra en la figura 77. Se halló que una cantidad de estaciones en la región tropical semiárida mostraban un cociente aún más elevado que las estaciones a altitudes correspondientes en la región ecuatorial húmeda. Con este método se llega facilmente, en el altiplano boliviano, a una subestimación del 50% en comparación con el de Penman.

Estación	alt.	Penman	Thornth-waite	P/Th	Estación	alt.	Penman	Thornth-waite	P/Th
Porto-viejo	44	1165	1509	0.77	Sucre	2750	1195	750	1.59
Armero	300	1540	1760	0.88	Riobamba	2800	1100	688	1.60
San Ramón	800	1241	1226	1.01	Tulcan	3000	911	648	1.41
Palmira	1006	1296	1247	1.04	Izobamba	3060	1015	619	1.64
Chapeton Il.	1300	1120	1049	1.07	Huaraz	3210	1090	632	1.72
Libano	1495	1060	909	1.17	Huancayo	3350	986	607	1.62
Sevilla	1650	1071	909	1.18	Villazon	3460	991	596	1.66
Florida Pop.	1850	1052	875	1.20	La Paz	3630	956	630	1.52
Sonson	2350	1001	722	1.39	Oruro	3700	1217	665	1.83
Bogotá	2560	1084	677	1.60	Tacagua	3720	1039	610	1.71
Cajamarca	2620	1215	702	1.73	Oroya	3750	999	566	1.77
Pasto	2700	952	676	1.41	Puno	3850	1173	584	2.01

Tabla 76 *Comparacion entre ET (Penman) y ET (Thornthwaite) para estaciones a diferentes altitudes.*

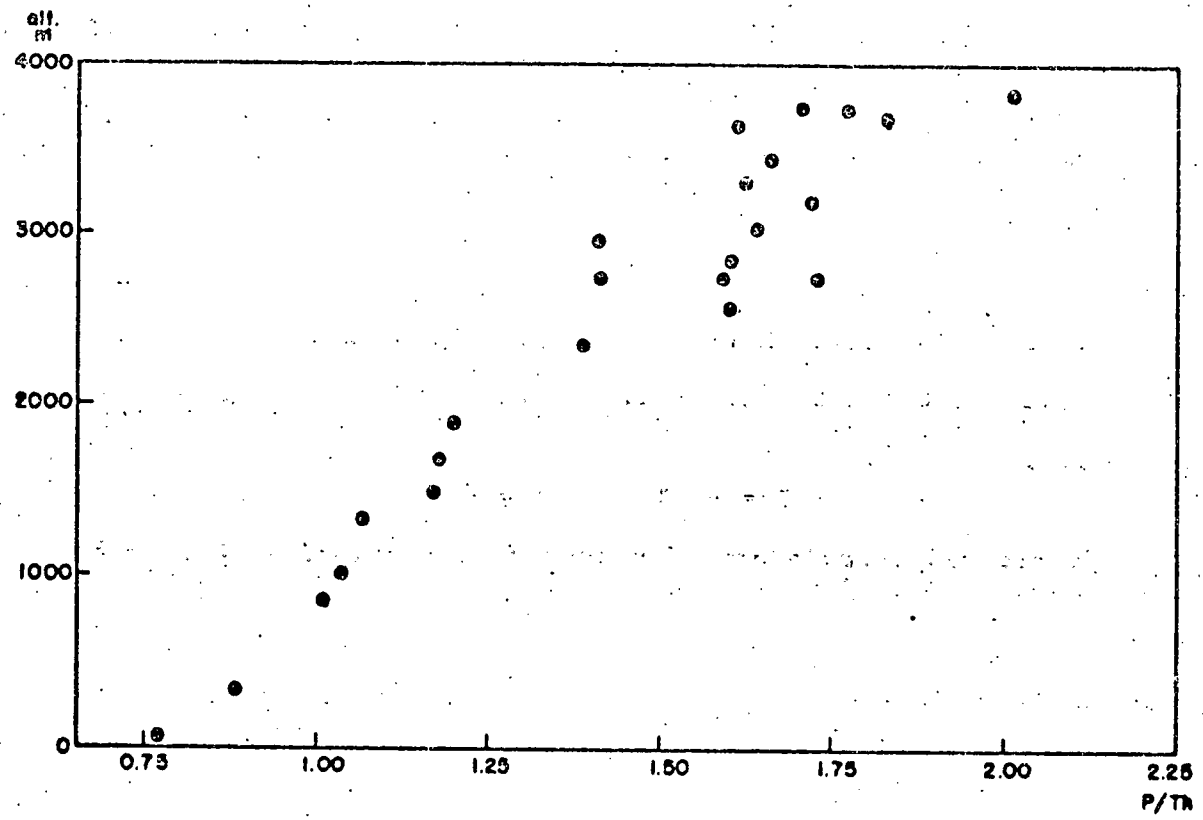


Figura 77 *El cociente ET(Penman)/ET(Thornthwaite) en relación con la altitud para estaciones seleccionadas.*

Estaciones	ET Thornthwaite
Mucuchies	695
Merida	880
Bailadores	840
Bramon	895
Blonay Chinacota	890
Salazar	1060
San Vincente	1070
Medellin	990
Tunguavita	680
Sonson	722
Libano	909
Chinchina	965
Anolaima	860
Bogotá	680
Chapeton Ibaque	1049
Usme	600
Tibacuy	870
Sevilla	909
Palmira	1247
Miranda	1120
Laureles	700
Florida - Popayan	875
Pasto Obonuco	676
Tulcan	648
Ibarra	760
Quito	700
Izobamba	619
Latacunga	670
Ambato	700
Puyo	945
Riobamba	688
Cañar	620
Cuenca	675
S. Isabel	885
La Argelia Loja	715

Estaciones	ET Thornthwaite
Huancabamba	900
Chachapoyas	730
Cajamarca	702
Huaraz	632
Huanuco	860
Lampas Bajo N.3	525
Cerro de Pasco	500
San Ramón	1226
La Oroya	566
Huancayo	607
Quillabamba	1240
Huamanga	715
Cuzco - Kayra	670
Abancay	760
Chuquibambilla	550
Cayllona	410
Cuenca Rio Verde	510
Puno (Gr. Salc.)	584
Arequipa	680
Desaguadero	560
Paucarani	400
El Bellen	520
Chulumani	960
La Paz (C.)	630
Patacamaya	650
Cochabamba	955
Totora	755
Oruro	665
Tacagua	610
Sucre	750
Padilla	870
Puna	660
Oploca	770
Villazon	645

Tabla 78 Valores anuales medios calculados con el método de Thronthwaite para las 69 estaciones de referencia.

4.3 La fórmula Turc

La fórmula establecida por Turc exige, para la estimación de la evapotranspiración potencial, conocer la radiación total entrante medida o estimada de la misma manera que para la fórmula de Penman, la temperatura media y la humedad relativa siempre que ésta sea inferior al 50%. La fórmula para valores mensuales es la siguiente:

$$E_T = K \frac{T}{T + 15} (R_G + 50)(1 + \frac{50 - HR}{70})$$

en donde

E_T es la evapotranspiración potencial expresada en mm de agua;

T es la temperatura media mensual en grados centígrados;

R_G es la radiación total entrante en cal/cm^2/día

HR es la humedad relativa expresada en %.

Cuando la humedad relativa es mayor del 50% el último término de la ecuación se desprecia.

El coeficiente K = 0.40 es válido para los meses con 30 y 31 días. El coeficiente K = 0.37 se utiliza para el mes de febrero. En los cálculos de los valores correspondientes a 10 días se aplica el coeficiente K = 0.13.

En la tabla 79 se indica para algunas estaciones de la región el valor mensual de la evapotranspiración potencial calculada por el método Turc. Aunque este método permite obtener resultados interesantes se debe reconocer que por utilizar también observaciones de insolación y otros datos, en muchos casos resulta conveniente recurrir a la fórmula más racional de Penman.

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Año
Merida	113	113	128	116	115	109	108	120	126	113	107	109	1377
Bramon	97	95	105	95	115	112	112	122	125	115	109	104	1306
Libano	97	114	104	98	101	100	109	114	113	100	91	93	1234
Bogotá	93	86	89	81	82	83	85	86	86	75	81	84	1011
Izobamba	80	75	79	73	76	71	78	82	81	79	77	71	922
Chachapoyas	120	101	107	96	99	92	96	101	107	113	118	112	1265
Huancayo	89	86	81	81	75	71	72	77	87	98	97	93	1007
La Paz C.	89	81	83	85	74	69	68	77	82	95	97	88	988
Oruro	117	93	93	96	66	47	49	68	91	109	118	119	1066
Oploca	145	124	123	109	84	69	72	92	114	137	171	143	1383

Tabla 79 Evapotranspiración potencial calculada con el método Turc para estaciones seleccionadas.

4.4 La fórmula de Hargreaves

Para la aplicación de la fórmula de Hargreaves en muchos países del continente americano es necesario utilizar como variables la temperatura media y la humedad relativa. En la fórmula se usa también la radiación total extraterrestre que puede hallarse en las tablas (véase el anexo) preparadas para el cálculo de la fórmula de Penman, y la altitud de la estación.

La fórmula es la siguiente:

$$E_T = 0.34\ R_A \times [0.40+0.024\ T][1.35 \times \sqrt{1.00-RH}] \times [1.00 + (0.04 \times EL/1000)]$$

en donde

E_T es el valor medio de la evapotranspiración potencial durante el período que se estudia;

R_A es la radiación extraterrestre expresada en mm de agua;

T es la temperatura media en grados centígrados;

RH es la humedad relativa expresada decimalmente;

EL es la altitud expresada en metros.

La expresión $1.35 \times \sqrt{1.00-RH}$ tiene un valor máximo de 1.00.

A continuación figura la estimación de la evapotranspiración potencial de la estación de La Paz Central, por los métodos de Penman y Hargreaves.

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Año
Hargreaves	111	94	104	98	93	85	87	98	110	129	131	134	1272
Penman	92	88	88	78	60	46	51	66	80	97	100	100	956

Tabla 80 Evapotranspiración potencial estimada con los métodos de Penman y Hargreaves para La Paz.

5. Variabilidad de la evapotranspiración potencial

Como ya se ha dicho, la evapotranspiración potencial depende de la radiación solar total, temperatura del aire, déficit de saturación y velocidad del viento. Como estos factores experimentan una variabilidad menor que la lluvia, cabe esperar que la variabilidad de la evapotranspiración potencial, al menos cuando se la calcula como valores mensuales, sea muy baja. Se ha realizado el cálculo de la evapotranspiración potencial según la fórmula de Penman para la estación de Huancayo, durante un período de diez años, de 1961 a 1970. Dicho cálculo figura en la tabla 81. También se han representado en la misma tabla los correspondientes valores medios mensuales de diez años, así como las desviaciones máximas, positivas y negativas, con respecto a dichos valores medios.

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	año	precipitación $\bar{p}$
1961	101	85	93	78	68	60	66	79	93	109	105	99	1036	902
1962	104	89	85	75	69	53	68	81	89	109	110	107	1039	709
1963	98	87	90	76	63	52	64	76	85	102	107	106	1006	778
1964	96	84	89	75	63	50	65	79	89	100	96	102	988	808
1965	97	86	88	75	62	52	64	77	90	104	105	104	1004	754
1966	105	96	91	75	71	49	63	81	92	99	102	101	1025	614
1967	99	84	85	73	64	51	62	70	88	97	106	104	983	825
1968	97	91	86	68	64	52	59	72	88	100	100	104	981	683
1969	97	88	92	78	69	61	58	72	86	103	103	100	1007	575
1970	93	87	89	79	65	54	66	74	86	110	106	103	1012	736
$\overline{ET}$	99	88	89	75	66	53	64	76	89	103	104	103	1008	839
desviación +	+6	+8	+4	+4	+5	+8	+4	+5	+4	+7	+6	+4	+31	+164
-	-6	-4	-4	-7	-4	-4	-6	-6	-4	-6	-8	-4	-27	-163

Tabla 81 Valores mensuales de ET calculados con la fórmula de Penman durante 1961-1970 para Huancayo.

En la figura podemos ver que las desviaciones permanecen siempre por debajo de 10% y con frecuencia por debajo del 5% del valor medio obtenido. Por este motivo se puede admitir que en el cálculo del balance hídrico mensual y anual, se usen los valores medios de la evapotranspiración potencial. Sin embargo, en lo que a los valores de lluvia se refiere, sería preferible utilizar cifras fundadas en el cálculo de probabilidad y correspondientes al grado de seguridad que se require para los cultivos de que se trate. También es evidente que el balance hídrico calculado en períodos más cortos (10 e incluso 5 días) debe hacerse con más cuidado y teniendo e en cuenta el uso consuntivo máximo de agua por las plantas durante ciertas fases críticas, como por ejemplo el período que precede inmediatamente a la floración.

6. Resultados

Se ha hecho el cálculo de la evapotranspiración potencial en 69 estaciones de referencia. Los resultados figuran el la tabla 85. Estos cálculos se han realizado utilizando solamente el método Penman. Como ya dijimos en un capítulo precedente, los datos de insolación se han aplicado en la medida de lo posible para estimar la radiación solar global. En otros casos se han usado los datos de la nubosidad en octas. En los histogramas que se reproducen en los cortes verticales incluidos en el capítulo correspondiente, se especifican las estimaciones de la evapotranspiración potencial calculadas para otras estaciones que no son de referencia. Es sorprendente observar que la evapotranspiración potencial puede permanecer bastante alta en las regiones montañosas. Esto se debe, desde luego, al hecho de que la radiación total es mayor, aunque ello se compensa en parte por una pérdida mayor de radiación de onda larga.

Como síntesis de la variación del balance de energía con la altitud, hemos presentado en la figura 82 los puntos que representan el porcentaje de radiación solar entrante utilizado para la evapotranspiración potencial antes calculada. Este gráfico debe ser comparado con el anteriormente expuesto (figura 19) que indica la variación de la radiación resultante y de la radiación infrarroja efectiva según la altitud. En este gráfico se reunen los resultados obtenidos en todas las estaciones de referencia utilizadas en la encuesta. Podemos

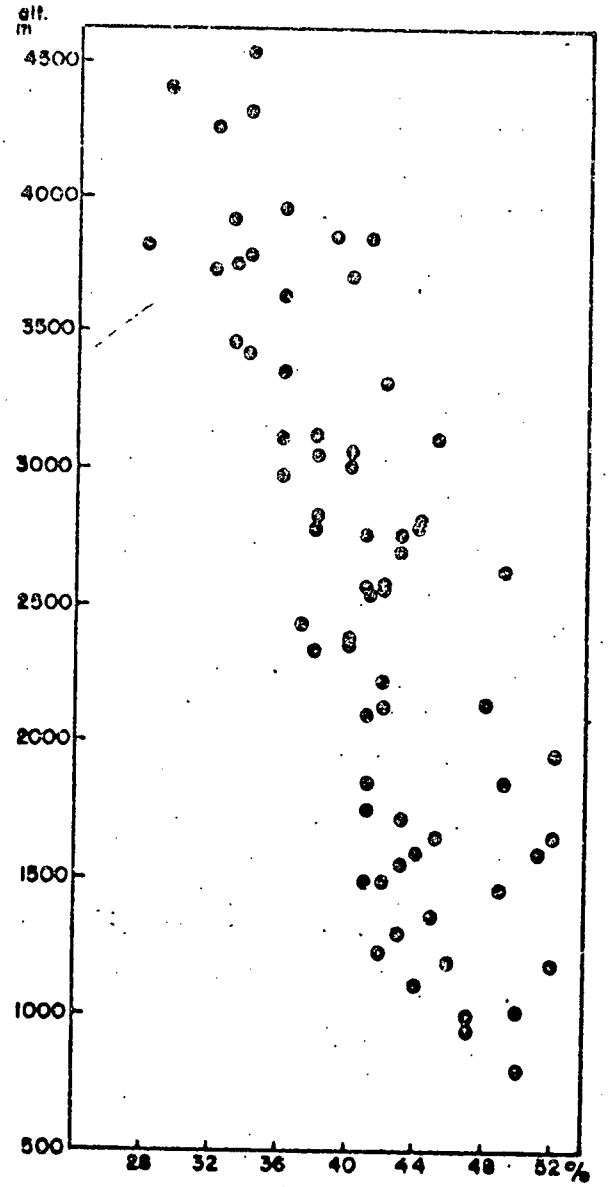


Figura 82 ET expresada como porciento de RG en relacion con la altitud para las 69 estaciones de referencia.

ver que a 1000 m de altitud se usa un promedio de 49% de la radiación entrante para los procesos de evaporación, mientras que esta proporción pasa a ser de sólo 39% a 3000 m y de un 34% a 4000 m. La resultante es un decrecimiento en la evapotranspiración potencial de alrededor 100 mm por cada 1000 m de aumento en altitud para la región ecuatorial (figura 84) y un decrecimiento de unos 150 mm por cada 1000 m de altitud en la región tropical (figura 83).

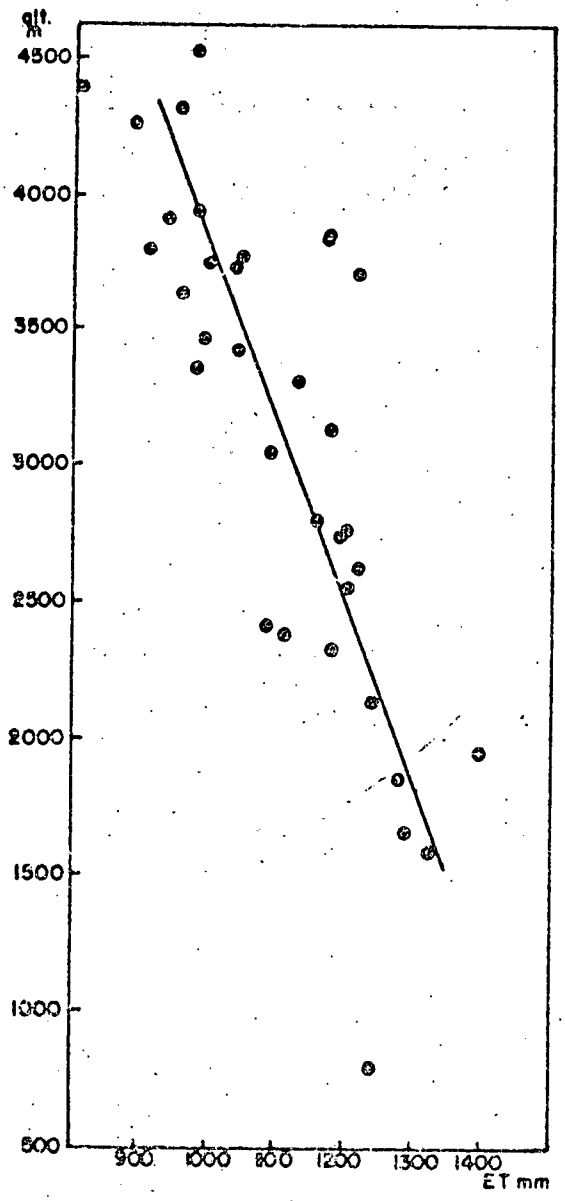


Figura 83 *Distribución altitudinal de la evapotranspiración para la región tropical.*

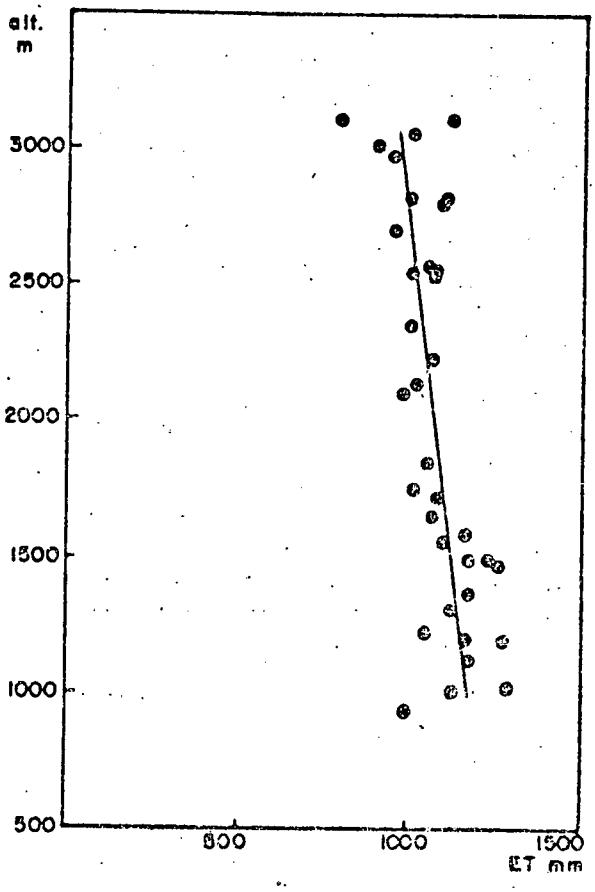


Figura 84 *Distribución altitudinal de la evapotranspiración para la región ecuatorial.*

Referencias - Evaporación

Hargreaves, G.H. 1968	J. Irr. Drain. Div. ASCE 94 (1), 97
Hargreaves, G/H. 1962	En: Análisis de riego Santa Cruz. Grupo de trabajo Utah State/Bolivia, USU 13/72
OMM 1966	Vocabulario Meteorológico Internacional. No.182, TP 91
Penman, H.L. 1948	Natural evaporation from open water, bare soil and grass. Proc. Roy. Soc. London A 193, 120
Penman, H.L. 1956	Estimating evaporation. Transac. Ann. Geoph. Union 37, 43
Penman, H.L. 1956	Evaporation, an introductory survey. Neth. J. Agric Sc. 4; 9
Penman, H.L. 1963	Vegetation and hydrology. Tecn. Communic. 53, Commonw. Bureau of Soils
Thornthwaite, C.W. 1948	An approach towards a rational classification of climate. Geograph. Rev. 28; 56
Turc, L. 1953	The soil water balance; interrelation of rainfall, evaporation and run-off. African Soils III; 139
Turc, L. 1954	Le bilan d'eau des sols. Ann. Agron. 5; 491. Ann. Agron. 6; 5
Turc, L. 1961	Evaluation des besoins en eau d'irrigation, évapotranspiration potentielle. Ann. Agron. 12;13

PROMEDIO MENSUAL Y ANUAL DE LA EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL

ESTACIONES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	AÑO
MUCUCHIES	74	83	91	83	88	79	77	83	84	87	73	73	955
MERIDA	95	96	117	106	114	99	97	109	109	102	89	92	1225
BAILADORES	69	81	88	88	87	91	78	95	97	87	78	73	1012
BRAMON	94	79	96	84	110	104	102	113	112	106	96	89	1185
BLONAY-CHINACOTA	81	80	85	89	96	84	92	96	96	92	81	79	1051
SALAZAR	89	85	98	90	100	97	97	111	103	98	87	82	1137
SAN VINCENTE	99	91	103	96	98	95	104	109	104	95	85	88	1167
MEDELLIN	106	102	114	100	106	99	113	116	112	105	98	95	1268
TUNGUAVITA	82	88	95	88	85	76	83	86	84	83	77	79	1006
SONSON	79	77	82	83	83	88	95	98	86	82	74	74	1001
LIBANO	82	93	94	86	90	83	92	98	95	89	77	81	1060
CHINCHINA	95	92	103	93	95	96	106	110	103	98	90	95	1178
ANOLAIMA	90	89	96	87	91	88	91	100	100	94	80	82	1088
BOGOTA	95	92	97	90	92	91	95	95	92	80	81	84	1084
CHAPETON IBAQUE	94	89	99	93	94	89	96	102	101	94	85	84	1120
USME	65	66	76	66	68	62	62	65	65	65	64	66	790
TIBACUY	95	89	99	90	85	86	92	96	96	100	85	88	1101
SEVILLA	89	83	95	87	99	84	93	99	94	88	78	93	1071
PALMIRA	112	106	115	106	107	100	109	115	113	109	101	103	1298
MIRANDA	105	102	109	104	101	107	108	120	109	110	101	103	1279
LAURELES	66	77	93	83	81	72	79	81	83	83	72	78	948
FLORIDA-POPAYAN	89	86	93	85	82	82	89	95	93	92	83	83	1052
PASTO-OBONUCO	78	76	84	78	79	73	78	86	83	83	74	80	952
TULCAN	76	73	80	75	74	68	75	77	80	82	76	75	911
IBARRA	89	84	93	84	85	79	87	103	91	91	83	91	1060
QUITO	87	78	88	81	80	78	86	94	89	89	78	84	1008
IZOBAMBA	85	80	88	79	80	77	88	95	92	87	81	84	1015
LATACUNGA	100	87	97	89	87	79	86	91	95	98	95	94	1098
AMBATO	94	87	94	87	84	74	80	87	92	100	94	96	1069
PUYO	87	79	83	80	78	72	77	84	88	89	91	88	994
RIOBAMBA	99	90	96	89	88	75	85	93	94	103	91	97	1100
CAÑAR	94	83	96	88	91	83	98	105	103	98	92	95	1126
CUENCA	96	87	92	84	78	70	79	90	88	94	93	99	1050
S. ISABEL	95	86	90	87	88	87	105	110	107	108	104	97	1154
LA ARGELIA LOJA	94	89	93	91	84	80	96	100	96	99	100	102	1124

Tabla 85a Valores mensuales y anuales de la evapotranspiración potencial según el método de Penman para las 69 estaciones de referencia.

PROMEDIO MENSUAL Y ANUAL DE LA EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL

ESTACIONES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	AÑO
HUANCABAMBA	113	109	111	104	109	104	118	129	126	133	119	121	1396
CHACHAPOYAS	96	91	88	76	83	71	78	88	93	102	102	102	1003
CAJAMARCA	105	97	97	88	88	88	105	112	113	108	105	108	1215
HUARAZ	103	91	87	86	77	69	76	83	94	102	105	105	1090
HUANUCO	119	99	111	99	96	83	89	103	114	122	123	123	1281
LAMPAS BAJO N.3	88	76	82	77	71	61	75	82	83	99	91	96	981
CERRO DE PASCO	84	72	76	61	56	47	51	61	66	78	80	77	809
SAN RAMON	113	94	101	95	92	84	91	103	107	123	121	117	1241
LA OROYA	99	91	101	77	67	55	62	71	82	98	95	101	999
HUANCAYO	92	83	85	72	62	52	67	77	89	106	103	98	986
QUILLABAMBA	118	106	111	109	99	85	95	109	103	124	120	111	1290
HUAMANGA	119	103	98	90	81	67	74	97	105	123	123	124	1204
CUZCO KAYRA	112	91	98	87	74	64	71	91	98	113	113	112	1129
ABANCAY	107	95	100	90	75	61	69	85	90	119	116	109	1116
CHUQUIBAMBILLA	98	86	81	70	57	44	52	69	82	96	98	103	936
CAYLLOMA	100	79	82	68	61	49	58	75	81	101	105	97	956
CUENCA RIO VERDE	94	81	81	66	52	44	50	62	74	94	99	95	892
PUNO (GR. SALC.)	111	96	99	96	89	88	88	83	96	116	117	114	1173
AREQUIPA	121	101	105	91	76	67	67	87	102	116	125	126	1184
DESAGUADERO	119	105	106	87	67	57	63	85	102	124	127	128	1170
PAUCARANI	97	76	81	76	88	53	81	64	83	101	99	100	979
EL BELEN	84	90	88	71	54	41	48	62	78	95	99	102	912
CHULUNANI	141	120	121	101	86	70	76	95	111	130	137	141	1329
LA PAZ (C.)	102	88	88	78	60	46	51	68	80	97	100	100	956
PATACAMAYA	120	100	100	76	59	44	49	65	84	111	119	122	1049
COCHABAMBA	131	111	110	87	65	46	54	81	111	137	139	132	1204
TOTORA	124	105	104	87	73	54	61	82	101	122	125	126	1164
ORURO	136	108	113	88	69	54	60	83	100	126	139	141	1217
TACAGUA	124	102	100	75	57	42	48	64	83	109	114	121	1039
SUCRE	125	114	107	88	75	59	64	81	101	123	127	131	1185
PADILLA	140	115	114	90	69	55	63	85	104	128	136	142	1243
PUNA	118	99	98	75	58	42	49	65	85	109	120	121	1040
OPLOCA	140	114	112	84	61	46	50	70	84	126	136	142	1175
VILLAZON	125	104	96	70	45	32	37	54	78	106	120	124	991

Tabla 85b Valores mensuales y anuales de la evapotranspiración potencial según el método de Penman para las 69 estaciones de referencia.

XII. BALANCE HIDRICO

1. Introducción

El interés de la estimación de la evapotranspiración potencial en una capa media dada según el método de Penman reside en su introducción dentro del balance hídrico, teniendo también en cuenta la lluvia caída en el mismo período y antes en una estación determinada.

Este balance hídrico, cuando se aplica a fines agroclimatológicos generales, deberá fundarse en los valores medios de los dos parámetros siguientes: evapotranspiración y lluvia. Si esta comparación tiene por objeto dar información sobre las condiciones que prevalecerán por ejemplo durante cuatro años de cada cinco en determinado lugar, se deberá introducir la lluvia que se produzca con una probabilidad del 80%. El balance hídrico interesa porque permite definir el período durante el cual la vegetación será probablemente más activa, que corresponde al período real de crecimiento de los cultivos perennes y al ciclo vegetativo de los cultivos anuales. Estas consideraciones se refieren, desde luego, a la disponibilidad de agua. Existen otras condiciones que pueden limitar la actividad vegetativa durante el período de buena disponibilidad de agua, como por ejemplo las bajas temperaturas del aire o del suelo, como ocurre en el clima mediterráneo.

2. Tabla del balance hídrico

En las páginas 151 a 186 se reproduce la serie de tablas del balance hídrico de todas las estaciones de referencia utilizadas en la encuesta. La información se expone generalmente país por país y de norte a sur. En la parte inferior de la tabla podemos ver los valores mensuales de algunos parámetros, que explicamos a continuación:

E_t: valor de la evapotranspiración potencial estimado según la fórmula de Penman, como se explica en el capítulo precedente.

P: precipitación media. Por hipótesis se supone no se produce escurrimiento lateral y que toda la lluvia contribuye al balance hídrico.

Como ya hemos dicho, para calcular todas estas tablas hemos utilizado valores medios de la lluvia y la evapotranspiración. Si se desea obtener una probabilidad mejor que la media, se puede introducir un umbral determinado de probabilidad de lluvia, como por ejemplo 60%, 80%, en los cálculos. La cifra de la evapotranspiración puede seguir siendo la misma ya que este elemento muestra una variabilidad mucho menor.

DA: deficiencia de agua. Expresa la diferencia entre ET y P cuando la primera es mayor que la segunda.

EA: exceso de agua, cuando la lluvia es más importante que la evapotranspiración potencial.

Pérdida por evaporación: indica los valores muy bajos de lluvia mensual, generalmente inferiores a 5 mm, que no son tenidos en cuenta en el balance hídrico.

Almacenamiento de agua: conviene hacer una observación sobre la capacidad de almacenamiento del suelo. Como se sabe, la capacidad que el suelo tiene de almacenar agua varía mucho según su estructura, porosidad, profundidad, inclinación, etc. Sin embargo en esta encuesta, por tener carácter general, se ha decidido suponer que existe una capacidad de 100 mm (como hipótesis de trabajo) que corresponde a un valor medio. Por consiguiente, todas las tablas del balance hídrico así como las sucesivas deducciones han sido establecidas de acuerdo con esta hipótesis.

Por otra parte, para efectos de información, hemos representado el balance hídrico teniendo en cuenta el umbral de 200 mm. Este valor resulta más significativo en los climas caracterizados por una alternancia de estaciones muy húmedas y muy secas, donde la gran capacidad de almacenamiento del suelo, que aquí se supone que es de 200 mm, permitirá suavizar los períodos de retención crítica del agua.

Variación de almacenamiento: esta columna representa la evolución acumulativa del almacenamiento de agua desde un mínimo de 0 mm, que significa que no hay agua disponible para las plantas, hasta un máximo de 100 mm ó 200 mm, según el caso. Esta variación es consecuencia del balance mensual entre la lluvia y la evapotranspiración.

Almacenamiento: esta columna muestra la cantidad de agua almacenada en la sección del suelo aprovechado por las raíces, al final del mes que se estudia.

Escurrimiento: en esta columna se indica la cantidad de lluvia filtrada hasta más allá de la capa del suelo en donde el agua es absorbida por las raíces de las plantas, después de haberse producido la evapotranspiración y la posible restauración de la capacidad de almacenamiento hasta su valor total de 100 ó 200 mm.

Precipitación efectiva: es la diferencia entre precipitación y pérdida por evaporación y escurrimiento.

En vista de la escasez de datos, se ha reservado un espacio a la derecha del formulario para indicar el número de años que se han utilizado para establecer los valores medios de P y ET. En todos los cálculos se ha supuesto que durante todo el período durante el cual existe agua disponible, ET asume su valor potencial.

Períodos de disponibilidad de agua

La duración de los períodos durante los cuales la precipitación excede de la evapotranspiración potencial es quizás uno de los factores más útiles para determinar las posibilidades agrícolas de una zona. Este criterio se relaciona, desde luego, con la lluvia que se produce en la

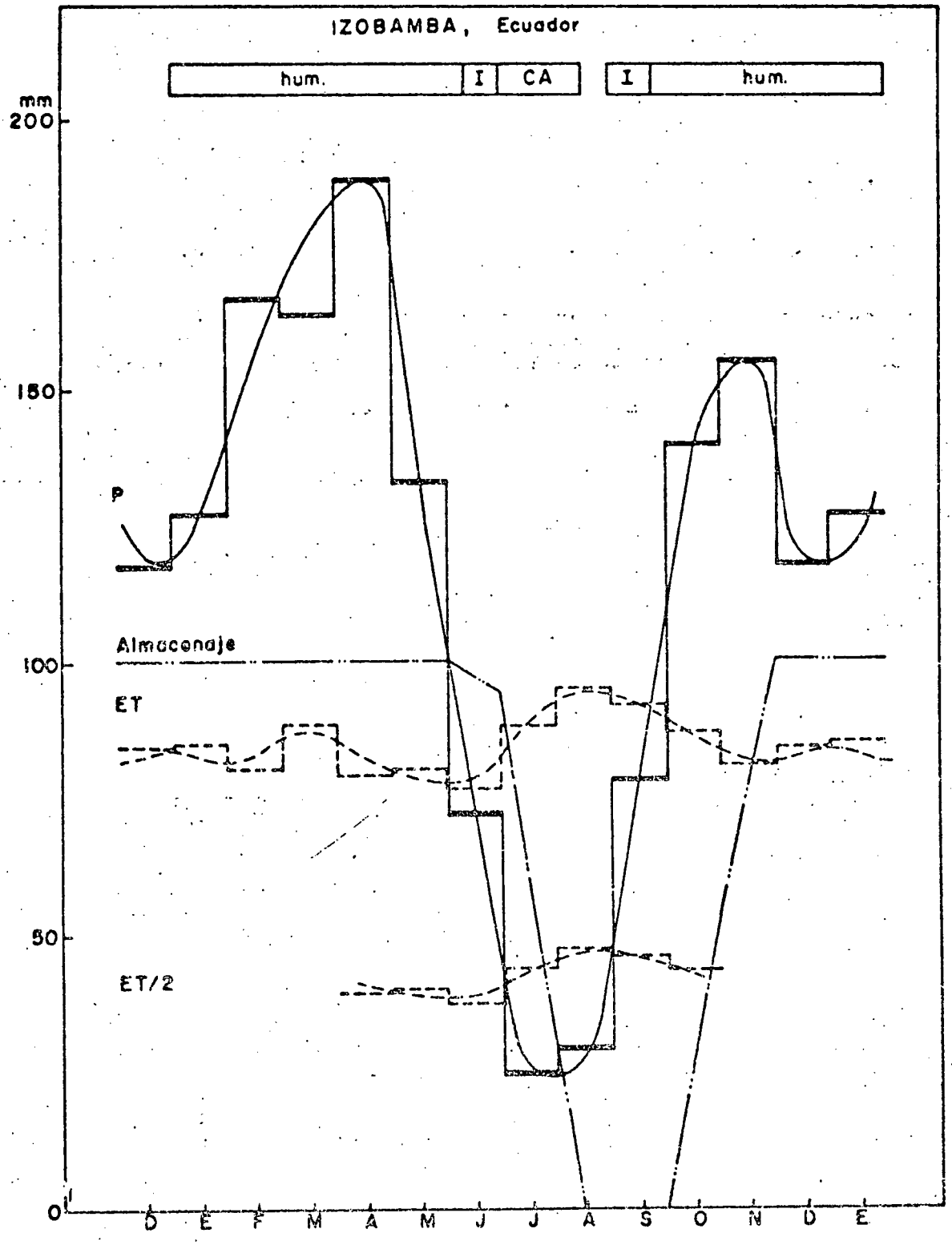


Figura 86 *Presentación gráfica del balance hídrico medio para Izobamba.*

zona, pero el conocimiento preciso de la duración del período o períodos con suficiente agua disponible para los cultivos sólo puede lograrse estableciendo el balance hídrico, teniendo en cuenta además la lluvia, la evapotranspiración y el almacenamiento de agua. Este concepto sirve muy bien además para definir las características de las variedades perfeccionadas de cultivos, como el denominado maíz de 120 días, etc. En la agricultura de secano, una de las tareas más importantes es sin duda el ajustar los cultivos disponibles al período vegetativo, entendiéndose por período vegetativo el plazo de tiempo durante el cual se dispone de agua suficiente y en el que se producen al mismo tiempo condiciones adecuadas de temperatura para el buen desarrollo de los cultivos.

Este criterio de longitud del período vegetativo es de especial importancia en esta encuesta, ya que las mismas especies de cultivos muestran marcadas diferencias de longitud de sus ciclos vegetativos. Como veremos en la segunda parte de la encuesta, el maíz por ejemplo puede tener ciclos vegetativos que varían entre menos de 150 días hasta más de 300, al pasar de 1000 m a 3000 m de altura.

En la caracterización de los distintos períodos del año se han utilizado los términos siguientes:

Período húmedo: durante el cual $P > ET$

Período intermedio: durante el cual $ET > P > \frac{ET}{2}$

Consumo de almacenamiento: período durante el cual $P > \frac{ET}{2}$, pero queda almacenada alguna agua en el suelo y permite que ET se mantenga en su valor potencial.

Esta cuestión ha sido muy discutida en la literatura especializada. Es cierto que en cuanto se considera que la evapotranspiración de las plantas está por debajo de su valor potencial, es decir, cuando P es menor que la evapotranspiración potencial, el control biológico de la evapotranspiración pasa a ser mucho más eficaz y actúa de modos muy distintos según el cultivo.

Como en nuestro caso no se puede aplicar regla general alguna, hemos elegido el criterio más severo, es decir, que los cálculos se fundan en un consumo del agua almacenada aplicando un valor potencial, con lo cual se obtiene el período más corto para esta fase.

Los cálculos gráficos correspondientes a la estación de Izobamba se representan en la figura 86, en la que intervienen todos los parámetros antes mencionados. De acuerdo con los criterios precedentes, puede verse que en todo el año podemos hallar los períodos siguientes:

Del	26	de	septiembre	al	10 de junio:	período húmedo
"	11	"	junio	"	30 " " :	período intermedio
"	1°	"	julio	"	15 " agosto	consumo del agua almacenada
"	16	"	agosto	"	31 " agosto:	período seco
"	1°	"	septiembre	"	25 " septiembre:	período intermedio

De acuerdo con las indicaciones que figuran en la tabla del balance hídrico, vemos que el período húmedo es de 258 días, el cual, teniendo en cuenta el período intermedio, se prolonga hasta 303 días. Observamos que de los 60 días restantes, 45 se caracterizan en general por la disponibilidad de agua almacenada (véase figura 62). En las montañas de latitud

más tropical veremos que el período vegetativo, caracterizado por la disponibilidad de agua, decrecerá en longitud e intensidad, lo cual se pone de manifiesto por la ausencia de períodos húmedos. En Huaraz por ejemplo la longitud del período húmedo es de sólo 100 días, que se amplían a 210 teniendo en cuenta los períodos intermedios. Oruro se caracteriza por la ausencia de período húmedo y por un período intermedio de sólo 90 días.

BALANCE HIDRICO ESTACION: Izobamba PAIS: Ecuador METODO: Penman

Fechas	P. Pr. I	P. Int. I	P. Hum. I	F. Hum. I	F. Int. I	C. Alm. I	P. Pr. II	P. Int. II	P. Hum II	F. Hum. II	F. Int. II	C. Alm. II
		1/9	25/9	10/6	30/6	15/8						

Duración días	Prep. I	Interm. I	Hum. I	C. Alm. I	Prep. II	Interm. II	Hum. II	C. Alm. II	Et	P
		303	258	45					10 años	10 años

	mm					Almacenaje 100 mm				Almacenaje 200 mm			
	Et	P	Def. Agua DA	Exced. Agua EA	Pérdida por Evap.	Var. de Almac.	Almac.	Escurr	Precip. effect.	Var. de Almac.	Almac.	Escurr	Precip. effect.
E	85	127		42			100	42	85		200	42	85
F	80	167		87			100	87	80		200	87	80
M	88	164		76			100	76	88		200	76	88
A	79	189		110			100	110	79		100	110	79
M	80	133		53			100	53	80		100	53	80
J	77	72	5			-5	95		72	-5	195		72
J	88	24	64			-64	31		24	-64	131		24
A	95	29	66			-31	0		29	-66	65		29
S	92	78	14				0		78	-14	51		78
O	87	140		53		+53	53		140	+53	104		140
N	81	155		74		+47	100	27	128	+74	178		155
D	84	118		34			100	34	84	+22	200	12	106
TOTAL	1015	1396	149	529				429	979			380	1016

Figura 87 Formulario modelo utilizado para el cálculo del balance hídrico.

Como decimos anteriormente, a las limitaciones de la disponibilidad de agua tenemos que añadir otras fuertes limitaciones impuestas por las temperaturas mínimas de las latitudes tropicales, cuando el terreno está por encima de 2500 m.

3. Resultados tabulados

Los resultados detallados se refieren en primer lugar a la tabla 92 que muestra para cada una de las estaciones de referencia utilizadas en la encuesta el exceso y déficit de agua según se deducen de las diferencias entre la lluvia y la evapotranspiración, sin tener en cuenta el agua almacenada en el suelo. Los excesos de agua se representan por valores positivos y los déficits por negativos. Los respectivos valores anuales acumulativos de los excesos y déficits de agua también figuran en estas tablas.

Como se verá, algunos lugares con menor lluvia anual pueden mostrar un balance hídrico mucho mejor que otros que disponen de mayores cantidades de lluvia, aunque tienen períodos de grandes excesos y déficits de agua.

En la figura 93 hemos representado también un gráfico que indica, para todas las estaciones de referencia, la distribución del año en varios períodos: húmedo, intermedio y seco, tal como fueron descritos anteriormente. Puede verse en este gráfico que toda la zona septentrional de la encuesta, aproximadamente hasta Quito, se caracteriza por la presencia de un período húmedo muy largo que en las estaciones menos lluviosas muestra una estructura bimodal de la distribución de la humedad. Algunas estaciones muy húmedas situadas a altitudes intermedias, con frecuencia en la vertiente oriental, tienen un clima que no experimenta déficits de agua durante el año. Estos climas, favorecidos por una situación ecuatorial y no muy afectados por las sequías, resultan especialmente adecuados para los cultivos perennes, especialmente el café a altitudes intermedias.

Más al sur, teniendo en cuenta la gran distancia que existe desde la posición media de la zona de convergencia intertropical definida en el capítulo IV y que se sitúa aproximadamente 4° N, así como el cambio de orientación de la cordillera, el clima cambia de manera bastante brusca y pasa a ser monomodal con una acentuada estación seca cuya longitud aumenta hacia el sur.

Existen excepciones notables de este comportamiento, que se ilustran en las estaciones de San Ramón, Quillabamba y Chulumani. Dichas estaciones, por estar situadas a altitudes relativamente bajas y en la vertiente oriental de los Andes, reciben una cantidad relativamente grande de lluvia advectada desde las llanuras amazónicas.

También es notable que algunas estaciones como Huancabamba y Arequipa se caractericen por una lluvia que permanece constante durante todo el año por debajo del nivel equivalente a la mitad de la evapotranspiración potencial.

Esta tabla muestra en particular las sorprendentes diferencias de posibilidades agrícolas que existen entre las regiones montañosas de Colombia y las correspondientes de Bolivia, en donde la muy corta estación limitada por la disponibilidad de agua implica también la imposibilidad de ampliar dicha estación mediante riegos complementarios, en vista del peligro de heladas que se manifiesta a medida que la altitud excede de 2000 m.

En vista de todo ello, los gráficos de la disponibilidad de agua de las estaciones afectadas por el peligro de heladas deben ir siempre acompañados de otro gráfico que indique el período libre de heladas.

4. Demanda de agua de los cultivos

La información contenida en este capítulo tiene por objeto determinar las zonas que tienen características bien definidas en lo que respecta a la disponibilidad de agua, fundándose en estimaciones medias de la lluvia y la evapotranspiración. Para que estos resultados puedan ser aplicados a los cultivos que realmente se crían, es preciso estudiarlos y ajustarlos teniendo presente el uso consuntivo preciso de los cultivos durante cada una de sus fases de desarrollo.

BALANCE HIDRICO Cultivo: MAIZ País: PERU

Lugar: HUANCAYO Lat: 12°02' S Long: 75° 20' W Alt: 3350 m

No: Metodo: PENNAN Cap. de almacenaje: 100 mm

$\bar{P}$ anual: 739 mm P 80 %: 650 mm P 80/$\bar{P}$ anual:

Periodo: ET 10 AÑOS
P 30 AÑOS

Indice de disponibilidad hídrica = % de demanda del cultivo satisfecho por precipitación en 4 años de cada 5.

PERIODO, MES O DECADA	ET mm	Coef. Cultivo	Demanda Cultivo (DC) mm	P mm	Coef. P80/$\bar{P}$	P80% mm	DC - P mm	P - DC mm	Var. Almac. mm	Total Almac. mm	Excedente mm	Deficit mm	Precip. effect mm
SEP.	89			48		25			+15	15			15
OCT.	106			71		49			+35	50			35
NOV. (20)	103	0.5	52	66		42	10		- 10	40			42
DIC. (31)	98	0.8	78	98		70	8		- 8	32			70
ENE. (31)	92	1.0	92	126		92				32			92
FEB. (28)	83	1.1	91	120		84	7		- 7	25			84
MAR. (31)	85	1.0	85	113		70	15		- 15	10			70
ABR. (30)	72	0.6	43	52		33	10		- 10	0			33
MAYO	62			28		4				0			0
SUMA (170 DIAS)			441	694		465							441

PERIODO, MES O DECADA	A = ΣP80	B = ΣEx	C = ΣDC	ID = (A-B)/C	
	465	0	441	105	

Figura 88 Balance hídrico detallado basado en un 80% de probabilidad de lluvia y en el consumo efectivo de agua de un cultivo imaginario standard para Huancayo..

Se puede preparar un balance hídrico mucho más detallado cuando se conozcan estas demandas de los cultivos, así como la longitud del ciclo de crecimiento, por ejemplo la duración máxima y mínima bajo diferentes circunstancias.

Una de las formas que se sugieren se presenta en la figura 88 donde las columnas de izquierda a derecha son las siguientes: ET mm, coeficiente del cultivo dependiente de la fase de crecimiento, demanda del cultivo en mm, precipitación media, precipitación con 80% de probabilidad (si está disponible), deficit (demanda del cultivo - p), exceso, variación en almacenamiento del suelo, total de agua en almacenamiento, excedente sobre almacenamiento, deficit real después de que almacenamiento = 0 y precipitación efectiva. Más hacia la derecha se encuentra el cálculo para el índice de disponibilidad hídrica, que define el porciento del agua requerida por el cultivo que es satisfecho por la precipitación, para diferentes duraciones del ciclo o para diferentes cultivos (Woodhead, inf. pers.).

Este índice de disponibilidad hídrica es una indicación de muy sencilla utilización para el riesgo involucrado en la plantación de determinado cultivo en tal lugar. Un formulario en blanco para la reproducción puede encontrarse en el anexo.

5. Balance hídrico del tipo Thornthwaite

Otro sistema para calcular un balance hídrico promedio es el de Thornthwaite-Mather (1957) que está bastante difundido en América Latina. Los datos necesarios de insumos para la evapotranspiración potencial se calculan también, a menudo, con el método de Thornthwaite. Normalmente, con este método se hacen dos presunciones, a saber, una presunta capacidad de almacenamiento hídrico del suelo de 300 mm y una presunta extracción de esta agua proporcional a la cantidad de agua actualmente almacenada en el suelo. Cuando la precipitación pluvial es insuficiente para cubrir la evapotranspiración potencial, dejando por ejemplo un déficit de 80 mm, y cuando en el suelo se han almacenado 200 mm, entonces se podrá contar sólo con 200/300 de estos 80 mm, o sea 53 mm. Toda lluvia que caiga durante este mes se agrega a los 53 mm y la suma se denomina evapotranspiración efectiva. Deben anotarse algunas diferencias importantes cuando se interpretan los balances hídricos del tipo Thornthwaite. Primeramente, la presunta capacidad de almacenamiento hídrico del suelo de 300 mm parece ser demasiado elevado en muchos casos, y en particular cuando los suelos no son muy profundos o cuando los cultivos anuales tienen raíces menos profundas que las plantas perennes. En segundo lugar, los valores de ET resultantes de los cálculos Thornthwaite son a menudo considerablemente inferiores que los obtenidos con el método de Penman, que se considera que da cifras más reales, tal como se explica en el capítulo precedente.

En tercer lugar, la definición de evapotranspiración efectiva no toma en cuenta el tipo de cultivo ni su estadio de crecimiento o desarrollo, del cual depende la demanda de agua. La palabra "efectiva" debe interpretarse más bien como el máximo posible de evapotranspiración dentro de la definición dada de extracción de agua proporcional para el suelo. En la tabla 89 y figuras 90 y 91 se da unos ejemplos de cálculo y presentación gráfica, y otro ejemplo se halla en el capítulo sobre la papa. Ambos se basan en la estimación Penman de la ET y en una capacidad de almacenamiento hídrico del suelo de 100 mm.

	J	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	Σ
ET	67	77	89	108	103	98	92	83	85	72	62	52	988
P	9	19	48	71	66	98	126	107	113	52	28	3	740
P-ET	-58	-58	-41	-35	-37	0	+34	+24	+28	-20	-34	-49	-332 +85
Almac.	10	4	3	2	1	1	35	59	87	70	46	24	
Var.	-14	- 6	- 1	- 1	- 1	0	+34	+ 24	+ 28	- 17	- 24	-22	
E act.	23	25	49	72	67	98	92	83	85	69	52	25	740
DA	44	52	40	34	36	0	0	0	0	3	10	27	246

Tabla 89 *Ejemplo de cálculo del balance hídrico según Thornthwaite para Huancayo.*

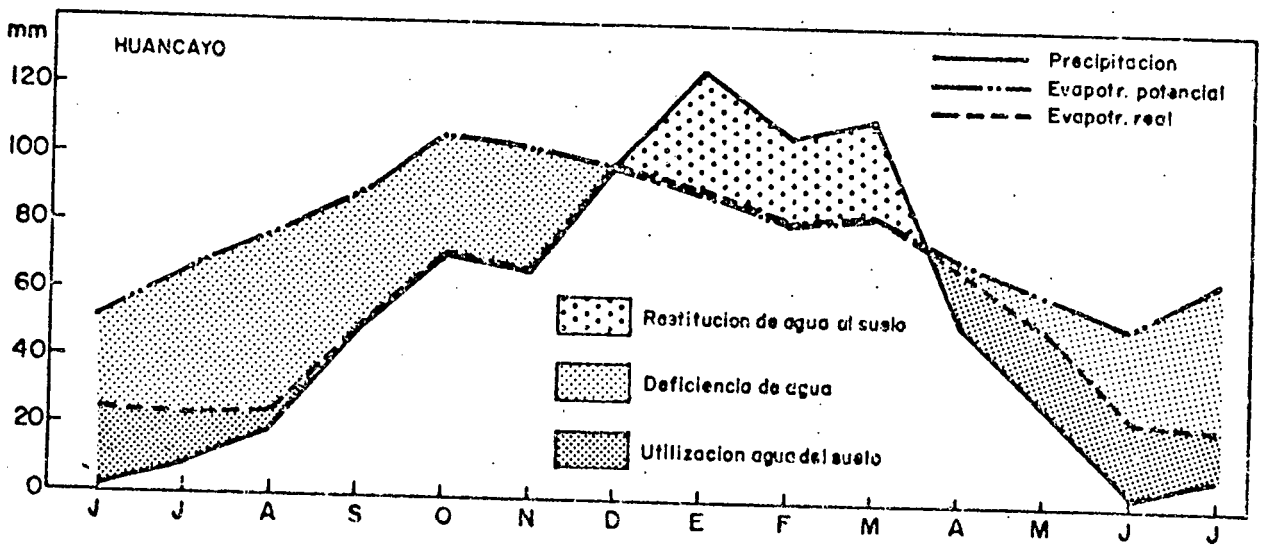


Figura 90 *Presentación gráfica del balance hídrico según Thornthwaite para Huancayo.*

Se publican estos balances hídricos para 60 estaciones ecuatorianas (SNMH 1965, 1966), y también para 26 estaciones bolivianas (SNMH 1971). En ambos casos los datos de ET son calculados con el método de Thornthwaite.

Balances hídricos para períodos menores de un mes y para años individuales, pueden encontrarse en algunos de los capítulos sobre cultivos en la segunda parte de esta encuesta y en el capítulo sobre precipitación. En el anexo se puede encontrar algunos formularios en blanco para reproducción.

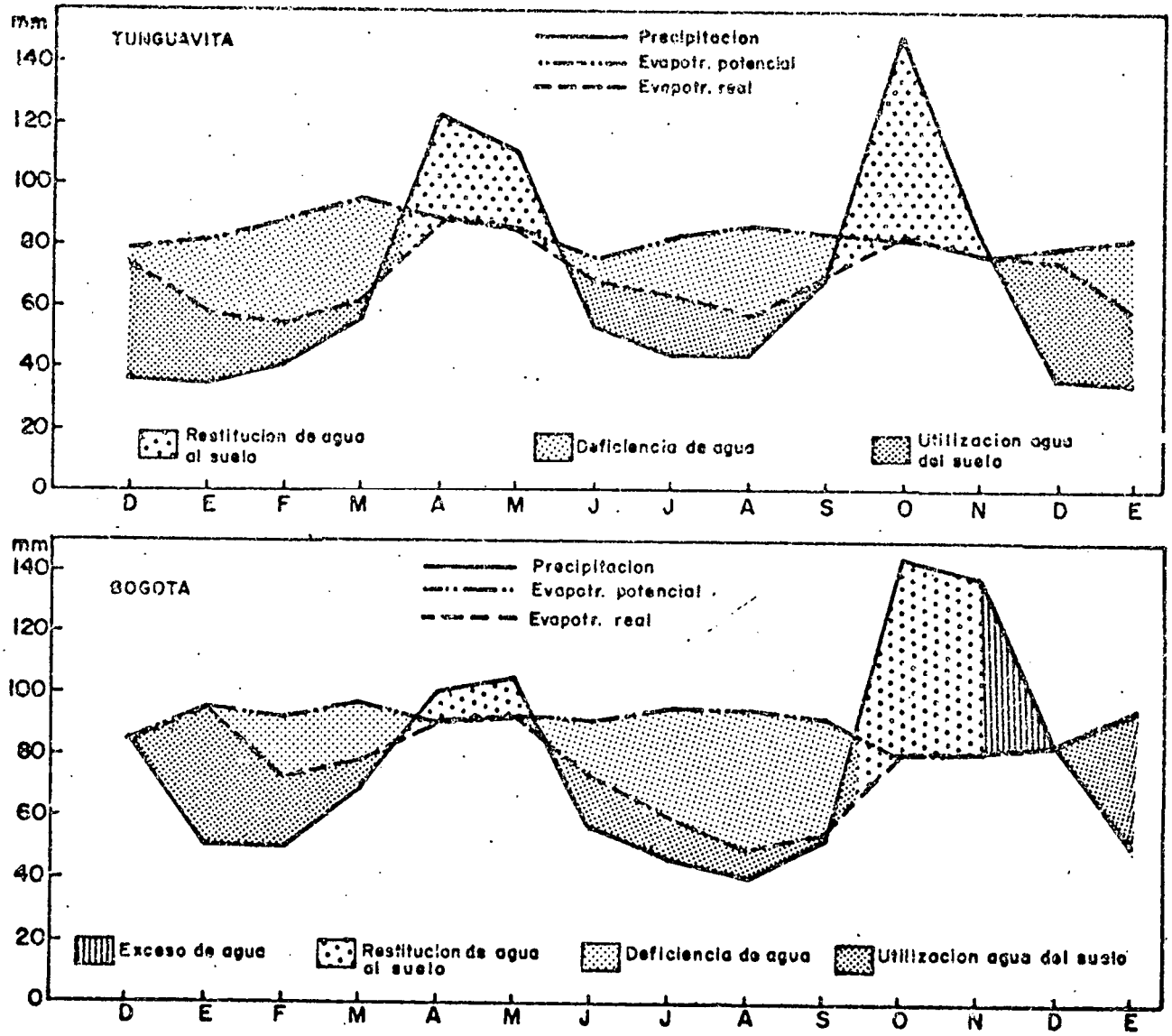


Figura 91 *Balances hídricos de tipo Thronthwaite para Tunguavita y Bogotá.*

Referencias - Balance Hídrico

SNMH 1965, 1966 — Balance hídrico de localidades ecuatorianas. Sección de agromet. Public. 1 y 2. Quito

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología. 1971 — Balance hídrico de localidades bolivianas. Dep. de Meteorología, La Paz

Thornthwiate, C.W. y Mather, J.R. 1957 — Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance. Publ. in Climatology Vol.X, no.3. Centerton, N.Y.

PROMEDIO MENSUAL Y ANUAL DE LAS DEFICIENCIAS Y EXCESOS DE AGUA

ESTACIONES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	SUMA DEF. / EXC.
MUCUCHIES	-70	-73	-74	-14	33	21	26	4	-12	-14	-37	-66	363/84
MERIDA	-46	-81	-75	59	142	74	23	13	74	140	101	- 1	183/626
BAILADORES	-49	-63	-71	30	10	-15	-43	-52	-53	7	6	-44	390/ 53
BRAMON	-52	-31	-48	40	27	74	58	10	-12	38	50	-13	156/293
BLONAY-CHINCOTA	-34	- 8	-34	209	71	67	-10	-15	48	134	170	43	101/742
SALAZAR	9	47	4	290	192	75	-15	27	174	17	412	218	15/1465
SAN VINCENTE	16	15	6	139	120	56	-12	35	29	164	164	17	12/761
MEDELLIN	-65	-56	-36	59	76	31	— 4	14	20	72	16	-28	189/288
TUNGUAVITA	-47	-46	-38	34	25	-23	-38	-41	-15	65	7	-42	290/131
SONSON	-22	16	41	125	156	129	70	71	130	173	193	81	22/1165
LIBANO	15	40	114	194	149	76	25	26	110	217	193	76	- /1235
CHINCHINA	43	49	92	192	188	112	48	57	72	216	186	105	- /1382
ANOLAIMA	- 7	- 6	- 14	80	60	0	-40	-52	0	104	64	32	119/340
BOGOTA	-44	-42	-26	10	13	-34	-48	-54	-40	64	57	1	290/145
CHAPETON-IBAQUE	- 9	28	96	144	114	87	27	24	28	131	117	62	9/858
USME	-42	-27	-23	62	85	108	106	43	18	74	27	-28	120/523
TIBACUY	-34	-19	- 7	39	28	-18	-52	-61	-45	81	101	10	236/259
SEVILLA	4	22	53	194	96	74	- 8	-11	51	182	145	67	19/886
PALMIRA	-35	-30	-10	50	29	-15	-66	-86	-54	48	33	-20	316/160
MIRANDA	40	10	28	95	46	-29	-64	-42	-27	57	118	89	162/483
LAURELES	12	11	29	20	27	17	- 4	13	3	98	144	-31	35/374
FLORIDA-POPAYAN	67	61	70	104	56	17	-49	-63	- 1	189	219	194	113/977
PASTO OBONUCO	-25	-17	-20	15	-23	-19	-50	-56	-48	23	38	21	258/ 97
TULCAN	- 5	- 4	0	19	2	-18	-52	-51	-43	20	35	19	173/ 95
IBARRA	-43	-35	-30	26	-12	-38	-79	-89	-84	-19	- 8	-41	462/ 26
QUITO	36	59	66	98	48	-26	-67	-72	- 7	44	36	20	172/407
IZOBAMBA	42	87	76	110	53	- 5	-64	-66	-14	53	74	34	149/529
LATACUNGA	-67	-40	-43	-21	-47	-48	-73	-80	-77	-43	-40	-54	633/ -
AMBATO	-54	-44	-43	-25	-34	-39	-59	-86	-64	-50	-45	-81	584/ -
PUYO	218	233	303	380	250	309	301	227	242	276	271	264	- /3274
RIOBAMBA	-73	-50	-49	-35	-56	-42	-74	-78	-71	-54	-51	-68	701/ -
CAÑAR	-45	-20	-28	-20	-60	-44	-79	-87	-74	-50	-47	-60	615/ -
CUENCA	-24	- 9	- 7	17	-12	-16	-57	-70	-37	20	3	-33	267/ 40
S. ISABEL	-43	-26	23	- 8	-49	-72	-100	-106	-93	-94	-91	-82	744/ 23
LA ARGELIA LOJA	-11	- 5	7	- 5	-34	-21	-47	-51	-47	-39	-48	-35	353/ 7

Tabla 92 *Balances hídricos de tipo Thornthwaite para Tunguavita y Bogotá.*

PROMEDIO MENSUAL Y ANUAL DE LAS DEFICIENCIAS Y EXCESOS DE AGUA

ESTACIONES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	SUMA DEF. / EXC.
HUANCABAMBA	-80	-69	-70	-66	-61	-90	-107	-122	-112	-94	-75	-91	1077 / -
CHACHAPOYAS	-14	5	15	-7	-44	-55	-54	-61	-44	-3	-38	-30	350 / 20
CAJAMARCA	-9	-11	5	-2	-58	-82	-100	-102	-86	-17	-29	-31	527 / 5
HUARAZ	18	38	40	-9	-53	-69	-76	-83	-69	-45	-13	-36	453 / 96
HUANUCO	-66	-40	-59	-79	-85	-78	-85	-94	-94	-76	-76	-71	903 / -
LANPAS BAJO N 3	12	61	82	-2	-51	-58	-72	-79	-105	-62	-52	-49	530/155
CERRO DE PASCO	33	72	70	22	-16	-39	-33	-34	-10	16	24	49	132 / 266
SAN RAMON	153	159	149	103	12	-21	-14	-69	37	60	8	108	104 / 780
LA OROYA	-22	-8	-21	-32	-44	-50	-53	-49	-48	-44	-35	-26	432 / -
HUANCAYO	34	24	28	-20	-34	-49	-56	-58	-41	-35	-37	0	332 / 86
QUILLABAMBA	19	36	51	-45	-78	-68	-70	-84	-53	-36	-25	22	459 / 128
HUAMANGA	-9	10	8	-61	-70	-61	-68	-87	-79	-79	-83	-35	632 / 18
CUZCO - KAYRA	27	39	14	-51	-65	-63	-64	-84	-69	-65	-50	20	511 / 100
ABANCAY	-7	20	26	-60	-65	-58	-62	-79	-73	-72	-68	-51	595 / 46
CHUQUIBAMBILLA	42	50	50	-19	-41	-44	-52	-69	-57	-49	-27	51	358 / 193
CAYLLOMA	33	85	51	-26	-52	-44	-56	-69	-66	-74	-77	8	464 / 177
CUENCA RIO VERDE	47	55	49	-29	-33	-43	-47	-59	-51	-54	-40	45	356 / 196
PUNO (GR. SALC.)	9	39	35	-59	-75	-87	-65	-79	-66	-80	-64	7	575 / 90
AREQUIPA	-93	-76	-97	-91	-75	-67	-67	-87	-100	-116	-124	-123	1116 / -
DESAGUADERO	6	27	-11	-58	-54	-53	-59	-79	-80	-106	-88	-9	595 / 33
PAUCARANI	-30	2	-9	-72	-87	-52	-61	-64	-81	-98	-74	-42	670 / 2
EL BELEN	5	-11	-29	-40	-24	-40	-43	-50	-49	-64	-47	-5	402 / 5
CHULUMANI	30	103	20	-45	-48	-53	-56	-37	-14	-31	-20	47	304 / 200
LA PAZ (C.)	19	5	-24	-49	-48	-40	-45	-55	-43	-62	-50	-9	425 / 24
PATACAMAYA	-32	-31	-53	-61	-51	-42	-48	-56	-47	-93	-86	-46	646 / -
COCHABAMBA	-17	-6	-49	-70	-59	-44	-52	-76	-104	-119	-93	-37	726 / -
TOTORA	19	28	-20	-61	-69	-50	-58	-76	-95	-98	-61	-16	604 / 47
ORURO	-51	-29	-65	-73	-63	-50	-57	-74	-79	-109	-107	-71	828 / -
TACAGUA	-58	-30	-38	-65	-53	-39	-47	-62	-58	-102	-88	-48	688 / -
SUCRE	25	8	-42	-65	-68	-57	-61	-74	-72	-91	-64	-19	613 / 33
PADILLA	-6	4	-34	-62	-58	-51	-58	-77	-78	-73	-63	-18	578 / 4
PUNA	-31	-9	-40	-53	-52	-41	-49	-61	-68	-91	-44	-33	572 / -1
OPLOCA	-72	-51	-87	-81	-81	-46	-50	-70	-92	-124	-115	-80	929 / -
VILLAZON	-53	-40	-55	-60	-44	-32	-37	-54	-74	-95	-98	-22	664 / -

Tabla 92 Déficits mensuales y anuales y excesos de agua (P-ET) para las 69 estaciones de referencia.

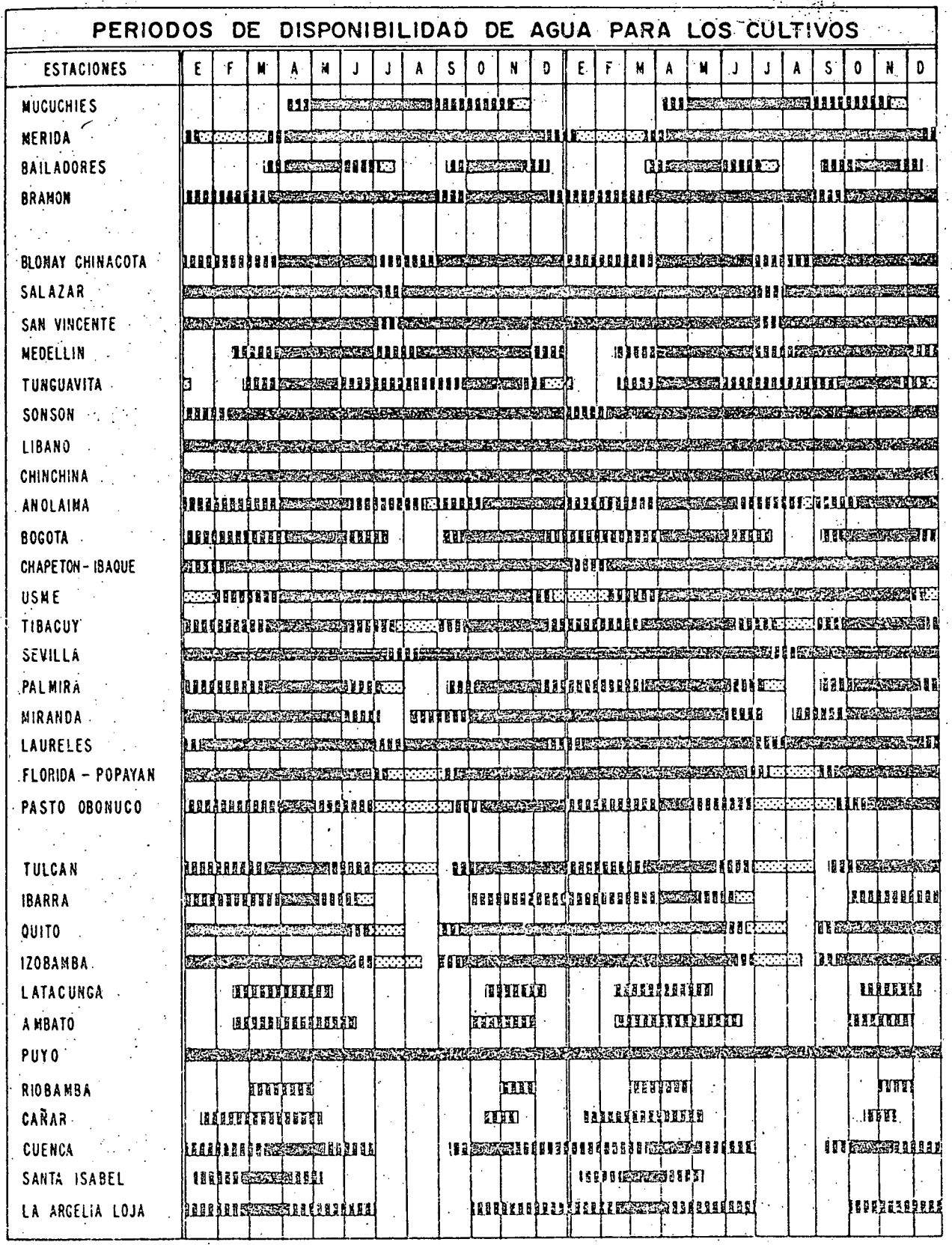


Figura 93a *Períodos de disponibilidad hídrica basados en los balances hídricos para las 69 estaciones de referencia.*

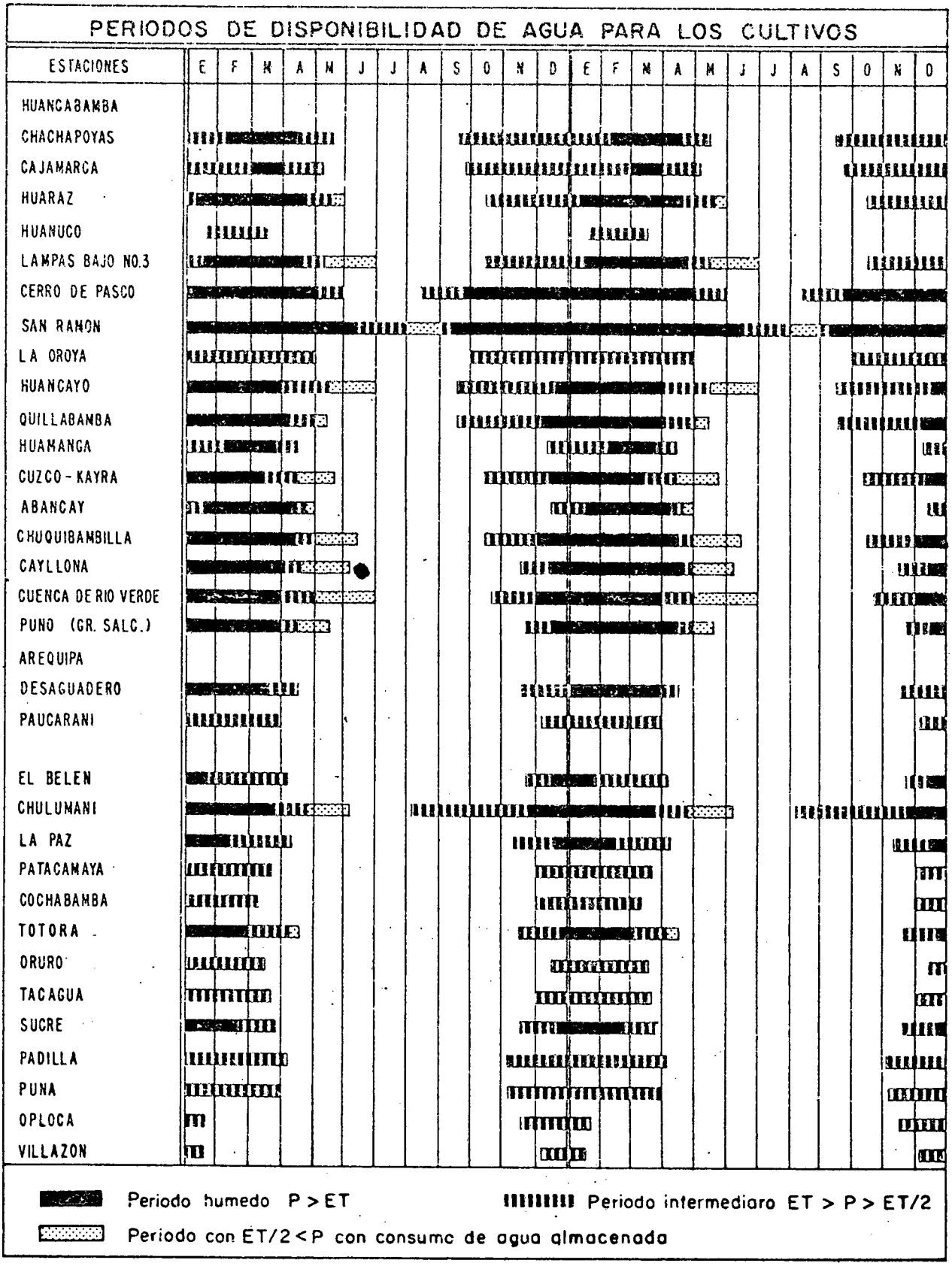


Figura 93b *Periodos de disponibilidad hídrica basados en los balances hídricos para las 69 estaciones de referencia.*

BALANCE HIDRICO ESTACION Mucuchies PAIS: Venezuela METODO: Penman

Fechas	P. Pr I	P Int I	P Hum I	F Hum I	F Int I	C Alm I	P Pr II	P Int II	P Hum II	F Hum II	F Int II	C. Alm. II
		10/4	25/4	20/8	15/11	30/11						

Duración días	Prep I	Interm I	Hum I	C Alm I	Prep II	Interm II	Hum II	C. Alm II	Et P 5 años	10 años
		230	117	15						

	mm					Almacenaje 100 mm				Almacenaje 200 mm			
	Et	P	Def. Agua DA	Exced. Agua EA	Pérdida por Evap.	Var de Almac	Almac	Escurr	Precip. effect	Var de Almac	Almac.	Escurr.	Precip effect
E	74	4	70		4		0		0		0		0
F	83	10	73				0		10		0		10
M	91	14	77				0		14		0		14
A	83	69	14				0		69		0		69
M	68	101		33		+33	33		101	+33	33		101
J	79	100		21		+21	54		100	+21	54		100
J	77	103		26		+26	80		103	+26	80		103
A	83	87		4		+ 4	84		87	+ 4	84		87
S	84	72	12			-12	72		72	-12	72		72
O	87	73	14			-14	58		73	-14	58		73
N	73	36	37			-37	21		36	-37	21		36
D	73	7	66			-21	0		7	-21	0		7
TOTAL	955	676	363	84	4				672				672

BALANCE HIDRICO ESTACION: Merida PAIS: Venezuela METODO. Penman

Fechas	P. Pr I	P Int. I	P. Hum. I	F. Hum. I	F. Int I	C. Alm I	P Pr. II	P. Int. II	P Hum II	F Hum II	F Int. II	C. Alm. II
		20/3	5/4	15/12	15/1	28/2						

Duración días	Prep. I	Interm. I	Hum. I	C Alm. I	Prep. II	Interm II	Hum. II	C Alm II	Et P 5 años	10 años
		301	254	43						

	mm					Almacenaje 100 mm				Almacenaje 200 mm			
	Et	P	Def. Agua DA	Exced. Agua EA	Pérdida por Evap.	Var. de Almac	Almac	Escurr	Precip. effect.	Var de Almac	Almac.	Escurr	Precip effect
E	95	49	46			-46	53		49	-46	153		49
F	96	35	61			-53	0		35	-61	92		35
M	117	42	75				0		42	-75	17		42
A	106	165		59		+59	59		165	+59	76		165
M	114	256		142		+41	100	101	155	+124	200	18	238
J	99	173		74			100	74	99		200	74	99
J	97	120		23			100	23	97		200	23	97
A	109	122		13			100	13	109		200	13	109
S	109	183		74			100	74	109		200	74	109
O	102	242		140			100	140	102		200	140	102
N	89	190		101			100	101	89		200	101	89
D	92	91	1			- 1	99		91	- 1	199		91
TOTAL	1225	1668	183	626				526	1142			443	1225

BALANCE HIDRICO

ESTACION: Bailadores PAIS: Venezuela METODO: Penman

Fechas	P. Pr. I	P Int I	P. Hum I	F. Hum. I	F. Int. I	C. Alm. I	P. Pr. II	P Int. II	P Hum II	F. Hum. II	F. Int. II	C. Alm. II
		20/3	5/4	31/5	10/7	25/7		10/9	10/10	20/11	15/12	
Duración días	Prep. I	Interm. I	Hum. I	C. Alm. I	Prep. II	Interm II	Hum II	C. Alm II	Et		P	
		112	56	15		96	41			5 años		10 años

	mm					Almacenaje 100 mm				Almacenaje 200 mm			
	Et	P	Def. Agua DA	Exced. Agua EA	Pérdida por Evap.	Var. de Almac.	Almac.	Escurr.	Precip. effect.	Var. de Almac.	Almac.	Escurr.	Precip. effect.
E	69	20	49				0		20		0		20
F	81	18	63				0		18		0		18
M	88	17	71				0		17		0		17
A	88	118		30		+30	30		118	+30	30		118
M	87	97		10		+10	40		97	+10	40		97
J	91	76	15			-15	25		76	-15	25		76
J	78	35	43			-25	0		35	-25	0		35
A	95	43	52				0		43		0		43
S	97	44	53				0		44		0		44
O	87	94		7		+ 7	7		94	+ 7	7		94
N	78	84		6		+ 6	13		84	+ 6	13		84
D	73	29	44			-13	0		29	-13	0		29
TOTAL	1012	675	390	53					675				675

BALANCE HIDRICO

ESTACION: Bramon PAIS: Venezuela METODO: Penman

Fechas	P. Pr. I	P Int. I	P. Hum. I	F. Hum. I	F. Int. I	C. Alm. I	P. Pr. II	P Int. II	P Hum II	F. Hum. II	F. Int. II	C. Alm. II
		1/2	20/3	31/8	15/9			16/9	1/10	15/12	31/1	
Duración días	Prep. I	Interm. I	Hum. I	C. Alm. I	Prep. II	Interm. II	Hum. II	C. Alm. II	Et		P	
		227	164	15		137	76			5 años		10 años

	mm					Almacenaje 100 mm				Almacenaje 200 mm			
	Et	P	Def. Agua DA	Exced. Agua EA	Pérdida por Evap.	Var. de Almac.	Almac.	Escurr.	Precip. effect.	Var. de Almac.	Almac.	Escurr.	Precip effect.
E	94	42	52			-52	35		42	-52	135		42
F	79	48	31			-31	4		48	-31	104		48
M	96	48	48			- 4	0		48	-48	56		48
A	84	124		40		+40	40		124	+40	96		124
M	110	137		27		+27	67		137	+27	123		137
J	104	178		74		+33	100	41	137	+74	197		178
J	102	160		58			100	58	102	+ 3	200	55	105
A	113	123		10			100	10	113		200	10	113
S	112	100	12			-12	88		100	-12	188		100
O	106	144		38		+12	100	26	118	+12	200	26	118
N	96	146		50			100	50	96		200	50	96
D	89	76	13			-13	87		76	-13	187		76
TOTAL	1185	1326	156	297				185	1141			141	1185

BALANCE HIDRICO ESTACION: Blonay Chinacota PAIS: Colombia METODO: Penman

Fechas	P. Pr. I	P Int I	P Hum. I	F Hum. I	F Int I	C. Alm. I	P Pr II	P Int II	P Hum II	F. Hum II	F Int II	C. Alm. II
		15/2	1/4	30/6	31/7			1/8	1/9	31/12	15/2	
Duración días	Prep I	Interm. I	Hum. I	C Alm I	Prep II	Interm II	Hum II	C. Alm II	Et		P	
		166	91			137	122		15 años		15 años	

	mm					Almacenaje 100 mm				Almacenaje 200 mm			
	Et	P	Def. Agua DA	Exced. Agua EA	Pérdida por Evap.	Var de Almac.	Almac.	Escurr	Precip. effect.	Var. de Almac.	Almac.	Escurr.	Precip. effect.
E	81	47	34			-34	66		7	-34	166		47
F	80	72	8			-8	58		72	-8	158		72
M	85	51	34			-34	24		51	-34	124		51
A	89	298		209		+76	100	133	165	+76	200	133	165
M	96	167		71		0	100	71	96	0	200	71	96
J	84	151		67		0	100	67	84	0	200	67	84
J	92	82	10			-10	90		82	-10	190		82
A	96	81	15			-15	75		81	-15	175		81
S	96	144		48		+25	100	23	121	+25	200	23	121
O	92	226		134		0	100	134	92	0	200	134	92
N	81	251		170		0	100	170	81	0	200	170.	81
D	79	122		43		0	100	43	79	0	200	43	79
TOTAL	1051	1692	101	742				641	1051			641	1051

BALANCE HIDRICO ESTACION: Salazar PAIS: Colombia METODO: Penman

Fechas	P. Pr. I	P. Int. I	P. Hum. I	F. Hum. I	F. Int. I	C. Alm. I	P. Pr. II	P. Int. II	P Hum. II	F. Hum. II	F. Int. II	C. Alm. II
		15/7	2/8	5/7	14/7							
Duración días	Prep. I	Interm. I	Hum. I	C. Alm. I	Prep. II	Interm. II	Hum. II	C. Alm. II	Et		P	
		27	338						15 años		15 años	

	mm					Almacenaje 100 mm				Almacenaje 200 mm			
	Et	P	Def. Agua DA	Exced. Agua EA	Pérdida por Evap.	Var. de Almac.	Almac.	Escurr.	Precip. effect.	Var. de Almac.	Almac.	Escurr.	Precip. effect.
E	89	98		9		0	100	9	89	0	200	9	89
F	85	132		47		0	100	47	85	0	200	47	85
M	98	102		4		0	100	4	98	0	200	4	98
A	90	380		290		0	100	290	90	0	200	290	90
M	100	292		192		0	100	192	100	0	200	192	100
J	97	172		75		0	100	75	97	0	200	75	97
J	97	82	15			-15	85		82	-15	185		82
A	111	138		27		+15	100	12	126	+15	200	12	126
S	103	277		174		0	100	174	103	0	200	174	103
O	98	115		17		0	100	17	98	0	200	17	98
N	87	499		412		0	100	412	87	0	200	412	87
D	82	300		218		0	100	218	82	0	200	218	82
TOTAL	1137	2587	15	1465				1450	1137			1450	1137

BALANCE HIDRICO

ESTACION: San Vincente PAIS: Colombia METODO: Penman

Fechas	P. Fr. I	P. Int. I	P. Hum. I	F. Hum. I	F. Int. I	C. Alm. I	P. Fr. II	P. Int. II	P. Hum. II	F. Hum. II	F. Int. II	C. Alm. II
		16/7	25/7	5/7	15/7							
Duración días	**Prep. I**	**Interm. I**	**Hum. I**	**C. Alm. I**	**Prep. II**	**Interm. II**	**Hum. II**	**C. Alm. II**	**Et**		**P**	
		20	345						15 años		15 años	

mm

	Et	P	Def. Agua DA	Exced. Agua EA	Pérdida por Evap.	Almacenaje 100 mm: Var. de Almac	Almac	Escurr	Precip. effect.	Almacenaje 200 mm: Var. de Almac	Almac	Escurr.	Precip. effect.
E	99	115		16		0	100	16	99	0	200	16	99
F	91	106		15		0	100	15	91	0	200	15	91
M	103	109		6		0	100	6	103	0	200	6	103
A	96	235		139		0	100	139	96	0	200	139	96
M	98	218		120		0	100	120	98	0	200	120	98
J	95	151		56		0	100	56	95	0	200	56	95
J	104	92	12			-12	88		92	-12	188		92
A	109	144		35		+12	100	23	121	+12	200	23	121
S	104	133		29		0	100	29	104	0	200	29	104
O	95	259		164		0	100	164	95	0	200	164	95
N	85	249		164		0	100	164	85	0	200	164	85
D	88	105		17		0	100	17	88	0	200	17	88
TOTAL	1167	1916	12	761				743	1167			743	1167

BALANCE HIDRICO

ESTACION: Medellin PAIS: Colombia METODO: Penman

Fechas	P. Pr. I	P. Int. I	P. Hum. I	F. Hum. I	F. Int. I	C. Alm. I	P. Fr. II	P. Int. II	P. Hum. II	F. Hum. II	F. Int. II	C. Alm. II
		20/2	1/4	5/7	20/7			21/7	10/8	30/11	31/12	5/2
Duración días	**Prep. I**	**Interm. I**	**Hum. I**	**C. Alm. I**	**Prep. II**	**Interm. II**	**Hum. II**	**C. Alm. II**	**Et**		**P**	
		150	96			163	112	36	15 años		15 años	

mm

	Et	P	Def. Agua DA	Exced Agua EA	Pérdida por Evap.	Almacenaje 100 mm: Var. de Almac	Almac.	Escurr.	Precip. effect.	Almacenaje 200 mm: Var. de Almac	Almac.	Escurr.	Precip. effect.
E	106	41	65			-65	7		41	-65	107		41
F	102	46	56			-7	0		46	-56	51		46
M	114	78	36			0	0		78	-36	15		78
A	100	159		59		+59	59		159	+59	74		159
M	106	182		76		+41	100	35	147	+76	150		182
J	99	130		31		0	100	31	99	+31	181		130
J	113	109	4			-4	96		109	-4	177		109
A	116	130		14		+4	100	10	120	+14	191		130
S	112	132		20		0	100	20	112	+9	200	11	121
O	105	177		72		0	100	72	105	0	200	72	105
N	98	114		16		0	100	16	98	0	200	16	98
D	95	67	28			-28	72		67	-28	172		67
TOTAL	1266	1365	189	288				184	1181			99	1266

BALANCE HIDRICO ESTACION: Tunguavita PAIS: Colombia METODO: Penman

Fechas	P. Pr. I	P. Int. I	P. Hum. I	F. Hum. I	F. Int. I	C. Alm. I	P. Pr. II	P. Int. II	P. Hum. II	F. Hum. II	F. Int. II	C. Alm. II
		25/2	1/4	25/5	31/7			1/8	25/9	20/11	15/12	5/1

Duración días	Prep. I	Interm. I	Hum. I	C. Alm. I	Prep II	Interm II	Hum. II	C. Alm II	Et	P
		156	55			137	56	20	5 años	15 años

	mm					Almacenaje 100 mm				Almacenaje 200 mm			
	Et	P	Def. Agua DA	Exced. Agua EA	Pérdida por Evap.	Var. de Almac.	Almac.	Escurr.	Precip. effect.	Var. de Almac	Almac.	Escurr.	Precip. effect.
E	82	35	47			-30	0		35	-30	0		35
F	88	42	46			0	0		42	0	0		42
M	95	57	38			0	0		57	0	0		57
A	88	122		34		+34	34		122	+34	34		122
M	85	110		25		+25	59		110	+25	59		110
J	76	53	23			-23	36		53	-23	36		53
J	83	45	38			-36	0		45	-36	0		45
A	86	45	41			0	0		45	0	0		45
S	84	69	15			0	0		69	0	0		69
O	83	148		65		+65	65		148	+65	65		148
N	77	84		7		+7	72		84	+7	72		84
D	79	37	42			-42	30		37	42	30		37
TOTAL	1006	847	290	131					847				847

BALANCE HIDRICO ESTACION: Sonson PAIS: Colombia METODO: Penman

Fechas	P. Pr. I	P. Int. I	P. Hum. I	F. Hum. I	F. Int. I	C. Alm. I	P. Pr. II	P. Int. II	P. Hum. II	F. Hum. II	F. Int. II	C. Alm. II
		1/1	10/2	31/12	9/2							

Duración días	Prep. I	Interm. I	Hum. I	C. Alm. I	Prep. II	Interm. II	Hum. II	C. Alm. II	Et	P
		40	325						10 años	20 años

	mm					Almacenaje 100 mm				Almacenaje 200 mm			
	Et	P	Def. Agua DA	Exced Agua EA	Pérdida por Evap.	Var. de Almac.	Almac.	Escurr.	Precip. effect.	Var. de Almac.	Almac.	Escurr.	Precip. effect.
E	79	57	22			-22	78		57	-22	178		57
F	77	93		16		+16	94		93	+16	194		93
M	82	123		41		+6	100	35	88	+6	200	35	88
A	83	208		125		0	100	125	83	0	200	125	83
M	83	239		156		0	100	156	83	0	200	156	83
J	88	217		129		0	100	129	88	0	200	129	88
J	95	165		70		0	100	70	95	0	200	70	95
A	98	169		71		0	100	71	98	0	200	71	98
S	86	216		130		0	100	130	86	0	200	130	86
O	82	255		173		0	100	173	82	0	200	173	82
N	74	267		193		0	100	193	74	0	200	193	74
D	74	135		61		0	100	61	74	0	200	61	74
TOTAL	1001	2144	22	1165				1143	1001			1143	1001

BALANCE HIDRICO

ESTACION: Libano PAIS: Colombia METODO: Penman

Fechas	P. Pr. I	P. Int. I	P. Hum. I	F. Hum. I	F. Int. I	C. Alm. I	P. Pr. II	P. Int. II	P. Hum. II	F. Hum. II	F. Int. II	C. Alm. II
			1/1	31/12								
Duración días	Prep. I	Interm. I	Hum. I	C. Alm. I	Prep. II	Interm. II	Hum. II	C. Alm. II	Et		P	
			365						5 años		15 años	

	mm					Almacenaje 100 mm				Almacenaje 200 mm			
	Et	P	Def. Agua DA	Exced. Agua EA	Pérdida por Evap.	Var. de Almac.	Almac.	Escurr.	Precip. effect.	Var. de Almac.	Almac.	Escurr.	Precip. effect.
E	82	97		15		0	100	15	82	0	200	15	82
F	93	133		40		0	100	40	93	0	200	40	93
M	94	208		114		0	100	114	94	0	200	114	94
A	86	280		194		0	100	194	86	0	200	194	86
M	90	239		149		0	100	149	90	0	200	149	90
J	83	159		76		0	100	76	83	0	200	76	83
J	92	117		25		0	100	25	92	0	200	25	92
A	98	124		26		0	100	26	98	0	200	26	98
S	95	205		110		0	100	110	95	0	200	110	95
O	89	306		217		0	100	217	89	0	200	217	89
N	77	270		193		0	100	193	77	0	200	193	77
D	81	157		76		0	100	76	81	0	200	76	81
TOTAL	1060	2295		1235				1235	1060			1235	1060

BALANCE HIDRICO

ESTACION: Chinchina PAIS: Colombia METODO: Penman

Fechas	P. Pr. I	P. Int. I	P. Hum. I	F. Hum. I	F. Int. I	C. Alm. I	P. Pr. II	P. Int. II	P. Hum. II	F. Hum. II	F. Int. II	C. Alm. II
			1/1	31/12								
Duración días	Prep. I	Interm. I	Hum. I	C. Alm. I	Prep. II	Interm. II	Hum. II	C. Alm. II	Et		P	
			365						25 años		25 años	

	mm					Almacenaje 100 mm				Almacenaje 200 mm			
	Et	P.	Def. Agua DA	Exced Agua EA	Pérdida por Evap.	Var. de Almac.	Almac.	Escurr.	Precip. effect.	Var. de Almac.	Almac.	Escurr.	Precip. effect.
E	95	138		43		0	100	43	95	0	200	43	95
F	92	141		49		0	100	49	92	0	200	49	92
M	103	195		92		0	100	92	103	0	200	92	103
A	93	285		192		0	100	192	93	0	200	192	93
M	95	283		188		0	100	188	95	0	200	188	95
J	96	208		112		0	100	112	96	0	200	112	96
J	106	154		48		0	100	48	106	0	200	48	106
A	110	167		57		0	100	57	110	0	200	57	110
S	103	175		72		0	100	72	103	0	200	72	103
O	98	316		218		0	100	218	98	0	200	218	98
N	90	276		186		0	100	186	90	0	200	186	90
D	95	200		105		0	100	105	95	0	200	105	95
TOTAL	1176	2538		1362				1362	1176			1362	1176

BALANCE HIDRICO ESTACION: Anolaima PAIS: Colombia METODO: Penman

Fechas	P. Pr. I	P. Int. I	P. Hum. I	F. Hum. I	F. Int. I	C. Alm. I	P. Pr. II	P. Int. II	P. Hum. II	F. Hum. II	F. Int. II	C. Alm. II
		1/3	1/4	15/6	10/8	31/8		1/9	15/9	5/1	28/2	
Duración días	Prep. I	Interm. I	Hum. I	C. Alm. I	Prep. II	Interm. II	Hum. II	C. Alm. II	Et		P	
		163	76	21		181	112		10 años		20 años	

	mm					Almacenaje 100 mm				Almacenaje 200 mm			
	Et	P	Def. Agua DA	Exced Agua EA	Pérdida por Evap.	Var de Almac	Almac	Escurr	Precip. effect.	Var de Almac.	Almac.	Escurr	Precip. effect.
E	90	83	7			- 7	93		83	- 7	193		83
F	89	83	6			- 6	87		83	- 6	187		83
M	96	82	14			-14	73		82	-14	173		82
A	87	167		80		+27	100	53	114	+27	200	53	114
M	91	151		60		0	100	60	91	0	200	60	91
J	88	88				0	100		88	0	200		88
J	91	51	40			-40	60		51	-40	160		51
A	100	48	52			-52	8		48	-52	108		48
S	100	100				0	8		100	0	108		100
O	94	198		104		+92	100	12	186	+92	200	12	186
N	80	144		64		0	100	64	80	0	200	64	80
D	82	114		32		0	100	32	82	0	200	32	82
TOTAL	1088	1309	119	340				221	1088			221	1088

BALANCE HIDRICO ESTACION: Bogotá PAIS: Colombia METODO: Penman

Fechas	P. Pr. I	P. Int. I	P. Hum. I	F. Hum. I	F. Int. I	C. Alm. I	P. Pr. II	P. Int. II	P. Hum. II	F. Hum. II	F. Int. II	C. Alm. II
		1/2	5/4	5/6	10/7	10/7		8/9	25/9	15/12	31/1	
Duración días	Prep. I	Interm. I	Hum. I	C. Alm. I	Prep. II	Interm. II	Hum. II	C. Alm. II	Et		P	
		160	60	0		145	81		5 años		30 años	

	mm					Almacenaje 100 mm				Almacenaje 200 mm			
	Et	P	Def. Agua DA	Exced. Agua EA	Pérdida por Evap.	Var. de Almac.	Almac.	Escurr.	Precip. effect.	Var. de Almac.	Almac.	Escurr.	Precip. effect.
E	95	51	44			-44	56		51	-44	78		51
F	92	50	42			-42	14		50	-42	36		50
M	97	69	28			-14	0		69	-28	8		69
A	90	100		10		+10	10		100	+10	18		100
M	92	105		13		+13	23		105	+13	31		105
J	91	57	34			-23	0		57	-31	0		57
J	95	47	48			0	0		47	0	0		47
A	95	41	54			0	0		41	0	0		41
S	92	52	40			0	0		52	0	0		52
O	80	144		64		+64	64		144	+64	64		144
N	81	138		57		+36	100	21	117	+57	121		138
D	84	85		1		0	100	1	84	+1	122		85
TOTAL	1084	939	290	145				22	917				939

BALANCE HIDRICO ESTACION: Chapeton Ibaque PAIS: Colombia METODO: Penman

Fechas	P Pr I	F. Int. I	P Hum I	F Hum I	F Int I	C. Alm I	P Pr II	P Int II	P Hum II	F. Hum II	F. Int. II	C. Alm II
		20/1	10/2	10/1	19/1							
Duración días	Prep I	Interm I	Hum I	C Alm I	Prep II	Interm II	Hum II	C. Alm II	Et 10 años		P 20 años	
		365	335									

	mm					Almacenaje 100 mm				Almacenaje 200 mm			
	Et	P	Def. Agua DA	Exced. Agua EA	Pérdida por Evap.	Var de Almac	Almac.	Escurr	Precip. effect.	Var. de Almac.	Almac.	Escurr.	Precip. effect
E	94	85	9			-9	91	0	85	- 9	191	0	85
F	89	117		28		+9	100	19	98	+ 9	200	19	108
M	99	195		96			100	96	99		200	96	99
A	93	237		144			100	144	93		200	144	93
M	94	208		114			100	114	94		200	114	94
J	89	176		87			100	89	89		200	87	89
J	96	123		27			100	27	96		200	27	96
A	102	126		24			100	24	102		200	24	102
S	101	129		28			100	28	101		200	28	101
O	94	225		131			100	131	94		200	131	94
N	85	202		117			100	117	85		200	117	85
D	84	146		62			100	62	84		200	62	84
TOTAL	1120	1969	9	858				849	1120			849	1120

BALANCE HIDRICO ESTACION: Usme PAIS: Colombia METODO: Penman

Fechas	P. Pr. I	P. Int. I	P. Hum. I	F. Hum. I	F. Int. I	C. Alm. I	P. Pr. II	P. Int. II	F. Hum. II	F. Hum. II	F. Int. II	C. Alm. II
		10/2	1/4	1/12	20/12	28/2						
Duración días	Prep. I	Interm. I	Hum. I	C Alm. I	Prep. II	Interm. II	Hum. II	C. Alm. II	Et 6 años		P 15 años	
		315	245	68								

	mm					Almacenaje 100 mm				Almacenaje 200 mm			
	Et	P	Def Agua DA	Exced Agua EA	Pérdida por Evap.	Var. de Almac.	Almac.	Escurr	Precip. effect.	Var. de Almac.	Almac.	Escurr.	Precip. effect.
E	65	23	42			-42	30		23	-42	130		23
F	66	39	27			-27	3		39	-27	103		39
M	76	53	23			-3	0		53	-23	80		53
A	66	128		62		+62	62		128	+62	142		128
M	68	153		85		+38	100	47	38	+58	200	27	58
J	62	170		108		0	100	108	62	0	200	108	62
J	62	168		106		0	100	106	62	0	200	106	62
A	65	108		43		0	100	43	65	0	200	43	65
S	65	83		18		0	100	18	65	0	200	18	65
O	65	139		74		0	100	74	65	0	200	74	65
N	64	91		27		0	100	27	64	0	200	27	64
D	66	38	28			-28	72		38	-28	172		38
TOTAL	790	1193	120	523				423	702			403	722

BALANCE HIDRICO ESTACION Tibacuy PAIS: Colombia METODO: Penman

Fechas	P Pr I	P Int I	P Hum. I	F Hum. I	F Int I	C Alm. I	P Pr II	P Int II	P Hum II	F Hum II	F Int II	C. Alm. II
		15/1	15/3	10/6	20/7	31/8		15/9	28/9	15/12	14/1	
Duración días	Prep I	Interm I	Hum I	C Alm I	Prep II	Interm II	Hum II	C. Alm II	Et 10 años		P 20 años	
		186	81	42		121	78					

	mm					Almacenaje 100 mm				Almacenaje 200 mm			
	Et	P	Def. Agua DA	Exced. Agua EA	Pérdida por Evap.	Var. de Almac	Almac.	Escurr.	Precip. effect.	Var. de Almac	Almac.	Escurr.	Precip. effect.
E	95	61	34			-34	66		61	-34	166		61
F	89	70	19			-19	47		70	-19	147		70
M	99	92	7			- 7	40		92	- 7	140		92
A	90	129		39		+39	79		129	+39	179		129
M	85	113		28		+21	100	7	106	+21	200	7	106
J	86	68	18			-18	82		68	-18	182		68
J	92	40	52			-52	30		40	-52	130		40
A	96	35	61			-30	0		35	-61	69		35
S	96	51	45			0	0		51	-45	24		51
O	100	181		81		+81	81		181	+81	105		181
N	85	186		101		+19	100	82	104	+95	200	6	180
D	88	98		10		0	100	10	88	0	200	10	88
TOTAL	1101	1124	236	259				99	1025			23	1101

BALANCE HIDRICO ESTACION: Sevilla PAIS: Colombia METODO: Penman

Fechas	P. Pr. I	P. Int. I	P. Hum. I	F. Hum. I	F. Int. I	C. Alm. I	P. Pr. II	P. Int. II	P. Hum. II	F. Hum. II	F. Int. II	C. Alm. II
		1/8	18/8	8/7	31/7							
Duración días	Prep. I	Interm. I	Hum. I	C. Alm. I	Prep. II	Interm. II	Hum. II	C. Alm. II	Et 10 años		P 20 años	
		365	325									

	mm					Almacenaje 100 mm				Almacenaje 200 mm			
	Et	P	Def. Agua DA	Exced. Agua EA	Pérdida por Evap	Var. de Almac.	Almac.	Escurr.	Precip. effect.	Var. de Almac.	Almac.	Escurr.	Precip. effect
E	89	93		4			100	4	89		200	4	89
F	83	105		22			100	22	83		200	22	83
M	95	148		53			100	53	95		200	53	95
A	87	281		194			100	194	87		200	194	87
M	99	195		96			100	96	99		200	96	99
J	84	158		74			100	74	84		200	74	84
J	93	85	8			- 8	92		85	- 8	192		85
A	98	87	11			-11	81		87	-11	181		87
S	94	145		51		+19	100	32	113	+19	200	32	113
O	88	270		182			100	182	88		200	182	88
N	78	223		145			100	145	78		200	145	78
D	83	150		67			100	67	83		200	67	83
TOTAL	1071	1940	19	888				869	1071			869	1071

BALANCE HIDRICO ESTACION: Palmira PAIS: Colombia METODO: Penman

Fechas	P. Pr. I	P. Int. I	P. Hum. I	F. Hum. I	F. Int. I	C. Alm. I	P. Pr. II	P. Int. II	P. Hum. II	F. Hum. II	F. Int. II	C. Alm. II
		1/2	15/3	5/6	5/7	31/7		15/9	5/10	5/12	31/1	
Duración días	Prep. I	Interm. I	Hum. I	C. Alm. I	Prep. II	Interm. II	Hum. II	C. Alm. II	Et		P	
		155	82	26		138	61		8 años		8 años	

mm

	Et	P	Def. Agua DA	Exced. Agua EA	Pérdida por Evap.	Almacenaje 100 mm: Var. de Almac.	Almac.	Escurr.	Precip. effect.	Almacenaje 200 mm: Var. de Almac.	Almac.	Escurr.	Precip. effect.
E	112	77	35			-35	26		77	-35	26		77
F	106	76	30			-26	0		76	-26	0		76
M	115	105	10			0	0		105	0	0		105
A	106	156		50		+50	50		156	+50	50		156
M	107	136		29		+29	79		136	+29	79		136
J	100	85	15			-15	64		85	-15	64		85
J	109	43	66			-64	0		43	-64	0		43
A	115	29	86			0	0		29	0	0		29
S	113	59	54			0	0		59	0	0		59
O	109	157		48		+48	48		157	+48	48		157
N	101	134		33		+33	81		134	+33	81		134
D	103	83	20			-20	61		83	-20	61		83
TOTAL	1296	1140	316	160					1140				1140

BALANCE HIDRICO ESTACION: Miranda PAIS: Colombia METODO: Penman

Fechas	P. Pr. I	P. Int. I	P. Hum. I	F. Hum. I	F. Int. I	C. Alm. I	P. Pr. II	P. Int. II	P. Hum. II	F. Hum. II	F. Int. II	C. Alm. II
		5/8	1/10	31/5	5/7	4/8						
Duración días	Prep. I	Interm. I	Hum. I	C. Alm. I	Prep. II	Interm. II	Hum. II	C. Alm. II	Et		P	
		335	243	30					5 años		10 años	

mm

	Et	P	Def. Agua DA	Exced. Agua EA	Pérdida por Evap.	Almacenaje 100 mm: Var. de Almac.	Almac.	Escurr.	Precip. effect.	Almacenaje 200 mm: Var. de Almac.	Almac.	Escurr.	Precip. effect.
E	105	145		40			100	40	105		200	40	105
F	102	112		10			100	10	102		200	10	102
M	109	137		28			100	28	109		200	28	109
A	104	199		95			100	95	104		200	95	104
M	101	147		46			100	46	101		200	46	101
J	107	78	29			-29	71		78	-29	171		
J	108	44	64			-64	7						
A	120	78	42			- 7	0						
S	109	82	27			0	0						
O	110	167		57		+57	57		16				
N	101	219		118		+43	100	75	14				
D	103	192		89		0	100	89	10				
TOTAL	1279	1600	162	483				383	121				

BALANCE HIDRICO ESTACION: Laureles PAIS: Colombia METODO: Penman

Fechas	P Pr. I	P Int. I	P Hum. I	F Hum I	F Int I	C. Alm I	P Pr II	P Int. II	P Hum II	F Hum II	F Int II	C Alm. II
		15/12	15/1	30/6	15/7			16/7	1/8	30/11	14/12	

Duración días	Prep. I	Interm. I	Hum. I	C Alm. I	Prep II	Interm II	Hum. II	C Alm II
		212	166			151	122	

Et P: 5 años 10 años

	mm					Almacenaje 100 mm				Almacenaje 200 mm			
	Et	P	Def. Agua DA	Exced Agua EA	Pérdida por Evap.	Var. de Almac	Almac.	Escurr.	Precip. effect.	Var. de Almac	Almac.	Escurr	Precip. effect
E	66	78		12		+12	81		78	+12	181		78
F	77	88		11		+11	92		88	+11	192		88
M	93	122		29		+ 8	100	21	101	+ 8	200	21	101
A	83	103		20		0	100	20	83	0	200	20	83
M	81	108		27		0	100	27	81	0	200	27	81
J	72	89		17		0	100	17	72	0	200	17	72
J	79	75	4			- 4	96		75	- 4	196		75
A	81	94		13		+ 4	100	9	85	+ 4	200	9	85
S	83	86		3		0	100	3	83	0	200	3	83
O	83	181		98		0	100	98	83	0	200	98	83
N	72	216		144		0	100	144	72	0	200	144	72
D	78	47	31			-31	69		47	-31	169		47
TOTAL	948	1287	35	374				339	948			339	948

BALANCE HIDRICO ESTACION: Florida-Popayan PAIS: Colombia METODO: Penman

Fechas	P. Pr. I	P. Int. I	P. Hum. I	F. Hum. I	F. Int I	C. Alm. I	P. Pr. II	P. Int. II	P. Hum. II	F. Hum. II	F. Int. II	C. Alm. II
		5/9	15/9	20/6	15/7	4/9						

Duración días	Prep. I	Interm. I	Hum. I	C. Alm. I	Prep. II	Interm. II	Hum. II	C. Alm. II
		314	279	51				

Et P: 10 años 20 años

	mm					Almacenaje 100 mm				Almacenaje 200 mm			
	Et	P	Def. Agua DA	Exced. Agua EA	Pérdida por Evap.	Var. de Almac.	Almac.	Escurr.	Precip. effect.	Var. de Almac	Almac.	Escurr.	Precip. effect.
E	89	156		67			100	67	89		200	67	89
F	86	147		61			100	61	86		200	61	86
M	93	163		70			100	70	93		200	70	93
A	85	189		104			100	104	85		200	104	85
M	82	138		56			100	56	82		200	56	82
J	82	99		17			100	17	82		200	17	82
J	89	40	49			- 49	51		40	- 49	151		40
A	95	32	63			- 51	0		32	- 63	[illegible]		
S	93	92	1			0	0		92	- 1			
O	92	281		189		+100	100	89	192	+113	2		
N	83	302		219		0	100	219	83	0	2[illegible]		
D	83	277		194			100	194	83		2[illegible]		
TOTAL	1052	1916	113	977				877	1039				

BALANCE HIDRICO

ESTACION: Pasto Obonuco PAIS: Colombia METODO: Penman

Fechas	P. Pr. I	P. Int. I	P. Hum. I	F. Hum. I	F. Int. I	C. Alm. I	P. Pr. II	P. Int. II	P. Hum. II	F. Hum. II	F. Int. II	C. Alm. II
		20/1	1/4	30/4	30/6			20/9	10/10	31/12	19/1	
Duración días	Prep. I	Interm. I	Hum. I	C. Alm. I	Prep. II	Interm. II	Hum. II	C. Alm. II	Et		P	
		160	30			121	82		12 años		20 años	

	mm					Almacenaje 100 mm				Almacenaje 200 mm			
	Et	P	Def. Agua DA	Exced Agua EA	Pérdida por Evap.	Var. de Almac.	Almac.	Escurr.	Precip. effect.	Var. de Almac.	Almac.	Escurr.	Precip. effect.
E	78	53	25			-25	57		53	-25	57		53
F	76	59	17			-17	40		59	-17	40		59
M	84	64	20			-20	20		64	-20	20		64
A	78	93		15		+15	35		93	+15	35		93
M	79	56	23			-23	12		56	-23	12		56
J	73	54	19			-12	0		54	-12	0		54
J	78	28	50			0	0		28	0	0		28
A	86	30	56			0	0		30	0	0		30
S	83	35	48			0	0		35	0	0		35
O	83	106		23		+23	23		106	+23	23		106
N	74	112		38		+38	61		112	+38	61		112
D	80	101		21		+21	82		101	+21	82		101
TOTAL	952	790	258	97					790				790

BALANCE HIDRICO ESTACION: Tulcan PAIS: Ecuador METODO: Penman

Fechas	P. Pr. I	P Int I	P. Hum. I	F. Hum. I	F. Int. I	C. Alm. I	P Pr II	P Int II	P Hum II	F. Hum II	F. Int. II	C. Alm. II
		15/2	15/3	20/5	30/6	30/8		20/9	5/10	5/1	14/2	
Duración días	Prep I	Interm I	Hum I	C Alm I	Prep II	Interm II	Hum II	C Alm II	Et		P	
		135	66	60		147	92		8 años		8 años	

	mm					Almacenaje 100 mm				Almacenaje 200 mm			
	Et	P	Def. Agua DA	Exced. Agua EA	Pérdida por Evap.	Var de Almac	Almac.	Escurr	Precip. effect	Var. de Almac.	Almac.	Escurr.	Precip. effect
E	76	71	5			-5	69		71	-5	69		71
F	73	69	4			-4	65		69	-4	65		69
M	80	80		.		0	65		80	0	65		80
A	75	94		19		+19	84		94	+19	84		94
M	74	76		2		+2	86		76	+2	86		76
J	68	50	18			-18	68		50	-18	68		50
J	75	23	52			-52	16		23	-52	16		23
A	77	26	51			-16	0		26	-16	0		26
S	80	37	43			0	0		37	0	0		37
O	82	102		20		+20	20		102	+20	20		102
N	76	111		35		+35	55		111	+35	55		111
D	75	94		19		+19	74		94	+19	74		94
TOTAL	911	833	173	95					833				833

BALANCE HIDRICO ESTACION: Ibarra PAIS: Ecuador METODO: Penman

Fechas	P. Pr. I	P Int. I	P. Hum I	F. Hum. I	F. Int. I	C. Alm. I	P. Pr. II	P. Int. II	P. Hum. II	F. Hum. II	F. Int. III	C. Alm. II
		1/10	1/4	5/5	15/6	30/6						
Duración días	Prep I	Interm. I	Hum. I	C. Alm. I	Prep. II	Interm. II	Hum. II	C. Alm. II	Et		P	
		258	35	15					8 años		8 años	

	mm					Almacenaje 100 mm				Almacenaje 200 mm			
	Et	P	Def. Agua DA	Exced Agua EA	Pérdida por Evap.	Var de Almac.	Almac	Escurr.	Precip. effect.	Var. de Almac.	Almac.	Escurr.	Precip effect.
E	89	46	43			0	0		46	0	0		46
F	84	49	35			0	0		49	0	0		49
M	93	63	30			0	0		63	0	0		63
A	84	110		26		+26	26		110	+26	26		110
M	85	73	12			-12	14		73	-12	14		73
J	79	41	38			-14	0		41	-14	0		41
J	87	8	79			0	0		8	0	0		8
A	103	14	89			0	0		14	0	0		14
S	91	27	64			0	0		27	0	0		27
O	91	72	19			0	0		72	0	0		72
N	83	75	8			0	0		75	0	0		75
D	91	50	41			0	0		50	0	0		50
TOTAL	1060	628	462	26					628				628

BALANCE HIDRICO ESTACION: Quito PAIS: Ecuador METODO: Penman

Fechas	P. Pr. I	P Int I	P Hum I	F Hum. I	F Int I	C. Alm. I	P Pr II	P Int II	P Hum. II	F. Hum II	F. Int. II	C. Alm II
		1/9	20/9	5/6	25/6	1/8						
Duración días	Prep I	Interm I	Hum. I	C Alm I	Prep. II	Interm II	Hum II	C. Alm II	Et		P	
		298	258	35					10 años		10 años	

	mm					Almacenaje 100 mm				Almacenaje 200 mm			
	Et	P	Def. Agua DA	Exced. Agua EA	Pérdida por Evap.	Var. de Almac.	Almac	Escurr	Precip. effect.	Var. de Almac.	Almac.	Escurr.	Precip. effect.
E	87	123		36		0	100	36	87	+36	164		123
F	76	135		59		0	100	59	76	+36	200	23	112
M	88	154		66		0	100	66	88	0	200	66	88
A	81	179		98		0	100	98	81	0	200	98	81
M	80	128		48		0	100	48	80	0	200	48	80
J	76	50	26			-26	74		50	-26	174		50
J	86	19	67			-67	7		19	-67	107		19
A	94	22	72			-7	0		22	-72	35		22
S	89	82	7			0	0		82	-7	28		82
O	89	133		44		+44	44		133	+44	72		133
N	78	114		36		+36	80		114	+36	108		114
D	84	104		20		+20	100		104	+20	128		104
TOTAL	1008	1243	172	407				307	936			235	1008

BALANCE HIDRICO ESTACION: Izobamba PAIS: Ecuador METODO: Penman

Fechas	P. Pr. I	P Int. I	P. Hum. I	F. Hum. I	F. Int. I	C. Alm. I	P. Pr. II	P. Int. II	P. Hum. II	F. Hum. II	F. Int. II	C. Alm. II
		1/9	25/9	10/6	30/6	15/8						
Duración días	Prep. I	Interm. I	Hum. I	C. Alm. I	Prep. II	Interm. II	Hum. II	C. Alm. II	Et		P	
		303	258	45					10 años		10 años	

	mm					Almacenaje 100 mm				Almacenaje 200 mm			
	Et	P	Def. Agua DA	Exced. Agua EA	Pérdida por Evap.	Var. de Almac.	Almac.	Escurr.	Precip. effect.	Var. de Almac.	Almac.	Escurr.	Precip. effect.
E	85	127		42		0	100	42	85	0	200	42	85
F	80	167		87		0	100	87	80	0	200	87	80
M	88	164		76		0	100	76	88	0	200	76	88
A	79	189		110		0	100	110	79	0	200	110	79
M	80	133		53		0	100	53	80	0	200	53	80
J	77	72	5			-5	95		72	-5	195		72
J	88	24	64			-64	31		24	-64	131		24
A	95	29	66			-31	0		29	-66	65		29
S	92	78	14			0	0		78	-14	51		78
O	87	140		53		+53	53		140	+53	104		140
N	81	155		74		+47	100	27	128	+74	178		155
D	84	118		34		0	100	34	84	+22	200	12	106
TOTAL	1015	1396	149	529				429	967			380	1016

BALANCE HIDRICO

ESTACION: Latacunga PAIS: Ecuador METODO: Penman

Fechas	P. Pr. I	P Int. I	P Hum I	F Hum. I	F Int I	C. Alm. I	P Pr II	P Int II	P Hum II	F. Hum II	F. Int. II	C. Alm. II
		15/2	-	-	15/5			10/10			10/12	
Duración días	Prep. I	Interm. I	Hum. I	C Alm I	Prep. II	Interm II	Hum II	C. Alm II	Et		P	
		90				60			años		años	

	mm					Almacenaje 100 mm				Almacenaje 200 mm			
	Et	P	Def. Agua DA	Exced. Agua EA	Pérdida por Evap.	Var de Almac.	Almac.	Escurr.	Precip. effect.	Var. de Almac.	Almac.	Escurr.	Precip. effect.
E	100	33	67			0	0		33	0	0		33
F	87	47	40			0	0		47	0	0		47
M	97	54	43			0	0		54	0	0		54
A	89	68	21			0	0		68	0	0		68
M	87	40	47			0	0		40	0	0		40
J	79	31	48			0	0		41	0	0		41
J	86	13	73			0	0		13	0	0		13
A	91	111	80			0	0		11	0	0		11
S	95	18	77			0	0		18	0	0		18
O	98	55	43			0	0		55	0	0		55
N	95	55	40			0	0		55	0	0		55
D	94	40	4			0	0		40	0	0		40
TOTAL	1098	465	633						465				465

BALANCE HIDRICO

ESTACION: Ambato PAIS: Ecuador METODO: Penman

Fechas	P. Pr. I	P Int. I	P. Hum. I	F. Hum. I	F. Int. I	C. Alm. I	P. Pr. II	P. Int. II	P. Hum. II	F. Hum. II	F. Int. II	C. Alm. II
		15/2			15/6			10/10			1/12	
Duración días	Prep. I	Interm. I	Hum. I	C. Alm. I	Prep. II	Interm. II	Hum. II	C. Alm. II	Et		P	
		120				50			10 años		10 años	

	mm					Almacenaje 100 mm				Almacenaje 200 mm			
	Et	P	Def. Agua DA	Exced. Agua EA	Pérdida por Evap.	Var. de Almac.	Almac.	Escurr.	Precip. effect.	Var. de Almac.	Almac.	Escurr.	Precip. effect.
E	94	40	54			0	0	0	40	0	0	0	40
F	87	43	44			0	0	0	43	0	0	0	43
M	94	51	43			0	0	0	51	0	0	0	51
A	87	62	25			0	0	0	62	0	0	0	62
M	84	50	34			0	0	0	50	0	0	0	50
J	74	35	39			0	0	0	35	0	0	0	35
J	80	21	59			0	0	0	21	0	0	0	21
A	87	21	66			0	0	0	21	0	0	0	21
S	92	28	64			0	0	0	28	0	0	0	28
O	100	50	50			0	0	0	50	0	0	0	50
N	94	49	45			0	0	0	49	0	0	0	49
D	96	35	61			0	0	0	35	0	0	0	35
TOTAL	1069	485	584						485				485

BALANCE HIDRICO

ESTACION: Puyo PAIS: Ecuador METODO: Penman

Fechas	P. Pr. I	P. Int. I	P. Hum. I	F. Hum. I	F. Int. I	C. Alm. I	P. Pr. II	F. Int. II	P. Hum. II	F. Hum. II	F. Int. II	C. Alm. II
			1/1	31/12								
Duración días	Prep. I	Interm. I	Hum. I	C. Alm. I	Prep. II	Interm. II	Hum. II	C. Alm. II	Et		P	
			365						8 años		8 años	

	mm					Almacenaje 100 mm				Almacenaje 200 mm			
	Et	P	Def. Agua DA	Exced. Agua EA	Pérdida por Evap.	Var. de Almac.	Almac.	Escurr.	Precip. effect.	Var. de Almac.	Almac.	Escurr.	Precip. effect.
E	87	305		218			100	218	87		200	218	87
F	79	312		233			100	233	79		200	233	79
M	83	386		303			100	303	83		200	303	83
A	80	460		380			100	380	80		200	380	80
M	78	328		250			100	250	78		200	250	78
J	72	381		309			100	309	72		200	309	72
J	77	378		301			100	301	77		200	301	77
A	84	311		227			100	227	84		200	227	84
S	86	328		242			100	242	86		200	242	86
O	89	365		276			100	276	89		200	276	89
N	91	362		271			100	271	91		200	271	91
D	88	352		264			100	264	88		200	264	88
TOTAL	994	4268		3274				3274	994			3274	994

BALANCE HIDRICO

ESTACION: Riobamba PAIS: Ecuador METODO: Penman

Fechas	P. Pr. I	P. Int. I	P. Hum. I	F. Hum. I	F. Int. I	C. Alm. I	P. Pr. II	F. Int. II	P. Hum. II	F. Hum. II	F. Int. II	C. Alm. II
		1/3			30/4			1/11			30/11	
Duración días	Prep. I	Interm. I	Hum. I	C. Alm. I	Prep. II	Interm. II	Hum. II	C. Alm. II	Et		P	
		360				30			8 años		8 años	

	mm					Almacenaje 100 mm				Almacenaje 200 mm			
	Et	P	Def. Agua DA	Exced. Agua EA	Pérdida por Evap.	Var. de Almac.	Almac.	Escurr.	Precip. effect.	Var. de Almac.	Almac.	Escurr.	Precip. effect.
E	99	26	73				0		26		0		26
F	90	40	50				0		40		0		40
M	96	47	49				0		47		0		47
A	89	54	35				0		54		0		54
M	88	32	56				0		32		0		32
J	75	33	42				0		33		0		33
J	85	11	74				0		11		0		11
A	93	15	78				0		15		0		15
S	94	23	71				0		23		0		23
O	103	49	54				0		49		0		49
N	91	40	51				0		40		0		40
D	97	29	68				0		29		0		29
TOTAL	1100	399	701						399				399

BALANCE HIDRICO ESTACION Cañar PAIS: Ecuador METODO: Penman

Fechas	P. Pr. I	P. Int. I	P. Hum. I	F. Hum. I	F. Int. I	C. Alm. I	P. Pr. II	P. Int. II	P. Hum. II	F. Hum. II	F. Int. II	C. Alm. II
		15/1			10/5			15/10			15/11	

Duración días	Prep. I	Interm. I	Hum. I	C. Alm. I	Prep. II	Interm. II	Hum. II	C. Alm. II	Et	P
		115				30			8 años	8 años

	mm					Almacenaje 100 mm				Almacenaje 200 mm			
	Et	P	Def. Agua DA	Exced. Agua EA	Pérdida por Evap.	Var. de Almac.	Almac	Escurr	Precip. effect.	Var. de Almac	Almac.	Escurr.	Precip. effect.
E	94	49	45			0	0		49	0	0		49
F	83	63	20			0	0		63	0	0		63
M	96	67	29			0	0		67	0	0		67
A	88	68	20			0	0		68	0	0		68
M	91	31	60			0	0		31	0	0		31
J	83	39	44			0	0		39	0	0		39
J	98	19	79			0	0		19	0	0		19
A	105	18	87			0	0		18	0	0		18
S	103	29	74			0	0		29	0	0		29
O	98	48	50			0	0		48	0	0		48
N	92	45	47			0	0		45	0	0		45
D	95	35	60			0	0		35	0	0		35
TOTAL	1126	511	615						511				511

BALANCE HIDRICO ESTACION: Cuenca PAIS: Ecuador METODO: Penman

Fechas	P. Pr. I	P. Int. I	P. Hum. I	F. Hum. I	F. Int. I	C. Alm. I	P. Pr. II	P. Int. II	P. Hum. II	F. Hum. II	F. Int. II	C. Alm. II
		21/12	20/3	10/5	30/6			10/9	1/10	17/11	20/12	

Duración días	Prep. I	Interm. I	Hum. I	C. Alm. I	Prep. II	Interm. II	Hum. II	C. Alm. II	Et	P
		191	51			100	48		8 años	8 años

	mm					Almacenaje 100 mm				Almacenaje 200 mm			
	Et	P	Def. Agua DA	Exced. Agua EA	Pérdida por Evap.	Var. de Almac.	Almac.	Escurr.	Precip. effect.	Var. de Almac.	Almac.	Escurr.	Precip. effect.
E	96	72	24			0	0		72	0	0		72
F	87	78	9			0	0		78	0	0		78
M	92	85	7			0	0		85	0	0		85
A	84	101		17		+17	17		84	+17	17		84
M	78	66	12			-12	5		78	-12	5		78
J	70	52	18			-5	0		57	-5	0		57
J	79	22	57			0	0		22	0	0		22
A	90	20	70			0	0		20	0	0		20
S	88	51	37			0	0		51	0	0		51
O	94	114		20		+20	20		94	+20	20		94
N	93	96		3		+3	23		93	+3	23		93
D	99	66	33			-23	0		89	-23	0		89
TOTAL	1050	823	267	40					823				823

BALANCE HIDRICO

ESTACION: S. Isabel PAIS: Ecuador METODO: Penman

Fechas	P. Pr. I	P. Int. I	P. Hum. I	F. Hum. I	F. Int. I	C. Alm. I	P. Pr. II	F. Int. II	P. Hum. II	F. Hum. II	F. Int. II	C. Alm. II
		10/1	25/2	12/4	10/5	–						
Duración días	**Prep. I**	**Interm I**	**Hum. I**	**C Alm I**	**Prep. II**	**Interm II**	**Hum II**	**C Alm. II**	**Et**		**P**	
		120	46						8 años		8 años	

	mm					Almacenaje 100 mm				Almacenaje 200 mm			
	Et	P	Def. Agua DA	Exced. Agua EA	Pérdida por Evap.	Var. de Almac	Almac.	Escurr	Precip. effect	Var. de Almac	Almac.	Escurr.	Precip. effect.
E	95	52	43			0	0		52	0	0		52
F	86	60	26			0	0		60	0	0		60
M	90	113		23		+23	23		113	+23	23		113
A	87	79	8			-8	15		79	-8	15		79
M	88	39	49			-15	0		30	-15	0		30
J	87	15	72			0	0		15	0	0		15
J	105	5	100			0	0		5	0	0		5
A	110	4	106			0	0		4	0	0		4
S	107	14	93			0	0		14	0	0		14
O	108	14	94			0	0		14	0	0		14
N	104	13	91			0	0		13	0	0		13
D	97	35	62			0	0		35	0	0		35
TOTAL	1164	443	744	23					443				443

BALANCE HIDRICO

ESTACION: La Argelia Loja PAIS: Ecuador METODO: Penman

Fechas	P. Pr. I	P. Int. I	P. Hum. I	F. Hum. I	F. Int. I	C. Alm. I	P. Pr. II	P. Int. II	P. Hum. II	F. Hum. II	F. Int. II	C. Alm. II
		1/10	25/2	10/4	30/6							
Duración días	**Prep I**	**Interm. I**	**Hum. I**	**C. Alm. I**	**Prep. II**	**Interm. II**	**Hum. II**	**C. Alm. II**	**Et**		**P**	
		273	44						8 años		8 años	

	mm					Almacenaje 100 mm				Almacenaje 200 mm			
	Et	P	Def. Agua DA	Exced. Agua EA	Pérdida por Evap.	Var. de Almac.	Almac.	Escurr.	Precip. effect.	Var. de Almac.	Almac.	Escurr.	Precip. effect.
E	94	83	11			0	0		83	0	0		83
F	89	84	5			0	0		84	0	0		84
M	93	100		7		+7	7		100	+7	7		100
A	91	86	5			-5	2		86	-5	2		86
M	84	50	34			-2	0		50	-2	0		50
J	80	59	21			0	0		59	0	0		59
J	96	49	47			0	0		49	0	0		49
A	100	49	51			0	0		49	0	0		49
S	96	49	47			0	0		49	0	0		49
O	99	60	39			0	0		60	0	0		60
N	100	52	48			0	0		52	0	0		52
D	102	67	35			0	0		67	0	0		67
TOTAL	1124	788	353	7					788				788

BALANCE HIDRICO ESTACION: Huancabamba PAIS: Perú METODO: Penman

Fechas	P. Pr. I	P. Int I	P. Hum. I	F. Hum. I	F. Int. I	C. Alm. I	P. Pr. II	P. Int. II	P. Hum II	F. Hum. II	F. Int. II	C. Alm. II
		–	–	–	–	–	–	–				

Duración días	Prep I	Interm. I	Hum. I	C Alm I	Prep. II	Interm. II	Hum II	C. Alm II	Et	P
		0	0	0					4 años	6 años

	mm					Almacenaje 100 mm				Almacenaje 200 mm			
	Et	P	Def. Agua DA	Exced. Agua EA	Pérdida por Evap.	Var. de Almac	Almac.	Escurr	Precip. effect.	Var. de Almac.	Almac.	Escurr.	Precip. effect.
E	113	33	80				0		33		0		33
F	109	40	69				0		40		0		40
M	111	41	70				0		41		0		41
A	104	18	86				0		18		0		18
M	109	28	81				0		28		0		28
J	104	14	90				0		14		0		14
J	118	11	107				0		11		0		11
A	129	7	122				0		7		0		7
S	126	14	112				0		14		0		14
O	133	39	94				0		39		0		39
N	119	44	75				0		44		0		44
D	121	30	91				0		30		0		30
TOTAL	1396	319	1077						319				319

BALANCE HIDRICO ESTACION: Chachapoyas PAIS: Perú METODO: Penman

Fechas	P. Pr. I	P. Int. I	P. Hum. I	F. Hum. I	F. Int. I	C. Alm. I	P. Pr. II	P. Int. II	P. Hum II	F. Hum. II	F. Int. II	C. Alm. II
		15/9	10/2	15/4	15/5							

Duración días	Prep. I	Interm. I	Hum. I	C. Alm. I	Prep. II	Interm. II	Hum. II	C. Alm. II	Et	P
		242	64	–					7 años	10 años

	mm					Almacenaje 100 mm				Almacenaje 200 mm			
	Et	P	Def. Agua DA	Exced Agua EA	Pérdida por Evap.	Var. de Almac	Almac.	Escurr.	Precip. effect.	Var. de Almac.	Almac.	Escurr.	Precip. effect.
E	99	85	14			0	0		85	0	0		85
F	91	96		5		+5	5		96	+5	5		96
M	98	113		15		+15	20		113	+15	20		113
A	76	69	7			-7	13		69	-7	13		69
M	83	39	44			-13	0		39	-13	0		39
J	71	16	55			0	0		16	0	0		16
J	78	24	54			0	0		24	0	0		24
A	88	27	61			0	0		27	0	0		27
S	93	49	44			0	0		49	0	0		49
O	102	99	3			0	0		99	0	0		99
N	102	64	38			0	0		64	0	0		64
D	102	72	30			0	0		72	0	0		72
TOTAL	1083	753	350	20					753				753

BALANCE HIDRICO

ESTACION: Cajamarca PAIS: Perú METODO: Penman

Fechas	P. Pr. I	P Int. I	P. Hum I	F Hum I	F Int. I	C. Alm I	P. Pr II	P Int. II	P Hum. II	F. Hum II	F. Int. II	C. Alm. II
		25/9	1/3	31/3	5/5							
Duración días	Prep. I	Interm. I	Hum. I	C. Alm. I	Prep. II	Interm II	Hum. II	C. Alm. II	Et		P	
		222	30						7 años		10 años	

	mm					Almacenaje 100 mm				Almacenaje 200 mm			
	Et	P	Def. Agua DA	Exced Agua EA	Pérdida por Evap.	Var. de Almac	Almac.	Escurr	Precip. effect.	Var. de Almac.	Almac.	Escurr	Precip. effect.
E	105	96	9				0		96		0		96
F	97	86	11				0		86		0		86
M	97	102		5		+5	5		102	+ 5	5		102
A	88	86	2			-2	3		86	- 2	3		86
M	88	30	58			-3	0		30	- 3	0		30
J	88	6	82				0		6		0		6
J	105	5	100				0		5		0		5
A	112	10	102				0		10		0		10
S	113	27	86				0		27		0		27
O	108	91	17				0		91		0		91
N	106	77	29				0		77		0		77
D	108	77	31				0		77		0		77
TOTAL	1215	693	527	5					693				693

BALANCE HIDRICO

ESTACION: Huaraz PAIS: Perú METODO: Penman

Fechas	P. Pr. I	P Int I	P. Hum. I	F Hum. I	F. Int. I	C. Alm. I	P. Pr. II	P. Int. II	P. Hum. II	F. Hum. II	F. Int. II	C. Alm. II
		15/10	5/1	15/4	15/5	30/5						
Duración días	Prep. I	Interm. I	Hum. I	C. Alm. I	Prep. II	Interm. II	Hum. II	C. Alm. II	Et		P	
		2	100	15					5 años		10 años	

	mm					Almacenaje 100 mm				Almacenaje 200 mm			
	Et	P	Def. Agua DA	Exced. Agua EA	Pérdida por Evap.	Var. de Almac.	Almac.	Escurr.	Precip. effect.	Var. de Almac.	Almac.	Escurr.	Precip. effect.
E	103	121		18		+18	18		121	+18	18		21
F	91	129		38		+38	56		29	+38	56		129
M	97	137		40		+40	96		137	+40	96		137
A	88	79	9			-9	87		79	-9	87		79
M	77	24	53			-53	34		24	-53	34		24
J	69	3	69		3	-34	0		0	-34	0		0
J	76	0	76			0	0		0	0	0		0
A	83	3	83		3	0	0		0	0	0		0
S	94	25	69			0	0		25	0	0		25
O	102	57	45			0	0		57	0	0		57
N	105	92	13			0	0		92	0	0		92
D	105	69	36			0	0		69	0	0		69
TOTAL	1090	739	453	96	6				733				733

BALANCE HIDRICO

ESTACION: Huanuco PAIS: Perú METODO. Penman

Fechas	P Pr I	P Int. I	P. Hum. I	F. Hum I	F Int I	C. Alm I	P Pr II	P Int II	P Hum II	F Hum II	F Int II	C Alm II
		20/1	-	-	15/3							
Duración días	Prep. I	Interm. I	Hum. I	C Alm. I	Prep. II	Interm II	Hum. II	C Alm II	Et 5 años		P 10 años	
		54										

	mm					Almacenaje 100 mm				Almacenaje 200 mm			
	Et	P	Def. Agua DA	Exced Agua EA	Pérdida por Evap.	Var. de Almac	Almac.	Escurr.	Precip. effect.	Var. de Almac	Almac.	Escurr	Precip. effect.
E	119	53	66				0		53		0		53
F	99	59	40				0		59		0		59
M	111	52	59				0		52		0		52
A	99	20	79				0		20		0		20
M	96	11	85				0		11		0		11
J	83	5	78		5		0		0		0		0
J	89	4	85		4		0		0		0		0
A	103	9	94				0		9		0		9
S	114	20	94				0		20		0		20
O	122	46	76				0		46		0		46
N	123	47	76				0		47		0		47
D	123	52	71				0		52		0		52
TOTAL	1281	378	903		9				369				369

BALANCE HIDRICO

ESTACION: Lampos Bajo n 3 PAIS: Perú METODO: Penman

Fechas	P. Pr. I	P. Int. I	P. Hum. I	F. Hum. I	F. Int. I	C. Alm. I	P. Pr. II	P. Int. II	P. Hum. II	F. Hum. II	F. Int II	C. Alm. II
		15/10	15/1	15/4	10/5	30/6						
Duración días	Prep. I	Interm. I	Hum. I	C. Alm. I	Prep. II	Interm. II	Hum II	C. Alm. II	Et 0 años		P 9 años	
		207	90	50								

	mm					Almacenaje 100 mm				Almacenaje 200 mm			
	Et	P	Def. Agua DA	Exced. Agua EA	Pérdida por Evap.	Var. de Almac.	Almac.	Escurr	Precip. effect.	Var. de Almac	Almac.	Escurr.	Precip. effect.
E	88	100		12		+12	12		100	+12	12		100
F	76	137		61		+61	73		137	+61	73		137
M	82	164		82		+27	100	55	109	+82	155		164
A	77	75	2			-2	98		75	-2	153		75
M	71	20	51			-51	47		20	-51	102		20
J	61	3	58		3	-47	0		0	-58	44		0
J	75	3	72		3	0	0		0	-44	0		0
A	82	3	79		3	0	0		0	0	0		0
S	83	16	67			0	0		16	0	0		16
O	99	67	32			0	0		67	0	0		67
N	91	69	22			0	0		69	0	0		69
D	96	75	21			0	0		75	0	0		75
TOTAL	981	732	404	310	9			55	668				723

BALANCE HIDRICO ESTACION: Cerro de Pasco PAIS: Perú METODO: Penman (nubosidad)

Fechas	P. Pr. I	P. Int. I	P. Hum. I	F. Hum. I	F. Int. I	C. Alm. I	P. Pr. II	P. Int. II	P. Hum. II	F. Hum. II	F. Int. III	C. Alm. II
		20/8	20/9	30/4	31/5	15/8						
Duración días	**Prep. I**	**Interm. I**	**Hum. I**	**C. Alm. I**	**Prep. II**	**Interm. II**	**Hum. II**	**C. Alm. II**	Et 5 años	P 10 años		
		284	222	76								

	mm					Almacenaje 100 mm				Almacenaje 200 mm			
	Et	P	Def. Agua DA	Exced. Agua EA	Pérdida por Evap.	Var. de Almac.	Almac.	Escurr.	Precip. effect.	Var. de Almac.	Almac.	Escurr.	Precip. effect.
E	84	117		33		+11	100	22	95	+33	190		117
F	72	144		72		0	100	72	72	+10	200	62	82
M	76	146		70		0	100	70	76	0	200	70	76
A	61	83		22		0	100	22	61	0	200	22	61
M	56	40	16			-16	84		40	-16	184		40
J	47	8	39			-39	45		8	-39	145		8
J	51	18	33			-33	12		18	-33	112		18
A	61	27	34			-12	0		27	-34	78		27
S	66	56	10			0	0		56	-10	68		56
O	78	94		16		+16	16		94	+16	84		94
N	80	104		24		+24	40		104	+24	108		104
D	77	126		49		+49	89		126	+49	157		126
TOTAL	809	963	132	286				186	777			154	809

BALANCE HIDRICO ESTACION: San Ramón PAIS: Perú METODO: Penman

Fechas	P. Pr. I	P. Int. I	P. Hum. I	F. Hum. I	F. Int. I	C. Alm. I	P. Pr. II	P. Int. II	P. Hum. II	F. Hum. II	F. Int. III	C. Alm. II
		1/9	5/9	15/6	31/7	31/8						
Duración días	**Prep. I**	**Interm. I**	**Hum. I**	**C. Alm. I**	**Prep. II**	**Interm. II**	**Hum. II**	**C. Alm. II**	Et 5 años	P 20 años		
		335	250	30								

	mm					Almacenaje 100 mm				Almacenaje 200 mm			
	Et	P	Def. Agua DA	Exced. Agua EA	Pérdida por Evap.	Var. de Almac.	Almac.	Escurr.	Precip. effect.	Var. de Almac.	Almac.	Escurr.	Precip. effect.
E	113	266		153		0	100	153	113	0	200	153	113
F	94	244		150		0	100	150	94	0	200	150	94
M	101	250		149		0	100	149	101	0	200	149	101
A	95	198		103		0	100	103	95	0	200	103	95
M	92	104		12		0	100	12	92	0	200	12	92
J	84	63	21			-21	79		63	-21	179		63
J	91	77	14			-14	65		77	-14	165		77
A	103	34	69			-65	0		34	-69	96		34
S	107	144		37		+37	37		144	+37	133		144
O	123	183		60		+60	97		183	+60	193		183
N	121	129		8		+3	100	5	124	+7	200	1	128
D	117	225		108		0	100	108	117	0	200	108	117
TOTAL	1241	1917	104	780				680	1237			676	1241

BALANCE HIDRICO

ESTACION: La Oraya PAIS: Perú METODO: Penman (nubosidad)

Fechas	P. Pr. I	P. Int I	P. Hum. I	F. Hum. I	F. Int I	C. Alm. I	P. Pr. II	P. Int. II	P. Hum. II	F. Hum II	F. Int. II	C. Alm. II
		1/10			30/4							

Duración días	Prep I	Interm I	Hum I	C Alm. I	Prep. II	Interm II	Hum II	C. Alm II	Et	P
		212							5 años	10 años

	mm					Almacenaje 100 mm				Almacenaje 200 mm			
	Et	P	Def. Agua DA	Exced. Agua EA	Pérdida por Evap.	Var. de Almac.	Almac.	Escurr.	Precip. effect.	Var. de Almac.	Almac.	Escurr.	Precip. effect.
E	999	77	22				0		77		0		77
F	91	83	8				0		83		0		83
M	101	80	21				0		80		0		80
A	77	45	32				0		45		0		45
M	67	23	44				0		23		0		23
J	55	5	50				0		5		0		5
J	62	9	53				0		9		0		9
A	71	22	49				0		22		0		22
S	82	34	48				0		34		0		34
O	98	54	44				0		54		0		54
N	95	60	35				0		60		0		60
D	101	75	26				0		75		0		75
TOTAL	999	567	432				0		567				567

BALANCE HIDRICO

ESTACION: Huancayo Inst. Geof. PAIS: Perú METODO: Penman

Fechas	P. Pr. I	P. Int I	P. Hum. I	F Hum. I	F. Int I	C. Alm. I	P. Pr. II	P Int. II	P. Hum II	F. Hum. II	F. Int. II	C. Alm. II
		15/9	15/12	31/3	10/5	30/6						

Duración días	Prep I	Interm. I	Hum. I	C. Alm. I	Prep. II	Interm. II	Hum. II	C. Alm. II	Et	P
		237	106	50					10 años	10 años

	mm					Almacenaje 100 mm				Almacenaje 200 mm			
	Et	P	Def. Agua DA	Exced. Agua EA	Pérdida por Evap.	Var. de Almac.	Almac.	Escurr.	Precip. effect.	Var. de Almac.	Almac.	Escurr.	Precip. effect.
E	92	126		34		+34	34		126	34	34		126
F	83	107		24		+24	58		107	24	58		107
M	85	113		28		+28	86		113	28	86		113
A	72	52	20			-20	66		52	-20	66		52
M	62	28	34			-34	32		28	-34	32		28
J	52	3	49		3	-32	0		0	-32	0		0
J	67	9	58			0	0		9	0	0		9
A	77	19	58			0	0		19	0	0		19
S	89	48	41	-		0	0		48	0	0		48
O	106	71	35			0	0		71	0	0		71
N	103	66	37			0	0		66	0	0		66
D	98	98	0			0	0		98	0	0		98
TOTAL	986	740	332	86	3				737				737

BALANCE HIDRICO

ESTACION: Quillabambe PAIS: Perú METODO: Penman

Fechas	P. Pr. I	P. Int. I	P. Hum. I	F. Hum. I	F. Int. I	C. Alm. I	P. Pr. II	P. Int. II	P. Hum. II	F. Hum. II	F. Int. II	C. Alm. II
		15/9	5/12	5/4	30/4	20/5						

Duración días	Prep. I	Interm. I	Hum. I	C. Alm. I	Prep. II	Interm. II	Hum. II	C. Alm. II	Et P 5 años	10 años
		227	121	20						

	mm					Almacenaje 100 mm				Almacenaje 200 mm			
	Et	P	Def. Agua DA	Exced Agua EA	Pérdida por Evap.	Var. de Almac.	Almac.	Escurr.	Precip. effect.	Var. de Almac.	Almac.	Escurr.	Precip. effect.
E	118	137		19		+19	41		137	+22	41		137
F	106	142		36		+36	77		142	+36	77		142
M	111	162		51		+23	100	28	134	+51	128		162
A	109	64	45			-45	55		64	-45	83		64
M	99	21	78			-55	0		21	-78	5		21
J	85	17	68			0	0		17	-5	0		17
J	95	25	70			0	0		25	0	0		25
A	109	25	84			0	0		25	0	0		25
S	103	50	53			0	0		50	0	0		50
O	124	88	36			0	0		88	0	0		88
N	120	95	25			0	0		95	0	0		95
D	111	133		22		+22	22		133	+22	22		133
TOTAL	1290	959	459	138				28	931				959

BALANCE HIDRICO

ESTACION: Huamanga. PAIS: Perú METODO: Penman

Fechas	P. Pr. I	P. Int. I	P. Hum. I	F. Hum. I	F. Int. I	C. Alm. I	P. Pr. II	P. Int. II	P. Hum. II	F. Hum. II	F. Int. II	C. Alm. II
		10/12	5/2	25/3	15/4							

Duración días	Prep. I	Interm. I	Hum. I	C. Alm. I	Prep. II	Interm. II	Hum. II	C. Alm. II	Et P 5 años	10 años
		126	48							

	mm					Almacenaje 100 mm				Almacenaje 200 mm			
	Et	P	Def. Agua DA	Exced. Agua EA	Pérdida por Evap.	Var. de Almac.	Almac.	Escurr.	Precip. effect.	Var. de Almac.	Almac.	Escurr.	Precip. effect.
E	119	110	9			0	0		110	0	0		110
F	103	113		10		+10	10		113	+10	10		113
M	98	106		8		+8	18		106	+ 8	18		106
A	90	29	61			-18	0		29	-18	0		29
M	81	11	70			0	0		11	0	0		11
J	67	6	61			0	0		6	0	0		6
J	74	6	68			0	0		6	0	0		6
A	97	10	87			0	0		10	0	0		10
S	105	26	79			0	0		26	0	0		26
O	123	44	79			0	0		44	0	0		44
N	123	40	83			0	0		40	0	0		40
D	124	89	35			0	0		89	0	0		89
TOTAL	1204	490	632	18					590				590

BALANCE HIDRICO ESTACION: Cuzco Kayra PAIS: Perú METODO. Pen..an

Fechas	P Pr. I	P Int. I	P. Hum. I	F Hum. I	F. Int I	C. Alm I	P Pr II	P Int II	P Hum II	F. Hum. II	F Int. II	C Alm. II
		20/10	15/12	15/3	15/4	20/5						

Duración días	Prep. I	Interm.I	Hum I	C Alm. I	Prep. II	Interm II	Hum II	C Alm II	Et	P
		177	90	35					10 años	20años

	mm					Almacenaje 100 mm				Almacenaje 200 mm			
	Et	P	Def. Agua DA	Exced Agua EA	Pérdida por Evap	Var. de Almac	Almac	Escurr	Precip effect	Var. de Almac.	Almac.	Escurr	Precip. effect.
E	112	139		27		+27	47		139	+27	47		139
F	91	130		39		+39	86		130	+39	86		130
M	98	112		14		+14	100		112	+14	100		112
A	87	36	51			-51	49		36	-51	49		36
M	74	9	65			-49	0		9	-49	0		9
J	64	1	63		1	0	0		0	0	0		0
J	71	7	64			0	0		7	0	0		7
A	91	7	84			0	0		7	0	0		7
S	98	29	69			0	0		29	0	0		29
O	113	48	65			0	0		48	0	0		48
N	118	68	50			0	0		68	0	0		68
D	112	132		20		+20	20		132	+20	20		132
TOTAL	1129	716	511	100	1				715				715

BALANCE HIDRICO ESTACION: Abancay PAIS: Perú METODO: Penman

Fechas	P. Pr. I	P Int. I	P. Hum. I	F. Hum. I	F. Int. I	C. Alm. I	P. Pr. II	P. Int. II	P Hum. II	F. Hum. II	F. Int. II	C. Alm. II
		10/12	20/1	10/4	20/4	30/4						

Duración días	Prep. I	Interm.I	Hum. I	C Alm. I	Prep. II	Interm. II	Hum. II	C. Alm. II	Et	P
		131	80	10					5 años	10 años

	mm					Almacenaje 100 mm				Almacenaje 200 mm			
	Et	P	Def. Agua DA	Exced Agua EA	Pérdida por Evap.	Var. de Almac.	Almac.	Escurr	Precip. effect.	Var. de Almac.	Almac.	Escurr.	Precip. effect.
E	107	100	7			0	0		100	0	0		100
F	95	115		20		+20	20		115	+20	20		115
M	100	126		26		+26	46		126	+26	46		126
A	90	30	60			-46	0		30	-46	0		30
M	75	10	65			0	0		10	0	0		10
J	61	3	58		3	0	0		0	0	0		0
J	69	7	62			0	0		7	0	0		67
A	85	6	79			0	0		6	0	0		6
S	90	17	73			0	0		17	0	0		17
O	119	47	72			0	0		47	0	0		47
N	116	48	68			0	0		48	0	0		48
D	109	58	51			0	0		58	0	0		58
TOTAL	1116	567	595	46	3				564				564

BALANCE HIDRICO

ESTACION: Chuquibambilla PAIS: Perú METODO: Penman

Fechas	P. Pr. I	P. Int. I	P. Hum. I	F. Hum. I	F. Int. I	C. Alm. I	P. Pr. II	P. Int. II	P. Hum II	F. Hum II	F. Int. II	C. Alm. II
		15/10	1/12	15/4	30/4	15/6						
Duración días	Prep. I	Interm. I	Hum. I	C. Alm. I	Prep. II	Interm. II	Hum. II	C. Alm. II	Et	P 5 años	P 10 años	
		197	135	46								

	Et	P	Def. Agua DA	Exced. Agua EA	Pérdida por Evap.	Almacenaje 100 mm: Var. de Almac.	Almac.	Escurr.	Precip. effect.	Almacenaje 200 mm: Var. de Almac.	Almac.	Escurr.	Precip. effect.
E		140		42		+42	93		140	+42	93		140
F	86	136		50		+7	100	43	93	+50	143		136
M	81	131		50		0	100	50	81	+50	193		131
A	70	51	19			-19	81		51	-19	174		51
M	57	16	41			-41	40		16	-41	133		16
J	44	1	44		1	-40	0		0	-44	89		0
J	52	4	52		4	0	0		0	-52	37		0
A	69	2	69		2	0	0		0	-37	0		0
S	82	25	57			0	0		25	0	0		25
O	96	47	49			0	0		47	0	0		47
N	98	71	27			0	0		71	0	0		71
D	103	154		51		+51	51		154	+51	51		154
TOTAL	936	776	358	193	7			93	676				769

BALANCE HIDRICO

ESTACION: Caylloma PAIS: Perú METODO: Penman

Fechas	P. Pr. I	P. Int. I	P. Hum. I	F. Hum. I	F. Int. I	C. Alm. I	P. Pr. II	P. Int. II	P. Hum. II	F. Hum. II	F. Int. II	C. Alm. II
		15/11	15/12	31/3	20/4	10/6						
Duración días	Prep. I	Interm. I	Hum. I	C. Alm. I	Prep. II	Interm. II	Hum. II	C. Alm. II	Et	P 5 años	P 10 años	
		156	106	51								

	Et	P	Def. Agua DA	Exced. Agua EA	Pérdida por Evap.	Almacenaje 100 mm: Var. de Almac.	Almac.	Escurr.	Precip. effect.	Almacenaje 200 mm: Var. de Almac.	Almac.	Escurr.	Precip. effect.
E	100	133		33		+33	41		133	+33	41		133
F	79	164		85		+59	100	26	138	85	126		164
M	82	133		51		0	100	51	82	+51	177		133
A	68	42	26			-26	74		42	-26	151		42
M	1	9	52			-52	22		9	-52	99		9
J	49	5	44			-22	0		5	-44	55		5
J	58	2	56		2	0	0		0	-55	0		0
A	75	6	69			0	0		6	0	0		6
S	81	15	66			0	0		15	0	0		15
O	101	27	74			0	0		27	0	0		27
N	105	28	77			0	0		28	00	0		28
D	97	105		8		+8	8		105	+8	8		105
TOTAL	956	669	464	177	2			77	590				667

BALANCE HIDRICO

ESTACION: Cuenca Rio Verde PAIS: Perú METODO. Penman

Fechas	P Pr I	P Int I	P Hum. I	F Hum. I	F Int. I	C. Alm I	P Pr II	P. Int. II	P Hum II	F Hum II	F Int II	C. Alm. II
		25/10	1/12	31/3	30/4	30/6						

Duración días	Prep. I	Interm. I	Hum. I	C Alm. I	Prep. II	Interm. II	Hum. II	C Alm II	Et	P
		187	121	60					5 años	10 años

	mm					Almacenaje 100 mm				Almacenaje 200 mm			
	Et	P	Def. Agua DA	Exced Agua EA	Pérdida por Evap	Var. de Almac	Almac	Escurr	Precip. effect	Var de Almac.	Almac.	Escurr.	Precip. effect
E	94	141		47		+47	92		141	+47	92		141
F	81	136		55		+8	100	47	89	+55	147		136
M	81	130		49		0	100	49	81	+49	196		130
A	66	37	29			-29	71		37	-29	167		37
M	52	19	33			-33	38		19	-33	134		19
J	44	1	43		1	-38	0		0	-43	91		0
J	50	3	47		3	0	0		0	-47	44		0
A	62	3	59		3	0	0		0	-44	0		0
S	74	23	51			0	0		23	0	0		23
O	94	40	54.			0	0		40	0	0		40
N	99	59	40			0	0		59	0	0		59
D	95	140		45		+45	45		140	+45	45		140
TOTAL	892	732	356	196	7			96	629				725

BALANCE HIDRICO

ESTACION: Puno (Granja Salcedo) PAIS: Perú METODO: Penman

Fechas	P. Pr. I	P. Int I	P. Hum. I	F. Hum. I	F. Int I	C. Alm. I	P. Pr. II	P. Int. II	P. Hum. II	F. Hum. II	F. Int. II	C. Alm. II
		20/11	15/12	31/3	15/4	15/5						

Duración días	Prep. I	Interm. I	Hum. I	C. Alm. I	Prep. II	Interm. II	Hum. II	C. Alm. II.	Et	P
		146	106	30					7 años	10 años

	mm					Almacenaje 100 mm				Almacenaje 200 mm			
	Et	P	Def. Agua DA	Exced. Agua EA	Pérdida por Evap.	Var. de Almac.	Almac.	Escurr.	Precip. effect.	Var. de Almac	Almac.	Escurr.	Precip. effect.
E	111	120		9		+9	16		120	+9	16		120
F	96	135		39		+39	55		135	+39	55		135
M	99	134		35		+35	90		134	+35	90		134
A	96	37	59			-59	31		37	-59	31		37
M	89	14	75			-31	0		14	-31	0		14
J	88	1	87		1	0	0		0	0	0		0
J	68	3	65		3	0	0		0	0	0		0
A	83	4	79		4	0	0		0	0	0		0
S	96	30	66			0	0		30	0	0		30
O	116	36	80			0	0		36	0	0		36
N	117	53	64			0	0		53	0	0		53
D	114	121		7		+7	7		121	+7	7		121
TOTAL	1173	688	575	90	8			0	680			0	680

BALANCE HIDRICO

ESTACION: Arequipa PAIS: Perú METODO: Penman

Fechas	P. Pr. I	P. Int. I	F. Hum. I	F. Hum. I	F. Int. I	C. Alm. I	P. Pr. II	P. Int. II	P. Hum. II	F. Hum. II	F. Int. II	C. Alm. II
Duración días	Prep. I	Interm. I	Hum. I	C. Alm. I	Prep. II	Interm II	Hum II	C. Alm II	Et 10 años	P 20 años		

	mm					Almacenaje 100 mm				Almacenaje 200 mm			
	Et	P	Def. Agua DA	Exced. Agua EA	Pérdida por Evap.	Var. de Almac	Almac.	Escurr.	Precip. effect.	Var. de Almac.	Almac.	Escurr.	Precip. effect.
E	121	28	93				0		28		0		28
F	101	25	76				0		25		0		25
M	105	8	97				0		8		0		- 8
A	91	0	91				0				0		
M	76	1	75		1		0				0		
J	67	0	67				0				0		
J	67	0	67				0				0		
A	87	0	87				0				0		
S	102	2	100		2		0				0		
O	116	0	116				0				0		
N	125	1	124		1		0				0		
D	126	3	123		3		0				0		
TOTAL	1184	68	1116		7				61				61

BALANCE HIDRICO

ESTACION: Desaguadero PAIS: Perú METODO: Penman

Fechas	P. Pr. I	P Int. I	P. Hum. I	F. Hum. I	F. Int. I	C. Alm. I	P. Pr. II	P. Int. II	P. Hum. II	F. Hum. II	F. Int. II	C. Alm. II
		20/11	5/1	15/3	10/4							
Duración días	Prep. I	Interm. I	Hum. I	C. Alm. I	Prep. II	Interm. II	Hum. II	C. Alm. II	Et 9 años	P. 10 años		
		141	69	-								

	mm					Almacenaje 100 mm				Almacenaje 200 mm			
	Et	P	Def. Agua DA	Exced Agua EA	Pérdida por Evap.	Var. de Almac.	Almac.	Escurr	Precip. effect.	Var. de Almac	Almac.	Escurr.	Precip. effect.
E	119	125		6		+6	6		125	+6	6		125
F	105	132		37		+27	33		132	+27	33		132
M	106	95	11			-11	22		95	-11	22		95
A	87	29	58			-22	0		29	-22	0		29
M	67	13	54			0	0		13	0	0		13
J	57	4	53		4	0	0		0	0	0		0
J	63	4	59		4	0	0		0	0	0		0
A	85	6	79		6	0	0		0	0	0		0
S	102	22	80			0	0		22	0	0		22
O	124	18	106			0	0		18	0	0		18
N	127	41	86			0	0		41	0	0		41
D	128	119	9			0	0		119	0	0		119
TOTAL	1170	608	595	33	14				596				596

BALANCE HIDRICO ESTACION: Paucarani PAIS: Perú METODO: Penman

Fechas	P. Pr. I	P. Int. I	P. Hum. I	F. Hum. I	F. Int. I	C. Alm I	P. Pr II	P. Ini. II	P Hum. II	F Hum. II	F. Int. II	C. Alm. II
		5/12	-	-	31/3							
Duración días	Prep. I	Interm. I	Hum. I	C Alm. I	Prep. II	Interm. II	Hum. II	C Alm. II	Et		P	
		116							9 años		9 años	

	mm					Almacenaje 100 mm				Almacenaje 200 mm			
	Et	P	Def. Agua DA	Exced. Agua EA	Pérdida por Evap.	Var. de Almac.	Almac.	Escurr.	Precip. effect.	Var. de Almac.	Almac.	Escurr	Precip. effect.
E	97	67	30				0		67		0		67
F	76	78		2		2	2		78	+2	2		78
M	81	72	9			-2	0		72	-2	0		72
A	76	4	72		4		0		0		0		0
M	88	1	87		1		0		0		0		0
J	53	1	52		1		0		0		0		0
J	61	0	61				0		0		0		0
A	64	0	64				0		0		0		0
S	83	2	81		2		0		0		0		0
O	101	3	98		3		0		0		0		0
N	99	25	74				0		25		0		25
D	100	58	42				0		58		0		58
TOTAL	979	311	670	2	11				300				300

BALANCE HIDRICO

ESTACION: El Belen PAIS: Bolivia METODO: Penman

Fechas	P. Pr. I	P. Int. I	P. Hum. I	F. Hum. I	F. Int. I	C. Alm. I	P. Pr. II	P. Int. II	P. Hum. II	F. Hum. II	F. Int. II	C. Alm. II
		20/11	15/12	20/1	5/4							
Duración días	**Prep. I**	**Interm. I**	**Hum. I**	**C. Alm. I**	**Prep. II**	**Interm. II**	**Hum. II**	**C. Alm. II**	**Et**		**P**	
			135	35					9 años		9 años	

	mm					Almacenaje 100 mm				Almacenaje 200 mm			
	Et	P	Def. Agua DA	Exced. Agua EA	Pérdida por Evap.	Var. de Almac.	Almac.	Escurr.	Precip. effect.	Var. de Almac.	Almac.	Escurr.	Precip. effect.
E	84	89		5		+5	5		89	+ 5	5		89
F	90	79	11			-5	0		79	- 5	0		79
M	88	59	29			0	0		59		0		59
A	71	31	40			0	0		31		0		31
M	54	30	24			0	0		30		0		30
J	41	1	40		1	0	0		0		0		0
J	48	5	43			0	0		5		0		5
A	62	12	50			0	0		12		0		12
S	78	29	49			0	0		29		0		29
O	95	31	64			0	0		31		0		31
N	99	52	47			0	0		52		0		52
D	102	97	5			0	0		97		0		97
TOTAL	912	515	402	5	1				514				514

BALANCE HIDRICO

ESTACION: Chulumani PAIS: Bolivia METODO: Penman

Fechas	P. Pr. I	P. Int. I	P. Hum. I	F. Hum. I	F. Int. I	C. Alm. I	P. Pr. II	P. Int. II	P. Hum. II	F. Hum. II	F. Int. II	C. Alm. II
		7/8	25/11	25/3	25/4	5/6						
Duración días	**Prep. I**	**Interm. I**	**Hum. I**	**C. Alm. I**	**Prep. II**	**Interm. II**	**Hum. II**	**C. Alm. II**	**Et**		**P**	
		260	120	40					9 años		9 años	

	mm					Almacenaje 100 mm				Almacenaje 200 mm			
	Et	P	Def. Agua DA	Exced Agua EA	Pérdida por Evap.	Var. de Almac.	Almac.	Escurr.	Precip. effect.	Var. de Almac.	Almac.	Escurr.	Precip. effect.
E	141	171		30		+30	77	0	171	+30	77	0	171
F	120	223		103		+23	100	80	143	+103	180	0	223
M	121	141		20		0	100	20	12	+20	200	0	141
A	101	56	45			-45	55	0	56	-45	155	0	56
M	86	38	48			-48	7	0	38	-48	107	0	38
J	70	17	53			-7	0	0	17	-53	54	0	17
J	76	20	56			0	0	0	20	-54	0	0	20
A	95	58	37			0	0	0	58	0	0	0	58
S	111	97	14			0	0	0	97	0	0	0	97
O	130	99	31			0	0	0	99	0	0	0	99
N	137	117	20			0	0	0	117	0	0	0	117
D	141	188		47		+47	47	0	188	+47	47	0	188
TOTAL	1329	1225	304	200				100	1125				1225

BALANCE HIDRICO ESTACION: La Paz Central PAIS: Bolivia METODO: Penman

Fechas	P. Pr. I	P. Int I	P. Hum. I	F. Hum. I	F. Int I	C. Alm. I	P. Pr. II	P. Int II	P. Hum. II	F. Hum II	F. Int. II	C. Alm. II
		15/11	20/12	15/2	10/4							
Duración días	Prep. I	Interm. I	Hum. I	C Alm I	Prep. II	Interm. II	Hum II	C. Alm II	Et		P	
		156	47						12 años		30 años	

mm

	Et	P	Def. Agua - DA	Exced. Agua EA	Pérdida por Evap.	Almacenaje 100 mm: Var de Almac	Almac.	Escurr.	Precip. effect.	Almacenaje 200 mm: Var. de Almac.	Almac.	Escurr.	Precip. effect.
E	102	121		19		+19	19		121	+19	19		121
F	88	93		5		+5	24		93	+5	24		93
M	88	64	24			-24	0		64	-24	0		64
A	78	29	49				0		29		0		29
M	60	12	48				0		12		0		12
J	46	6	40				0		6		0		6
J	51	6	45				0		6		0		6
A	66	11	55				0		11		0		11
S	80	37	43				0		37		0		37
O	97	35	62				0		35		0		35
N	100	50	50				0		50		0		50
D	100	91	9				0		91		0		91
TOTAL	956	555	425	24					555				555

BALANCE HIDRICO ESTACION: Patacamaya PAIS: Bolivia METODO: Penman

Fechas	P. Pr. I	P. Int. I	P. Hum. I	F. Hum. I	F. Int. I	C. Alm. I	P. Pr. II	P. Int. II	P. Hum. II	F. Hum. II	F. Int. II	C. Alm. II
		1/12	-	-	20/3							
Duración días	Prep. I	Interm. I	Hum. I	C. Alm. I	Prep. II	Interm. II	Hum. II	C Alm. II	Et		P	
		110							años		años	

mm

	Et	P	Def. Agua DA	Exced. Agua EA	Pérdida por Evap.	Almacenaje 100 mm: Var. de Almac.	Almac.	Escurr	Precip. effect.	Almacenaje 200 mm: Var. de Almac.	Almac.	Escurr.	Precip. effect.
E	120	88	32				0		88		0		88
F	100	69	31				0		69		0		69
M	100	47	53				0		47		0		47
A	76	15	61				0		15		0		15
M	59	8	51				0		8		0		8
J	44	2	42		2		0		0		0		0
J	49	1	48		1		0		0		0		0
A	65	9	56				0		9		0		9
S	84	37	47				0		37		0		37
O	111	18	93				0		18		0		18
N	119	33	86				0		33		0		33
D	122	76	46				0		76		0		76
TOTAL	1049	403	646		3				400				400

BALANCE HIDRICO

ESTACION: Cochabamba PAIS: Bolivia METODO: Penman

Fechas	P. Pr. I	P. Int. I	P. Hum. I	F. Hum. I	F. Int. I	C. Alm. I	P. Pr. II	P. Int. II	P. Hum. II	F. Hum. II	F. Int. II	C. Alm. II
		1/12	-	-	15/3	-	-					
Duración días	**Prep. I**	**Interm. I**	**Hum. I**	**C. Alm. I**	**Prep. II**	**Interm. II**	**Hum. II**	**C. Alm. II**	**Et** 10 años		**P** 30 años	
		105										

mm

	Et	P	Def. Aguc DA	Exced. Agua EA	Pérdida por Evap.	Almacenaje 100 mm				Almacenaje 200 mm			
						Var. de Almac.	Almac.	Escurr.	Precip. effect.	Var. de Almac.	Almac.	Escurr.	Precip. effect.
E	131	114	17				0		114		0		114
F	111	105	6				0		105		0		105
M	110	61	49				0		61		0		61
A	87	17	70				0		17		0		17
M	65	6	59				0		6		0		6
J	46	2	44		2		0		0		0		0
J	54	2	52		2		0		0		0		0
A	81	5	76				0		5		0		5
S	111	7	104				0		7		0		7
O	137	18	119				0		18		0		18
N	139	46	93				0		46		0		46
D	132	95	37				0		95		0		95
TOTAL	1204	478	726		4				474				474

BALANCE HIDRICO

ESTACION: Totora PAIS: Bolivia METODO: Penman

Fechas	P. Pr. I	P. Int. I	P. Hum. I	F. Hum. I	F. Int. I	C. Alm. I	P. Pr. II	P. Int. II	P. Hum. II	F. Hum. II	F. Int. II	C. Alm. II
		15/11	25/12	1/3	10/4	20/4						
Duración días	**Prep. I**	**Interm. I**	**Hum. I**	**C. Alm. I**	**Prep. II**	**Interm. II**	**Hum. II**	**C. Alm. II**	**Et** 10 años		**P** 25 años	
		146	65	10								

mm

	Et	P	Def. Agua DA	Exced. Agua EA	Pérdida por Evap.	Almacenaje 100 mm				Almacenaje 200 mm			
						Var. de Almac.	Almac.	Escurr.	Precip. effect.	Var. de Almac.	Almac.	Escurr.	Prscip. effect.
E	124	143		19		+19	19		143	+19	19		143
F	105	133		28		+28	47		133	+28	47		133
M	104	84	20			-20	27		84	-20	27		84
A	87	26	61			-27	0		26	-27	0		26
M	73	4	69		4	0	0		0	0	0		0
J	54	4	50		4		0		0		0		0
J	61	3	58		3		0		0		0		0
A	82	6	76				0		6		0		6
S	101	6	95				0		6		0		6
O	122	24	98				0		24		0		24
N	125	64	61				0		64		0		64
D	126	110	16				0		110		0		110
TOTAL	1164	607	604	47	11				596				596

BALANCE HIDRICO ESTACION: Oruro PAIS: Bolivia METODO: Penman

Fechas	P. Pr. I	P. Int I	P. Hum. I	F. Hum. I	F. Int I	C. Alm. I	P. Pr. II	P. Int. II	P. Hum II	F. Hum II	F. Int. II	C. Alm. II
		15/12	-	-	15/3	-						

Duración días	Prep I	Interm. I	Hum. I	C Alm I	Prep. II	Interm II	Hum II	C. Alm II	Et P
		90							15 años 30 años

	mm					Almacenaje 100 mm				Almacenaje 200 mm			
	Et	P	Def. Agua DA	Exced. Agua EA	Pérdida por Evap.	Var. de Almac.	Almac.	Escurr.	Precip. effect.	Var. de Almac	Almac.	Escurr.	Precip effect
E	136	85	51				0		85		0		85
F	108	79	29				0		79		0		79
M	113	48	65				0		48		0		48
A	88	15	73				0		15		0		15
M	69	6	63				0		6		0		6
J	54	4	50		4		0		0		0		0
J	60	3	57		3		0		0		0		0
A	83	9	74				0		9		0		9
S	100	21	79				0		21		0		21
O	126	17	109				0		17		0		17
N	139	32	107				0		32		0		32
D	141	70	71				0		70		0		70
TOTAL	1217	389	828		7				382				382

BALANCE HIDRICO ESTACION: Tacagua PAIS: Bolivia METODO: Penman

Fechas	P. Pr. I	P. Int. I	P. Hum. I	F. Hum. I	F. Int. I	C. Alm. I	P. Pr. II	P. Int. II	P. Hum. II	F. Hum. II	F. Int. II	C. Alm. II
		1/12	-	-	20/3							

Duración días	Prep. I	Interm. I	Hum. I	C. Alm. I	Prep. II	Interm. II	Hum. II	C. Alm. II	Et P
		110							9 años 9 años

	mm					Almacenaje 100 mm				Almacenaje 200 mm			
	Et	P	Def. Agua DA	Exced. Agua EA	Pérdida por Evap.	Var. de Almac.	Almac.	Escurr.	Precip. effect.	Var. de Almac.	Almac.	Escurr.	Precip. effect.
E	124	66	58				0		66		0		66
F	102	72	30				0		72		0		72
M	100	62	38				0		62		0		62
A	75	10	65				0		10		0		10
M	57	4	53		4		0		0		0		0
J	42	3	39		3		0		0		0		0
J	48	1	47		1		0		0		0		0
A	64	2	62		2		0		0		0		0
S	83	25	58				0		25		0		25
O	109	7	102				0		7		0		7
N	114	26	88				0		26		0		26
D	121	73	48				0		73		0		73
TOTAL	1039	351	688		10				678				678

BALANCE HIDRICO

ESTACION: Sucre PAIS: Bolivia METODO: Penman

Fechas	P. Pr. I	P Int. I	P Hum. I	F Hum. I	F. Int. I	C. Alm. I	P Pr II	P Int. II	P Hum. II	F. Hum II	F. Int. II	C. Alm. II
		15/11	20/12	20/2	25/3	-						
Duración días	**Prep. I**	**Interm. I**	**Hum I**	**C Alm I**	**Prep. II**	**Interm. II**	**Hum. II**	**C. Alm II**	**Et**		**P**	
		130	62						10 años		25 años	

mm

	Et	P	Def. Agua DA	Exced. Agua EA	Pérdida por Evap.	Almacenaje 100 mm				Almacenaje 200 mm			
						Var. de Almac.	Almac.	Escurr.	Precip. effect.	Var. de Almac.	Almac.	Escurr.	Precip. effect.
E	125	150		25		+25	25		150	+25	25		150
F	114	122		8		+8	33		122	+8	33		122
M	107	65	42			-33	0		65	-33	0		65
A	88	23	65			0	0		23	0	0		23
M	75	7	68				0		7		0		7
J	59	2	57		2		0		0		0		0
J	64	3	61		3		0		0		0		0
A	81	7	74				0		7		0		7
S	101	29	72				0		29		0		29
O	123	32	91				0		32		0		32
N	127	63	64				0		63		0		63
D	131	112	19				0		112		0		112
TOTAL	1195	615	613	33	5				610				610

BALANCE HIDRICO

ESTACION: Padilla PAIS: Bolivia METODO: Penman

Fechas	P. Pr. I	P Int. I	P. Hum. I	F. Hum. I	F. Int. I	C. Alm. I	P. Pr. II	P Int. II	P Hum. II	F. Hum. II	F. Int. II	C. Alm. II
		5/11	-	-	5/4							
Duración días	**Prep. I**	**Interm. I**	**Hum. I**	**C. Alm. I**	**Prep. II**	**Interm. II**	**Hum. II**	**C. Alm. II**	**Et**		**P**	
		151							10 años		24 años	

mm

	Et	P	Def. Agua DA	Exced. Agua EA	Pérdida por Evap.	Almacenaje 100 mm				Almacenaje 200 mm			
						Var. de Almac.	Almac.	Escurr.	Precip. effect.	Var. de Almac.	Almac.	Escurr.	Precip. effect.
E	140	134	6				0		134		0		134
F	115	119		4		+4	4		119	+4	4		119
M	114	80	34			-4	0		80	-4	0		80
A	90	28	62				0		28		0		28
M	69	11	58				0		11		0		11
J	55	4	51		4		0		0		0		0
J	63	5	58		5		0		0		0		0
A	85	8	77				0		8		0		8
S	104	26	78				0		26		0		26
O	128	55	73				0		55		0		55
N	138	75	63				0		75		0		75
D	142	124	18				0		124		0		124
TOTAL	1243	669	578	4	9				660				660

BALANCE HIDRICO ESTACION: Puna PAIS: Bolivia METODO: Penman

Fechas	P. Pr. I	P. Int I	P. Hum. I	F. Hum. I	F. Int. I	C. Alm. I	P. Pr. II	P. Int. II	P. Hum. II	F. Hum. II	F. Int. II	C. Alm. II
		5/11			31/3							

Duración días	Prep. I	Interm. I	Hum. I	C. Alm. I	Prep II	Interm. II	Hum II	C. Alm II	Et	P
		146							9 años	9 años

	mm					Almacenaje 100 mm				Almacenaje 200 mm			
	Et	P	Def. Agua DA	Exced. Agua EA	Pérdida por Evap.	Var de Almac	Almac.	Escurr.	Precip. effect.	Var. de Almac.	Almac.	Escurr.	Precip. effect.
E	118	87	31				0		87		0		87
F	99	90	9				0		90		0		90
M	98	58	40				0		58		0		58
A	75	22	53				0		22		0		22
M	59	7	52				0		7		0		7
J	42	1	41		1		0		0		0		0
J	49	0	49				0		0		0		0
A	65	4	61		4		0		0		0		0
S	85	17	68				0		17		0		17
O	109	18	91				0		18		0		18
N	120	76	44				0		76		0		76
D	121	88	33				0		88		0		88
TOTAL	1040	468	572		5				463				463

BALANCE HIDRICO ESTACION: Oploca PAIS: Bolivia METODO: Penman

Fechas	P. Pr. I	P. Int. I	P. Hum. I	F. Hum. I	F. Int. I	C. Alm. I	P. Pr. II	P. Int. II	P. Hum. II	F. Hum. II	F. Int. II	C. Alm. II
		15/11	-	-	20/1	0-	-					

Duración días	Prep. I	Interm. I	Hum. I	C. Alm. I	Prep. II	Interm. II	Hum. II	C. Alm. II	Et	P
		66							10 años	30 años

	mm					Almacenaje 100 mm				Almacenaje 200 mm			
	Et	P	Def. Agua DA	Exced. Agua EA	Pérdida por Evap.	Var. de Almac.	Almac.	Escurr	Precip. effect.	Var. de Almac.	Almac.	Escurr.	Precip. effect.
E	140	68	72				0		68		0		68
F	114	63	51				0		63		0		63
M	112	25	87				0		25		0		25
A	84	3	81		3		0		0		0		0
M	61	0	61		0		0		0		0		0
J	46	0	46				0		0		0		0
J	50	0	50				0		0		0		0
A	70	0	70				0		0		0		0
S	94	2	92		2		0		0		0		0
O	126	2	124		2		0		0		0		0
N	136	21	115				0		21		0		21
D	142	62	80				0		62		0		62
TOTAL	1175	246	929		7				239				239

BALANCE HIDRICO ESTACION: Villazon PAIS: Bolivia METODO: Penman

Fechas	P. Pr. I	F. Int. I	F. Hum. I	F. Hum. I	F. Int. I	C. Alm. I	P. Pr. II	P. Int. II	P. Hum. II	F. Hum. II	F. Int. II	C. Alm. II
		5/12	–	–	20/1							

Duración días	Prep. I	Interm. I	Hum. I	C. Alm. I	Prep. II	Interm. II	Hum. II	C. Alm. II	Et	P
		46							10 años	20 años

	mm					Almacenaje 100 mm				Almacenaje 200 mm			
	Et	P	Def. Agua DA	Exced. Agua EA	Pérdida por Evap.	Var. de Almac.	Almac.	Escurr.	Precip. effect.	Var. de Almac.	Almac.	Escurr.	Precip. effect.
E	125	72	53				0		72		0		72
F	104	64	40				0		64		0		64
M	96	41	55				0		41		0		41
A	70	10	60				0		10		0		10
M	45	1	44		1		0		0		0		0
J	32	0	32				0		0		0		0
J	37	0	37				0		0		0		0
A	54	0	54				0		0		0		0
S	78	4	74		4		0		0		0		0
O	106	11	95				0		11		0		11
N	120	22	98				0		22		0		22
D	124	102	22				0		102		0		102
TOTAL	991	327	664		5				322				322

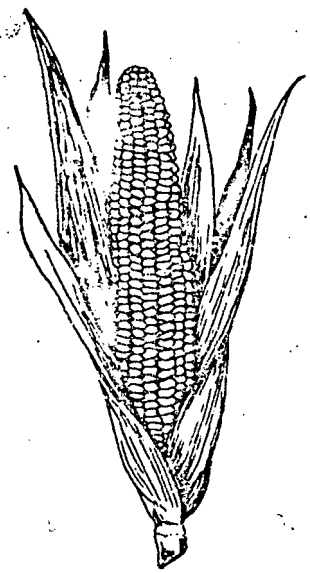
PARTE II - CULTIVOS

Introducción

Después de haber analizado los diversos elementos del medio ambiente físico de los cultivos, la segunda parte de esta encuesta considera el efecto de este medio ambiente en el crecimiento, el desarrollo y la producción de los principales cultivos que existen en la región.

La lista de estos cultivos se ha limitado a aquellos característicos de las montañas. Por ejemplo, no se ha incluído el café, aunque tiene una gran importancia económica para el norte de la región, pues no es un real cultivo de montaña.

Para evitar también una gran dispersión de esfuerzos, se ha puesto el acento definidamente en los cultivos alimenticios. Finalmente, sin duda se lamentará que no se haya escrito más acerca de las relaciones directas entre los factores climáticos y los rendimientos de los cultivos. Esto se debe principalmente a que en las regiones montañosas como la que se estudia es sumamente difícil obtener datos estadísticos homogéneos referentes a los rendimientos de los cultivos y a las condiciones climáticas que prevalecen en una misma zona.



XIII. MAIZ

1. Introducción y origen del cultivo

El maíz es originario de América. Algunos especialistas ubican su origen en el valle de Mexico, donde se han encontrado semillas fósiles de 60,000 años de antigüedad. Otros autores ubican su lugar de origen en el valle inferior del Magdalena, en Colombia.

Este cultivo tiene una importancia primordial en toda la región que estudiamos y ocupa una posición fundamental en la dieta de la población andina.

El maíz en los altos Andes es un cultivo poco intensivo, siendo plantado más para el consumo local que para el comercio. Sólo una variedad, "Gigante de Cuzco", tiene cierta importancia en exportación.

El maíz andino comprende numerosas "razas", que se han descrito separadamente para todos los países, de Venezuela a Bolivia. Dentro de este complejo, y limitándose a alturas sobre los 2000 m, tres de los seis linajes adoptados recientemente por Mangelsdorf (1974) aparecen como originarios de la región. El primero, Kculli, incluye las razas más típicas, caracterizadas por mazorcas redondas y gruesas, granos harinosos de color brillante: rojos, amarillos, púrpura, uniformes o a rayas. Las plantas son de porte intermedio, con frecuencia de follaje purpúreo, medianamente tardías (120-140 días a maduración). En varias razas, se presentan granos de coloración irregular, fondo blanco con puntos morados, por ejemplo.

Un segundo linaje, Chullpi, representa la forma original de los maíces dulces. Son razas de porte variable, tardías, de mazorcas pequeñas, cilíndricas o cónicas, con granos del tipo azucarada, blancos o amarillos.

El tercer linaje, Confite Morocho, tiene una expansión altitudinal más amplia; de los 1000 a 3500 m. Este grupo es importante en el sentido de que de él derivan muchas de las variedades comerciales de maíz, como los que se plantan en las praderas de Norte América.

El cuadro racial es muy complejo. La interacción de grupos norteños y el desarrollo de razas locales por aislamiento y selección cultural, han determinado el mayor número de razas en Perú y Bolivia, mientras que hacia el norte y el sur, el número de razas disminuye. Hay algunas notables: "Cuzco" tiene las semillas más grandes de todos los maíces conocidos; "Pisanckalla", de Bolivia, tiene mazorcas largas con filas de granos duros y punteados; "San Gerónimo", del valle del Mantaro en el centro de Perú, es de porte muy reducido y resistente a heladas. Igualmente variados son los usos. El consumo más común en Perú y Bolivia es como verdura, utilizando

mazorcas tiernas (choclo); secado, en granos enteros o molidos; reventado o para dar color a bebidas. La preparación de chicha es otra forma importante de consumo. En Colombia y Venezuela, el consumo principal es la preparación de "arepas", hechas de maíz, cocinado y molido, que reemplazan al pan.

Las razas indígenas de maíz se mantienen en los altos Andes por su adaptación ecológica a ambientes muy restringidos, por el conservadorismo de la agricultura aborigen y la falta de variedades superiores. Es notable en los Andes el ataque de enfermedades (royas, helmintosporiosis), a las cuales los maíces andinos ofrecen un amplio rango de resistencia.

2. Datos de producción

En Venezuela el maíz es uno de los cultivos prioritarios, en primer lugar para alimentación humana y luego para la animal. En la alimentación humana se prefieren los granos blancos de endosperma dura. Desde 1964, cuando se inició la elaboración de harina precocida, aumentó notablemente su uso.

Los siguientes promedios anuales corresponden al trienio 1969-71 en lo referente a:

- Superficie cultivada: 605,625 ha
- Producción: 698,000 ton por un valor de 349 millones de Bs.
- Rendimiento: 1155 kg por ha.

La producción y el hectaraje aumentaron en el decenio 1962-71 y la productividad se elevó ligeramente en los últimos años.

- Importaciones: para el trienio citado la importación promedio anual de grano es de 108,267 toneladas. Aunque el país produce aceite de maíz, aún se importaban cantidades pequeñas; así en 1970 fue de 7 ton.

- Exportación: la exportación de harina es de 62 ton para 1970.

En Colombia el maíz es el principal cultivo anual del país y es de primordial importancia en la alimentación humana tanto en las ciudades como en el campo, aunque hay cierta declinación en su consumo durante los últimos años. Su utilización en concentrados para la alimentación animal es también importante y las importaciones de 1973 se destinaron a ese uso.

El cultivo del maíz abarca todo el país, o sea, todos los pisos térmicos. Tanto en Colombia como Ecuador la asociación de maíz con frijol es una práctica corriente que llega hasta altitudes en que la leguminosa es afectada por las heladas. Los agricultores siguen esta forma de asociar desde antiguo. No prima el concepto de simbiosis que tenemos los técnicos, sino el de la seguridad de las cosechas, el tutoraje para el frijol y en buena medida la dieta balanceada que está al alcance de la gente de bajos ingresos.

En Colombia, de la superficie total sembrada, el 66% corresponde a los pequeños agricultores distribuidos a lo largo de la montaña por encima de los mil metros de altura. Los departamentos de Córdoba, Antioquía, Cundinamarca y Boyacá participan, en ese orden de importancia, del área tradicional donde la asistencia técnica - como en el resto de los otros países - es insuficiente. En cambio, en el área comercial de producción, que está en los departamentos del Valle, Magdalena, Sucre, Tolima y Meta, y que corresponde a los pisos inferiores, la asistencia técnica es más eficiente.

En el cuadro siguiente (94) aparecen el área, la producción y los rendimientos durante 1972 (semestres 1972 y 1972-73) en Colombia.

	Area cultivada (miles ha)			Producción (miles ton)			Rendimientos (kg x ha)	
Semestres	Tradicional	Mecanizado	Total	Tradicional	Mecanizado	Total	Tradicional	Mecanizado
1972	199	103	302	239	166	405	1200	1600
1972-73	161	79	240	193	127	320	1200	1600
Sumas	360	182	542	432	293	725	1200	1600

Fuente: OPSA

Figura 94 Maíz; Area, producción y rendimientos en Colombia.

El valor de la producción del maíz se incluye en el cuadro 95 en el cual aparecen algunos otros productos importantes.

Productos	Millones de $ 1972	1973	Indice (base 1972)
Maiz	1,086,2	1,416,0	130.4
Frijol	529,5	585,1	110.5
Trigo	164,6	275,4	163.7
Cebada	203,7	291,7	143.2
Papa	1,002,2	1,049,8	104.7

Fuente: OPSA

Figura 95 Valor estimado de la prodducción para 5 cultivos.

El consumo nacional no es autoabastecido. Además, en los últimos años los fenómenos meteorológicos adversos han afectado la producción según las regiones. Por ejemplo, las lluvias abundantes, si bien favorecen los cultivos en laderas del área tradicional, perjudican los del área comercial; o los veranos rigurosos, que han obligado a resembrar o reemplazer el maíz por otros cultivos, como la soya o algodón. Las pérdidas por sequía en el período de octubre 1972 a febrero 1973 fueron estimadas en 110 millones de $ US para el sector agropecuario. Al maíz correspondieron unos 9 millones de US$ de esta cifra. Como consecuencia, en el primer trimestre de 1973 se gestionaban importaciones de cerca de 40,000 tons de grano y se estimaba que el total a importarse para ese año podría duplicar esa cifra.

En Ecuador el 67% de los productores de maíz son pequeños campesinos con menos de 10 ha y producen un 60% de la producción total. En la Sierra los pequeños productores son el 72%, y producen el 65% del maíz de la Sierra, que equivale al 55% del producido en el país. Sus rendimientos son los más bajos: alrededor de 600-800 kg/ha. El cuadro 96 da las cifras de producción y rendimiento.

Localización	Superficie cosechada (ha)	Producción (ton)	Rendimiento (kg x ha)
Sierra	229,160	190,200	830
Costa y Oriente	54,690	68,910	1,260
	283,850	259,110	913

Fuente: Junta Nacional de Planificación y Ministerio de Agricultura

Figura 96 Superficie, producción y redimientos en Ecuador.

El variado consumo humano de maíz tostado - "mote", "morocho", "canguil", "máchica", choclo, "humitas", "tomates", etc. - muestra marcada preferencia por los maíces criollos de altura, de grano grueso amarillo harinoso, blanco semiharinoso y blanco duro.

En los planes del gobierno se tiende a reducir la superficie de cultivo de maíz en la Sierra a favor del cultivo de trigo y a ampliar el cultivo de maíz duro en la Costa. Además, se preconiza que los cultivos de la Sierra sean distribuídos en zonas ecológicas más aptas, dentro de la cota de los 2000 a 3500 m, mediante estudios básicos en áreas seleccionadas.

Las exportaciones corresponden a la de sorbital, derivado de la glucosa del maíz, que es un producto destinado a la industria farmacéutica.

Las importaciones de maíz duro para concentrados llegaron últimamente a las 5000 toneladas.

En Perú el maíz es uno de los cultivos principales. A diferencia de Colombia y Ecuador, el mayor volumen de la producción se da en las zonas bajas, o sea en la Costa y la Selva, aunque la superficie sembrada en la Sierra sobrepasa el total sembrado en las otras dos regiones.

Regiones	Superficie (ha)	Producción (ton)	Rendimiento (kg x ha)
Costa	112,515	347,823	3,090
Sierra	217,415	202,546	930
Selva	43,915	65,999	1,505
Total y promedio	373,845	616,368	1,650

Fuente: Manrique, 1973

Figura 97 Superficie, producción y rendimientos en Perú.

La Costa produce el 56% del total del país, la Sierra el 33% y la Selva el 11%. En la Costa el maíz compite económicamente con otros cultivos altamente tecnificados, como el algodón y la caña de azúcar.

El uso del maíz en la alimentación humana está generalizado y existe una relación directa con el área cultivada en la Sierra, pero quizá no con la misma intensidad que en Colombia y Ecuador. Esto sería un reflejo del hecho de que en las tierras altas de Perú y Bolivia existe una agricultura

más diversificada, con especies nativas de grano y tubérculos. El cultivo de maíz para grano es el más importante. Luego vienen, en orden de importancia, el de maíz verde para choclo y para forraje como chala; casi toda la producción de grano en la Costa se destina a la alimentación animal. Los usos del maíz en Perú se especifican en el cuadro siguiente (98).

	Porcentaje	
Consumo animal	58	Duro y semiduro
Consumo humano	38	Harinoso
Uso industrial	2	Duro y semiduro
Semilla	2	Híbridos (20%), variedades polinización abierta (80%)
	100	

Fuente: Scheuch, 1971

Figura 98 Usos del Maíz en Perú.

Las importaciones, las exportaciones y sus valores aparecen en el siguiente cuadro (99).

Importación (ton)	1969	1970	1971	1972
Grano	9,683	3,992	2,493	1,526
Productos elaborados	3,373	2,275	2,066	-
Valor (miles de S/)	20,869	13,605	10,232	14,060
Exportación (ton)				
Grano	813	258	428	-
Valor (miles de S/)	8,889	3,278	5,153	-

Fuente: Perú, Estadística Agraria 1969-70-71. ONEC

Figura 99 Importaciones, exportaciones y sus valores en Perú

La importación de productos elaborados se refiere a aceite, harina, maicena o harina desgrasada, sémola o polenta y maíz en conserva.

Ha habido períodos en que Perú dejó de importar maíz (Scheuch, 1971) debido al impulso dado por el Programa de Maíz, especialmente en la Costa donde se desarrolla una agricultura bastante tecnificada. Debido a un crecimiento acelerado de la producción avícola, han aumentado las importaciones de maíz para concentrados. Para 1973, esta importación se estima en unas 150,000 ton.

La elaboración de concentrados a base de maíz y sorgo y su transformación en productos animales, ligada al hecho que el país llegó a ser el principal productor de harina de pescado, ha permitido en algunos períodos la exportación de aves y huevos a los países vecinos.

Para Bolivia, se dan en el cuadro 100 la superficie, la producción y los rendimientos del maíz durante tres años, y también de algunos otros cultivos de importancia.

Año		Superficie (miles ha)	Producción (miles ton)	Rendimiento (kg/ha)
1969		218	289	1323
1970		219	280	1279
1971		225	293	1302
1970	papas	95	656	6905
	trigo	78	62	795
	cebada	78	62	788
	arroz	53	64	1206

Fuente: FAO

Figura 100 Superficie, producción y rendimientos en Bolivia

El maíz es el cereal más importante y lo cultivan principalmente pequeños agricultores, que son el 90% de los productores. Este es el porcentaje más elevado en el ámbito andino. La población rural esta concentrada en la Sierra y tiene una gran movilidad como resultado de la reforma agraria, iniciada hace 20 años.

El gran volumen de la producción de maíz, en sus diversas formas, se destina a la alimentación humana a lo largo de todo el país, desde las partes altas, o sea descendiendo del altiplano por los valles mesotérmicos, pasando por el sub-trópico de los Yungas hasta llegar a los llanos orientales. Para la alimentación animal se destina el 11% del consumo aparente de maíz. Es el porcentaje más bajo de los países andinos, ya que, según la FAO, en 1970 corresponden los siguientes porcentajes para el mismo uso para Chile, Perú, Ecuador y Colombia: 90, 52, 31 y 29% respectivamente.

En el sur de los Andes es en Bolivia donde el maíz llega a las mayores altitudes. Las numerosas razas descritas para el país van desde los 80 m, como el "Coroico Amarillo", hasta los 3990 m, para "Confite Puneño".

La mayor concentración de tipos de maíz se encuentra en los valles mesotérmicos de Cochabamba, Chuquisaca, Santa Cruz y algunas provincias de La Paz y Potosí, donde la precipitación anual es de unos 500 mm; luego en la vertiente oriental de los Andes donde llueve más de 3000 mm anuales y en los llanos orientales con cerca de 1000 mm de precipitación pluvial.

Para el maíz amarillo se tienen las siguientes cifras de exportación y sus valores:

Año	Toneladas	Valor (miles $ US)
1969	1000	-
1970	500	41.2
1971	300	24.7

Fuente: Ministerio de Agricultura Bolivia e INBOLPEX

Figura 101 Exportaciones de maíz amarillo (Bolivia).

La declinación de las exportaciones seguramente tiene relación con el fenómeno socio-económico mencionado anteriormente. Entre los países andinos, Bolivia es el único que exporta maíz y chicha de maíz (comercio fronterizo no registrado, especialmente con Perú), a partir de 1972.

En este mismo período ha aumentado la producción de carne de ave y huevos a base de concentrados de maíz amarillo. Existen exportaciones de pollitos aún no registradas.

Bolivia no importó maíz en los últimos años, desde 1970 en adelante, mientras la subregión andina debió importar en 1972 alrededor de medio millón de toneladas de maíz por valor de cerca de 20 millones de $US.

3. Métodos de cultivo y trabajo de investigación aplicada

En toda la región alta de los Andes el maíz se cultiva principalmente en secano y predominantemente por pequeños productores, muchos de ellos marginales.

3.1 Venezuela

La cadena de montañas de los Andes concluye en Venezuela al oeste de Mérida. El estado de Mérida ocupa el penúltimo lugar entre los 21 distritos productores de maíz, y como consecuencia ni en la estación experimental de Mucuchíes, a 3000 m de altitud, dependiente del Ministerio de Agricultura y Cría, ni en la de Santa Rosa, a 1950 m, dependiente del Instituto de Investigaciones Agropecuarias de la Universidad de los Andes, se realizan trabajos en maíz.

Al presente, y luego de 34 años de labor, se tienen 18 cultivares mejorados. En 1970 se produjo el 58% de semilla certificada de nueve de esos cultivares para un requerimiento nacional de 12,000 tons de semilla.

Hace 8 años que se incorporó el opaco-2 en los maíces mejorados venezolanos y se tienen selecciones de opaco-2 de endosperma cristalino. En 1972 se amplió el programa de investigación para iniciar 4 proyectos regionales en las zonas bajas y se incluyeron la incorporación del gen harinos-2, estudios de nutrición mineral y el acortamiento de la altura de plantas.

Los resultados agronómicos se resumen así:

- Las poblaciones óptimas varían entre 40 y 60 mil plantas por hectárea, según la precipitación y el uso de fertilizantes.

- Se determinaron sistemas de siembra mecanizada para diferentes situaciones. La cosecha mecánica es de poco uso.

Aunque hay estudios de herbicidas químicos, aún el control de malezas se considera deficiente.

- Aplicaciones de 300 a 500 kg por ha de fórmulas completas incrementan una tonelada por hectárea en los maíces mejorados. Hay escasa información sobre mayor fertilización nitrogenada y en general los estudios sobre fertilización son limitados.

- Se controlan químicamente el gusano cogollero (S. frugiperda), que es la plaga principal, y otras menos dañinas.

- La Phyllachora maydis, "mancha de asfalto", se detectó en las partes altas, en Mucuchies, La Puerta, Timoteo, Mucuruba y otras localidades de Trujillo y Mérida. Los ambientes medianamente fríos y húmedos son más aptos para su desarrollo y no se presenta en las zonas bajas.

Según Grant y otros (1965) hay dos razas de maíz que se mencionan para las partes altas de Venezuela y son "Pollo", desde los 1300 m a 2400 m, y "Sabanero" de los 840 a los 2970 m. La distribución de la primera está restringida al estado de Táchira, colindante a Colombia, y la del "Sabanero" a Mérida y Táchira, predominando en Mérida el tipo duro y en Táchira los harinosos.

Por otra parte, hay una relación aparente entre los maíces andinos colombianos y los que se cultivan a más de 3000 m en ambos estados venezolanos como son "Pollo" y "Sabanero"; la segunda raza tiene una difusión extensa desde Bolivia, Perú, Ecuador, Colombia a los Andes venezolanos. Además se describen otras razas cuyos límites de altitud máxima para Venezuela son los siguientes: "Pira" y "Tuxpeño" 1000 m, "Puya" 1200 m, "Común" 1400 m, "Cariaco" y "Costeño" 1500 m.

Los autores citados anotan que tanto en los Andes de Venezuela como en los páramos próximos al Ecuador es normal el ciclo de producción de 13 meses comparado con el de 4 meses de los maíces de la costa. Y que muchos de los programas de maíz en los países andinos como en otras partes del mundo han utilizado material venezolano y algunos procedentes de la zona del Caribe como el Cuba Yellow Flint, que tiene una gran adaptabilidad a latitudes de 30° o menos. También hay una compensación entre latitud y altitud. Por ejemplo, el maíz colombiano adaptado a una altitud de 1500 m y de latitud norte puede ser movido 25 a 30° de latitud norte o sur, siempre que se siembre a alturas inferiores. Se subraya, no obstante, que se requieren más estudios en este sentido.

3.2 Colombia

En Colombia se ha concentrado desde hace 17 años el germoplasma de maíz más numeroso que existe en los países andinos, para su conservación, multiplicación y evaluación. Son notables los progresos alcanzados en el mejoramiento genético agronómico, en el campo fitosanitario y fisiológico.

En conexión con el tema de nuestro estudio, Torregroza (1967) evaluó la eficiencia de la selección recurrente recíproca en maíces a climas fríos procedentes de Ecuador y Colombia. Las características de estos maíces se registran en los cuadros102 y 103.

Tanto para Tibaitatá como para Surbatá se dan los datos en el cuadro 104.

En la lista de los 31 maíces mejorados aparecen hasta 1971 dos híbridos, el amarillo ICA H.208 y otro blanco ICA H.255 con el gene opaco-2. Son especiales para clima cálido, aunque dieron resultado en clima medio, o sea hasta 1200 m de altura. Andersen (1971) del CIAT menciona las principales dificultades sociales, económicas y de otro orden para la expansión de la producción del maíz opaco-2 en Colombia y da las indicaciones para superar esas dificultades.

Características	Ecuador 573	Cundinamarca 431	Mezcla C.L.V. Ecuador 573 y Blanco Rubí$_1$ Sin.2)$_1$ Sin.6
1. Raza	Montaña Ecuatoriana	Sabanero	-
2. Adaptación en metros sobre el nivel del mar	2200-2800	2200-2800	2200-2800
3a. Período vegetativo siembra-antesis	ca.200	160	ca.180
b. Días siembra-cosecha	370	260	315
4. Rendimiento (kg/ha)	4000	2800	5800
5. Mazorcas			
Forma	Cónica	Cónica	Cónica
Tamaño	Muy larga	Corta	Larga
Hileras	Regulares	Irregulares	Irregulares
6. Granos			
Textura	Fina	Fina	Fine
Color	Blanco	Blanco	Blanco
Forma	Redonda	Redonda	Redonda
Tamaño	Mediano	Pequeño	Mediano

C.L.V. = Cruzamientos línea x variedad

Figura 102 *Principales características de algunas variedades.*

Genealogía	kg/ha			%		
	Tibaitatá	Surbatá 1/	Promedios	Tibaitatá	Surbatá	Promedios
Cundimarca 431	2717	3043	2880	100	100	100
Cun. 431$_1$ Sin.1 (Mezcla C.L.V. 2/ Ecuador 573 y B.R.$_1$ Sin.2)$_1$Sin.6	6195	5435	5815	100	100	100
[(Mezcla C.L.V. Ecuador 573 y B.R.$_1$ Sin.2)$_1$ Sin 6]$_1$ Sin.1	6739	6521	6630	109	120	114
[(Mezcla C.L.V. Ecuador Ecuador 573 y B.R.$_1$ Sin.2)$_1$ Sin.6 y Cun 431]$_1$ Sin.1	4294	4674	4484	98 3/	110	104

1/ Promedios de 10 repeticiones en un año

2/ C.L.V. = Cruzamientos línea x variedad

3/ En base promedio variedades parentales (1 y 3)

Figura 103 *Rendimientos en granos de algunas variedades en dos ubicaciones.*

	Tibaitatá	Surbatá
Altura m	2559 m	2530 m
Temperatura máxima media	19.0 C	20.9 C
Temperatura media anual	13.6 C	14.0 C
Temperatura mínima media	6.8 C	6.8 C
Precipitación anual	600 mm	730 mm
Meses más lluviosos	Abril, mayo, octubre y noviembre	Abril, mayo y junio

Figura 104 Datos meteorologicos para Tibaitatá y Surbatá.

Los proyectos en marcha se orientan a seguir superando los rendimientos unitarios, a acortar tanto el largo ciclo productivo como el porte de la planta, a rebajar la posición de mazorca alta y a seguir aumentando el valor proteico. Estos proyectos se aplican en las diversas zonas maiceras del país.

Se sigue trabajando en la obtención de cultivares con un amplio rango de adaptación mediante pruebas regionales. Las variedades e híbridos colombianos, cuyo comportamiento se probó en los 5 niveles térmicos establecidos por el ICA, han mostrado que algunos de ellos han superado el rango de adaptación previsto originalmente.

Las variedades e híbridos obtenidos en el Programa de Maíz y Sorgo del ICA y por PROACOL llegan a 31 y tienen las siguientes ventajas: alto rendimiento en grano, buena conformación de mazorca y uniformidad de grano, plantas uniformes de porte mediano y con mazorcas colocadas a media o baja altura, tolerantes a enfermedades y plagas y resistentes al vuelco. Del total citado, 25 corresponden a pisos térmicos sobre los 600 m y los del grupo de Tibaitatá y Obonuco se los recomienda hasta los 2800 m.

Entre Pamplona, 7°29'N, y Boyacá, 5°40'N, las siembras se hacen entre marzo y mayo, ocasionalmente hasta julio, y la cosecha se hace entre enero y febrero, y ocasionalmente en diciembre y marzo.

Desde Ríonegro, Antioquía, 6°08'N, pasando por Cauca hasta Arboleda, Buesaco, 2° 'N, la época crítica de siembra es en octubre y la cosecha en marzo-abril. En invierno, c sea durante los ocho meses de lluvia, si éstas son intensas causan un amarillamiento antes de la pudrición.

En casi la mayoría de la información obtenida el momento de la antesis corresponde a una mitad en días del ciclo productivo, o sea desde la siembra a la cosecha; para un maíz de 300 días de ciclo y otro de 180, la antesis se produce a los 150 y 90 días, respectivamente.

El maíz se siembra asociado y también solo. La asociación del frijol con maíz es predominante. El frijol, al llegar a los 2500 m, va abandonando al maíz. Estas serían las altitudes máximas para el frijol criollo, que está limitado por las heladas.

La siembra de estas asociaciones es simultánea y la cosecha es escalonada. Esta práctica responde a un concepto de seguridad de la cosecha. Se afirma que durante la siembra sujeta a períodos de sequía el frijol es

menos atacado por los insectos que el maíz; que el frijol requiere para tutorarse un maíz de caña gruesa como el que tienen los criollos (un otro motivo por el que no "pega" el opaco, porque tendría caña delgada); y que existe, finalmente, una dieta (que ya mencionamos) que está al alcance de los habitantes de menores ingresos de estas regiones andinas.

También en otros lugares, en regiones tropicales o subtropicales, es habitual en la agricultura tradicional la asociación del maíz u otra planta no leguminosa con una leguminosa. Dalal (1974) estudia la siembra mixta de maíz y guandues ("pigeon peas") y encuentra una disminución en la cosecha de grano de maíz y una cosecha aproximadamente igual de guandues en los sembradíos mixtos en comparación con los sembradíos puros. Sin embargo, la cosecha combinada de un sembradío mixto bien puede ser superior a cualquiera, pero el cultivo en hileras separadas produjo el rendimiento más elevado en términos de proteínas. La competencia entre ambos sistemas de raíces en la absorción de nutrientes es muy importante y los rendimientos parecen ser máximos cuando la demanda máxima de la leguminosa viene después de la del maíz. Se informa además que las caupis o "cowpeas" tiene un mayor efecto contrario en el rendimiento en granos del maíz que las guandues ya que su modo de crecimiento es el más similar al del maíz.

Otras informaciones sobre asociaciones se encuentran en los capítulos de frijoles y habas.

Las rotaciones varían en función de la altura y localidad. En Piendamó, Cauca, 1750 m, el maíz amarillo se alterna así: arracacha-maíz; en Arboleda, Nariño, 2150 m: maíz-arracacha-empastada, o maíz-arracacha-maíz o empastada; en Oybam, Santander, 1700 m: maíz-caña de azúcar-arracacha o yuca; en Cácota, Santander, 2150 m: maíz-papa o cebolla-trigo-maíz (3er año); Buesaco, Nariño, 2500 m: maíz-trigo-maíz; en Túquerres, 2000 m: papa o maíz-trigo-cebada o arveja. En el oriente antioqueño, Bernal (1972) menciona la forma intensa de cultivo. Se dan rotaciones en el período de un año de maíz-papa y frijol y en Carmen de Viboral se obtienen simultáneamente hasta cuatro y cinco cosechas anuales: una de maíz, dos de papa y dos de frijol.

3.3 Ecuador

En el callejón interandino del Ecuador la producción maicera supera a las de trigo, cebada, frijol, avena y papa. Las provincias más maiceras son Pichincha, Imbabura y Azuay, y todo el cultivo es de secano.

La Sierra está entre las latitudes 1°20'N y 5°S y una altitud entre los 2000 a 4000 m.

La temperatura media es relativamente estable, debido a la ausencia de una sucesión estacional marcada en relación con la latitud, y está determinada predominantemente por la altitud.

Desde Tulcan a Loja hay una sucesión de praderas que se mantienen verdes gran parte del año, y se alternan con zonas secas y con las estribaciones de las cordilleras. Predomina un clima templado, pero por razones de altitud y la influencia de otros factores se suceden una diversidad de microclimas. Para la descripción general se citan los aspectos examinados por Italconsult (1963); de algunos microclimas haremos observaciones más detalladas.

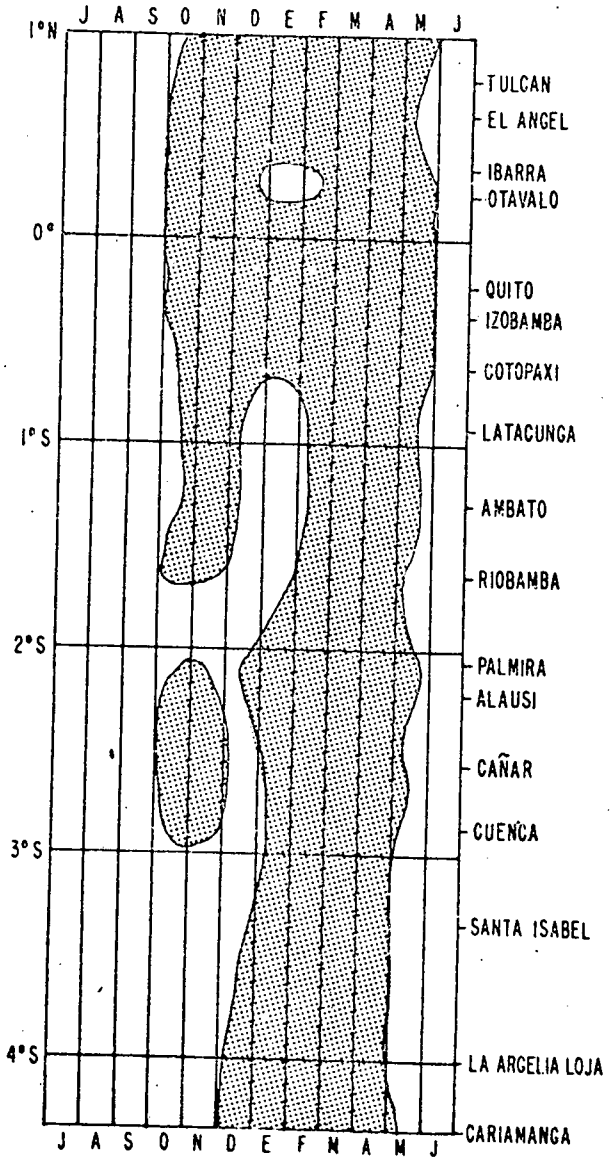
El clima es templado fresco (mesotérmico de Köppen), con temperaturas medias relativamente constantes debido a la ausencia de estaciones propiamente dichas.

El fotoperíodo es uniforme y las temperaturas medias son entre los 11 y los 16 C para las praderas superiores; las otras dos zonas mencionadas resultan intermedias entre la anterior y las regiones bajas tropicales cálidas.

La amplitud térmica es bastante marcada entre el día y la noche.

La humedad del aire es elevada en las praderas y en los declives; muy baja en la zona seca.

La acentuación de las estaciones y las condiciones de pluviosidad están relacionadas con la topografía y especialmente con la apertura hacia las hoyas amazónicas y costera.



Las precipitaciones son relativamente abundantes, salvo en la zona seca y baja donde se concentran en relación con los períodos equinocciales y alrededor del solsticio de diciembre.

La estación seca abarca desde julio hasta agosto o septiembre, y coincide con una reducción en las temperaturas.

Una ilustración de las condiciones de pluviosidad expuestas puede apreciarse en el gráfico (figural05)(Schroeder, 1965, modificado).

El cultivo de maíz, como se ha dicho, no está limitado a las zonas relativamente llanas de las vaguadas de las mesetas o de los declives poco marcados, sino que se extiende en proporción muy considerable sobre las pendientes externas de los valles principales y secundarios de las cordilleras, como también de las zonas muy accidentadas de la Costa y de las faldas de la Sierra.

El manto vegetal natural, en condiciones de abundante humedad y de temperaturas favorables, ha permitidio que se estableciera - a través de los milenios - un equilibrio positivo entre acumulación y destrucción de la sustancia orgánica, determinando la formación de horizontes orgánicos de considerable

Figura 105 Periodo lluvioso en la Sierra del Ecuador.

potencia en la mayor parte de los suelos naturales del Ecuador. La introducción del cultivo del maíz, frecuentemente como monocultivo, ha trastornado profundamente el equilibrio así establecido, comprometiendo considerablemente la conservación de la fertilidad orgánica y, a menudo, los mismos terrenos del país.

La destrucción del manto vegetal de tallo alto o de la pradera natural, al exponer los terrenos a los efectos de la erosión hidráulica y eólica en condiciones de pendientes marcadas, ha constituído, en efecto, el primer paso hacia la degradación del suelo.

Los pequeños cultivos manuales de maíz de la época anterior a la Conquista, en condiciones de menor presión demográfica, probablemente no alteraron muy profundamente el equilibrio natural, y tuvieron sólo cierta incidencia sobre las reservas orgánicas y el equilibrio químico y topográfico de los suelos.

El aumento de la población y la adopción de nuevas técnicas agrícolas (aradas), al extender el cultivo, conferirle continuidad y remover los terrenos más profundamente, causaron en cambio daños quizás irreparables a los terrenos de las más antiguas zonas agrícolas del país, determinando en vastas zonas:

- la desaparición parcial o total del estrato orgánico;
- la reafloración de los estratos estériles de Cangahua, suave o dura;
- el empeoramiento de los regímenes hidráulicos de las pendientes;
- la formación de vastas zonas sometidas a erosión eólica progresiva.

El fenómeno de erosión de los terrenos se ha ido empeorando en los últimos decenios en varias provincias del país, determinando la esterilización progresiva de vastas áreas.

Un fenómeno semejante, favorecido en cambio por la "eremacausis" (progresiva oxidación de la sustancia orgánica del terreno, que vuelve estéril al suelo), se ha ido desarrollando en las zonas agrícolas tropicales cálidas del país, como consecuencia de la colonización desordenada y de la explotación intensiva de los terrenos desmontados para la habilitación al cultivo, que determinaron rápidamente el agotamiento del estrato orgánico de origen forestal o de sabana tropical.

Todo esto ha determinado, en la mayor parte de los casos, una reducción rápida de los rendimientos y, por lo tanto, el abandono precisamente de aquellas zonas que - en el momento en que se escogieron - ofrecían grandes ventajas debido a su configuración, disponibilidades hídricas, condiciones sanitarias y, por último, proximidad de las vías de comunicación.

La falta de coordinación y de asistencia técnica y financiera impide la adopción eficaz de prácticas urgentemente necesarias.

Mientras algunas de las prácticas pueden ser recomendades y adoptadas en el ciclo anual de las operaciones de cultivo, la mayor parte requiere intervenciones específicas, que pueden adoptarse únicamente mediante el interés directo, la determinación de las necesidades y la provisión de medios técnicos y financieros por parte de entidades públicas, cantonales, provinciales y, en algunos casos, regionales.

El cultivo del maíz en el Ecuador se realiza en épocas diferentes, con características diversas no sólo entre la Sierra y la Costa sino también entre las distintas zonas homogéneas en base a varios factores, entre los cuales predomina obviamente el conjunto de factores meteorológicos.

En las regiones de la Sierra, la siembra se puede efectuar durante todo el período entre agosto y diciembre, en el momento en que - una vez realizada la preparación del terreno - la humedad del suelo consienta el brote de las plantas.

Las tareas de la cosecha se efectúan habitualmente en dos períodos diferentes, en marzo-abril para el choclo (maíz verde) y en el período junio-setiembre, después de un ciclo vegetativo de 8-10 meses, para el grano seco.

Además de una prevalecencia de variedades de ciclo largo, existen algunas variedades más precoces que, en condiciones favorables, pueden completar el ciclo de producción en 4-5 meses.

El largo ciclo vegetativo está determinado por la acumulación, en la fase evolutiva, de características que regulan la reacción al medio ambiente de las altitudes. Dichos factores hereditarios ponen las diferentes plantas en condición de producir grandes espigas, con granos de tamaño considerable, sobre plantas frecuentemente de grandes dimensiones y de abundante follaje, que completan su ciclo biológico y productivo en condiciones de fotoperíodo corto, temperaturas relativamente bajas y humedad del aire elevada, condiciones éstas que tienden a frenar el proceso de crecimiento y de acumulación de los productos de fotosíntesis.

Entre las dos fases fundamentales del ciclo biológico, parece particularmente largo el período de floración y maduración, como consecuencia, por una parte, de un más lento proceso de fotosíntesis y de la transferencia y acumulación de los carbohidratos y, por la otra, de la escasa posibilidad de secado del grano en un período que coincide con el verano ecuatoriano, seco pero frío.

Las observaciones anteriormente expuestas son confirmadas por el hecho de que la adopción de variedades de mayor altitud en zonas de menor elevación trae consigo una considerable reducción del ciclo vegetativo, especialmente en el período de maduración.

Si se comparan las producciones unitarias de los maíces de la Sierra con la duración de su ciclo de cultivo, no puede dejarse de concluir que existe una desproporción absoluta entre el período de ocupación del terreno y el rédito obtenible. También resultará claro que es baja la eficiencia en la utilización del agua, expresada en mm de agua usados para producir un kg de grano.

Dado que las disponibilidades del terreno de cultivo de la Sierra son absolutamente insuficientes - hasta el punto de no consentir la rotación de cultivos en el ámbito de los minifundios - es evidente la necesidad urgente de reducir los ciclos vegetativos de las variedades del maíz.

Según el Departamento de Maíz de Santa Catalina, la mayor parte de los cultivos está entre los 2200 y 2800 m. La altura óptima para los maíces andinos está entre los 2200 a 2500 m, donde se encuentran los mejores valles maiceros: Cuenca, Chillos, Bolívar, Ibarra.

El agricultor cosecha las mazorcas con un 30 a 35% de humedad y ésta es reducida a una mitad por los comerciantes mayoristas. Los anteriores porcentajes varían con los tipos de maíz. Los maíces harinosos deben almacenarse con un 12% de humedad y los flint de la costa con un 14 a 15% de humedad.

En la Sierra, luego de la cosecha, se tienen tres meses secos y esto facilita la conservación del grano.

Enfermedades y plagas: Según el Departamento de Maíz de Santa Catalina, las enfermedades no son aparentemente un problema serio en el altiplano. Sin embargo, en el plan quinquenal citado se mencionan las evaluaciones a hacer tanto de enfermedades como de plagas. En la lista de CIMMYT aparecen los datos correspondientes a Ecuador.

Fertilización Bajarano y Schwartz (1972) dan las siguientes recomendaciones tentativas:

Provincia (y zonas)	Balance N-P-K Lib/ha	Dosis qq/ha	Fertilizante compuesto	Dosis qq/ha	Fertilizante simple
Imbabura (Natabuela, Atuntaqui y S. Rafael)	180-150-50	5	10-30-10	3	Urea
Pichincha:					
Los Chillos	160-200-0	4	21-54-0	2	Urea
Yaruqui	180-150-50	5	10-30-10	3	Urea

Figura 106 Fertilización del maíz.

En zonas de poca precipitación la aplicación será total en la siembra y en zonas de mayor precipitación, se divide la aplicación, exclusivamente del N, en dos épocas: la mitad en siembra y la otra mitad al mes y medio de la siembra, siempre que la humedad del suelo sea adecuada.

En nuestro recorrido por la Sierra sólo muy ocasionalmente encontramos agricultores que abonan el maíz. En general, no lo hacen.

Herbicidas: Vera y Moreno (1970) recomiendan seis herbicidas de preemergencia. Utilizando la variedad INIAP 176, experimentalmente se logró triplicar los rendimientos en grano. En la efectividad de los herbicidas mencionan la interacción de la precipitaciones, tipo y preparación del suelo, dosis y uniformidad de aplicación del herbicida, pero no dan mayores detalles sobre interacción de los fenómenos meteorológicos.

Razas de maíz, mejoramiento genético y clima: En las razas de maíz determinadas para los países andinos, es importante la observación de Paz (1972) sobre la relación que existe entre el número de razas y la superficie territorial, como se ve en el cuadro 107.

Ecuador, por unidad de superficie, tiene el mayor número y se espera aumentarlo con una exploración más intensa en las provincias Loja y Amazonía.

País	N° de razas	Superficie (miles km²)
Perú	44	1285
Bolivia	32	1098
Ecuador	29	271
Colombia	23	1139
Venezuela	20	912

Figura 107 Número de razas de maíz en los países andinos.

De las 29 razas determinadas para Ecuador, 25 corresponden a razas que se cultivan en alturas sobre los 1000 m. La gran mayoría tiene como altitud media de los especímenes típicos entre 2300 y 2600 m. Cuatro razas: "Sabanero Ecuatoriano", "Patillo Ecuatoriano", "Chillo" y "Morochon" llegan hasta los 3000 m y el segundo de los nombrados fué encontrado hasta 3200 m. La "Cónico Dentado", con su habitat a 200 m, se la encuentra hasta 2400 m y es la que tiene el mayor rango de amplitud de variación en Ecuador. Cuando fué evaluada en Colombia aparece con una adaptación a 2000 m. En el cuadro108 se da una comparación de algunas razas. Según Timothy (1966), esta adaptación altitudinal es uno de los factores principales que influyen en la distribución de las razas, porque hay una relación directa entre altitud y temperatura; es decir, que para que una raza permanezca relativamente bien adaptada al ambiente sólo se puede mover hacia arriba o hacia abajo, dentro de un estrecho campo de elevaciones.

Raza	Adaptación altitudinal	N° de días hasta antesis	Duración ciclo	Grano kg/ha	Lugar de evaluación
Clavito	1500 m	75	160	-	Ecuador
Uchima	1800 m	90	180	-	Ecuador
Montaña Ecuatoriana	2300 m	185	270-290	-	Ecuador
"	2200-2800 m	200	360	4000	Colombia
Chillo	2500 m	165	250-280	-	Colombia
Chillo mejorada	2400-2700 m	130-140	230-240	3800	Ecuador
Amaguaña	2400-2800 m	120-140	220-240	3300	Ecuador
Sta.Catalina	2600-3000 m	120-150	210-240	3900	Ecuador

Figura 108 Razas de maíz de altura en Ecuador.

Villasis (1971), trabajando con maices forrajeros en ensayos de Santa Catalina, 2700 m, informa que el período de siembra a antesis fué poco afectado por la densidad de siembra. Que dos variedades tardías, INIAP 176 y Forrajero Conocoto, son las más rendidoras; que dos intermedias, Chillos Mejorado y Amaguaña, son también intermedias en rendimiento, mientras que las más precoces, Compuesto Forrajero y Mexicano, son las menos rendidoras.

3.4 Perú

En la Sierra del Perú, formada por la Cordillera de los Andes, existen muchos valles entre los 1600 y 3500 m y algunos más altos. El maíz es sembrado hasta los 3900 m, pero solamente en algunas localidades. La mayor área es de temporal, pero también se cultiva maíz bajo riego (30%).

En relación con las divisiones en regiones (Costa, Sierra, Ceja de Montaña) de los países andinos se ve que las diferencias en productividad en maíz entre la Sierra de Colombia y Ecuador y la de Perú y Bolivia van a favor de los dos primeros países. Tal diferencia reside en el gran volumen productivo y está implícita la influencia de las variaciones en lluvia, temperatura, suelos, etc., a ambos lados del ecuador. Sin embargo, se han establecido las afinidades interraciales entre algunos maíces de la Sierra a lo largo de la Cordillera de los Andes. Este desplazamiento involucra un amplio rango de adaptabilidad ecológica para algunas razas y parece que otras tienen límites estrechos de adaptación en microclimas restringidos. Con todo, estudios futuros que consideren éstos y otros elementos ayudarán a una evaluación más completa del rico germoplasma de maíces de esta parte de América.

Los límites altitudinales máximos para la Costa varían entre 1600 m y 2000 m (Scheuch, 1971, García, 1972) y hay cultivares mejorados para la Costa de Perú que se adaptan hasta los 2500 m. En base a ésto Sevilla y Sánchez (1970) probaron en la Sierra 18 maíces entre híbridos y sintéticos durante dos años en tres localidades de Ayacucho: Huanta 2550 m, Huamanga 2470 m, y La Mar 2280 m. El objetivo fué determinar el número óptimo de localidades, año y repeticiones para delinear ensayos regionales de esta naturaleza.

Los autores concluyen: "Los resultados indican que se obtiene muy poco incremento en heredabilidad al aumentar las repeticiones. El aumento de heredabilidad fué más notable al aumentar las localidades y los años. Tomando en cuenta los valores de heredabilidad y las facilidades físicas para ejecutar los experimentos, el número óptimo de repeticiones puede ser cuatro, el número de años puede ser de dos a tres y el número óptimo de localidades de tres a cuatro".

En lo referente al número de años, señalan que ello depende de la zona, y que ese número debe aumentarse en zonas donde las condiciones ambientales extremas, como heladas y sequías, son factores limitativos para la producción, tal como ocurrenen la Sierra por encima de las alturas mencionadas.

De observaciones en el campo damos los datos del cuadro 109y otros que comentamos más adelante, complementados con la información obtenida de funcionarios regionales sobre siete maíces nativos y uno híbrido.

Lo más notable en los maíces de Colombia y Perú es que en la Sierra de Perú no se encuentran cultivares con ciclos tan largos como en Colombia. Desde el punto de vista estrictamente meteorológico, habría tres factores que influyen decididamente en ello: la distribución de las lluvias, las temperaturas y la irradiación.

Cultivar	Localidad	Altitud (m)	Ciclo (días) a antesis/total		Siembra (mes)	Cosecha (mes)
Blanco de Urubamba	Cajamarca Tambo	2750	120	300	Oct-Nov	Julio
Blanco de Urubamba	Cuzco, Urubamba	2800	140	210-240	Set-Oct-Nov	Mayo-Junio
San Jerónimo	Huancayo, Sta.Ana	3150	120	220	Set.20	Mayo
Pecta	Huánuco, Colpalta	2030	120	210	Enero	Julio
Blanco Común	Ayacucho, Tambillo	2900	-	230	Nov.	Mayo-Junio
Amarillo de Ccalca	Cuzco	2950	110	240-260	-	-
Patrón de Oro	Cuzco	2900	100	180	-	-
PM 204	Huánuco, D. de Marambo	1950	-	200	Nov-Dic.	Mayo-Junio
PM 2-4	Huánuco, Colpalta	2030	-	180	Enero	Junio
Chuspi (choclo)	Cuzco	2900	-	120	-	-

Figura 109 Maíces nativos y híbridos en Perú.

Dentro de la altitud óptima, las variedades "San Jerónimo" y "Blanco de Urubamba" rinden de 4 a 4.5 t/ha y este rendimiento disminuye en Cuzco a medida que se avanza hacia el sur, donde el valle se hace más alto. El "Amarillo de Ccalca", por su resistencia al frío, va a mayores alturas que "Blanco de Urubamba". Este último, en Taray, Pesac, tiene rendimiento de 6 ton/ha, en Urubamba de 10 ton. Ambas localidades están a una altura casi similar, pero a una distancia de 40 km entre sí. Los anteriores rendimientos se refieren a cultivos con alta fertilización y con población de 55,000 plantas por ha.

En Cajamarca los ensayos de fertilización han alargado el ciclo de los fertilizados en comparación con los no fertilizados. En esta misma zona los maíces opacos se comportan como más tardíos en relación con los criollos blandos. Aquí existe un programa especial de asistencia técnica en maíz para introducir variedades, fertilizantes y densidades adecuadas de siembra, principalmente.

Epocas de siembra y cosecha: En la Sierra de Perú, igual que en Bolivia, el cultivo del maíz es de secano; excepcionalmente se riega. Por tanto, durante el ciclo productivo se depende de las lluvias. Hay un solo cultivo al año, salvo excepciones.

En una forma general el período de siembras es de cinco meses. Va desde setiembre a enero, o sea, abarca la primavera y el verano. La época óptima de siembra en gran parte de la Sierra es de setiembre a octubre. La de octubre es mejor que la de diciembre en términos de rendimiento.

El agricultor no siembra hasta que no llueva lo suficiente como para asegurar la germinación. Muchos de los ensayos experimentales a través de los años y en determinadas localidades se hacen en octubre, porque se dispone de riego.

Las siembras de verano, diciembre-enero, se hacen a distintas altitudes, como en Huánuco, a 2000 m. En Cuzco, a 2900 m y con una lluvia anual promedio de 710 mm, hay dos épocas de siembra para "Blanco de Urubamba" para producción de grano: la primera es en octubre y la segunda en enero. En partes más bajas de Cuzco, alrededor de los 2000 m, "Blanco de Urubamba" se siembra en agosto para choclo. A estas altitudes pueden obtenerse dos cultivos al año, y tanto las siembras tempranas como las tardías tienen riego complementario.

En Huánuco, donde no se presentan heladas y hay veranos secos con unos 370 mm de lluvia, se dan seis riegos durante la estación, o sea de enero a marzo, y se espacian cada doce días entre sí. Las heladas en Urubamba son esporádicas durante el ciclo productivo. Las heladas más frecuentes caen cuando no hay cultivos.

En Cuzco, Quillabamba, aproximadamente a 1080 m, las siembras son en noviembre. Esta zona corresponde a ceja de Selva y las épocas varían con la altitud y con el cultivar, pues son maíces diferentes a los de la Sierra.

En la Sierra, las siembras tempranas fueron afectadas por el exceso de lluvia como ocurrió en 1973, en que se produjo inundación del cultivo, brotación prematura de granos o pudrición de granos.

La época de cosecha es en mayo-junio, ocasionalmente julio, y coincide con el período más seco de la Sierra que permite una maduración regular de granos antes de mayo.

Las primeras heladas son de enero y son las más peligrosas, porque afectan las plantas. Las siembras tempranas, en tal caso, pueden ser afectadas en floración y las tardías en plántula.

Sevilla (1971) reporta un trabajo conducido en la Sierra, en conexión con épocas de siembra, y con otros aspectos como precocidad, rendimiento, aspecto y sanidad de la mazorca.

Sin embargo, los resultados de estas experiencias de selección son algo confusos, lo cual podría deberse al hecho de que la variabilidad genética, según se observó, se mantuvo elevada. Uno de los problemas de este tipo de experiencia es, sin duda, la duración limitada de la estación de crecimiento, cuando una variedad de rendimiento superior, pero sembrada tardíamente, puede ser superada por otra variedad más resistente a las bajas temperaturas que se presentan al final de la estación, o una que tiene un ciclo de crecimiento más corto.

Las rotaciones y asociaciones varían con las localidades y con la altitud.

En Cajamarca, en Tambo, a 2750 m, el trigo o cebada en un año es seguido de maíz en el próximo, y el tercer año puede ser maíz otra vez o un cereal pequeño. Aquí el maíz está asociado con frijol y se ven parcelas de maíz, frijol y quinua en asociación, o maíz con lacayote.

En Huancayo, 3150 m, a la papa sigue el maíz, y se repite maíz al tercer año. Los cultivos de maíz son preponderantes a orillas del Mantaro, y van sólos; excepcionalmente se asocian con habas o arvejas. En los maizales se observa cebada y esta práctica es para rellenar las fallas de plantas de maíz.

En Huánuco no se hacen rotaciones y la expansión del cultivo de maíz es reciente, pues la caña de azúcar, que es marginal en la región, va cediendo al maíz y otros cultivos de pan llevar, de acuerdo con los planes de gobierno. Aquí, como en Ayacucho, el maíz es un monocultivo. Estos monocultivos varían con la altura. Así, en las partes más bajas va el maíz, en las intermedias el trigo y en las partes más altas la cebada.

En Huánuco y Ayacucho, los cultivos de maíz van sólo y a veces asociados con frijol nativo "sanandoja" o "bucona" que se dice controlan el kikuyo. En Urubamba, Cuzco, el maíz va generalmente solo.

Lo técnicamente recomendado en algunas regiones es papa-maíz, asociado con leguminosas y cereales pequeños.

La superficie no fertilizada con minerales parece sobrepasar el 80% del área cultivada y el agricultor de la Sierra presta mayor atención a la semilla que a los insumos químicos.

La Costa tiene una agricultura bastante tecnificada y, según Scheuch (1971), las dosis y respuestas a la fertilización con N son altas y efectivas, pues los rendimientos son también altos. A ello se suma la labor del Programa de Maíz con maíces mejorados de alto rendimiento. No sucede igual con el P y el K, donde no se tienen respuestas consistentes. Las dosis corrientes en la Costa son de 200-80-0 ha en cultivos bajo riego.

En Huánuco se aplicaban fórmulas 12-12-12 a razón de 240 kg/ha, y la 120-100-100; en Cajamarca la 80-40-40; esta fórmula alarga el ciclo del maíz tratado en comparación con las parcelas testigo. En ambos departamentos hay una asistencia técnica concentrada en las unidades reformadas.

En el valle de Cuzco el uso de fertilizantes está casi generalizado.

3.5 Bolivia

En Bolivia, Ramirez et al (1961) han descrito 32 razas de maíz; de éstas, 22 son de altura, o sea que tienen su habitat por encima de los 1000 m. En Colombia se efectuaron pruebas en relación con esta descripción en algunas de las Estaciones de Experimentación del ICA, a altitudes aproximadamente similares. Los datos obtenidos, si bien son interesantes, deben ser interpretados a la luz de las condiciones climáticas prevalecientes en Colombia. Con respecto a la cantidad de días necesarios para alcanzar la antesis, se nota que ésta requiere entre 40 y 50 días más en Colombia que en Bolivia para cuatro variedades, tal como se menciona en la tabla 10. Esto significa que estos maíces han completado su entero ciclo en Bolivia en el momento en que florecen en Colombia, donde la duración total de las cuatro variedades se estima que toma entre 175 y 225 días.

En un estudio más reciente, Rodriguez et al (1968) dan una descripción de 45 razas con más de 140 variedades. De todas ellas se da información sobre su origen, altitud y ciclo vegetativo, así como una descripción de la planta, espigas, choclo, y granos, coloración, y una indicación de la

Raza	Antesis Masc. días			Altura plantas cm			Resistencia (0-4) Helmintosp.		Royas	
	Bol	Ita	Col	Bol	Ita	Col	Bol	Col	Bol	Col
Kulli	89	89	127	102	150	85	2.8	1.4	1.7	1.5
Hualtaco	94	126	135	139	300	132	2.5	2.2	1.7	3.0
Huillcaparu	110	120	155	195	349	162	2.7	2.0	2.0	2.3
Uchuquilla	76	112	124	149	293	119	2.4	-	1.6	-

Figura 110 *Comparación entre tres ubicaciones para maíces bolivianos.*

resistencia a las royas y helmintosporiosis. Alrededor de 36 de estas razas se cultivan sobre los 1000 m de altitud y generalmente alcanzan la etapa de la antesis antes que las de las tierras bajas. Todas las variedades se cultivaron en la Estación Experimental La Tamborada, cerca de Cochabamba, y en la tabla 111 se resumen los resultados para doce de las variedades más importantes. La adaptación a la altitud parece abarcar un rango de alrededor de 500 m por debajo a 500 m por encima del nivel indicado en la primera columna, con un límite superior de alrededor de 3500 m. No obstante, algunas variedades pueden cultivarse hasta los 4000 m, pero se usan principalmente como forrajeras (choclo). Un rasgo notable de los maíces bolivianos es un número constante de 40 días entre la antesis y la conclusión del ciclo completo. En consecuencia, alcanzar la antesis toma el 60-70% del ciclo total para las variedades cortas y medianas y el 75-80% para las variedades tardías. Esto se compara con un promedio general de alrededor del 55% para las variedades de montaña de Colombia. La distinción entre las variedades tempranas y tardías en Bolivia se encuentra en una duración del ciclo de 120-130 días. Los maíces de crecimiento corto parecen prevalecer a altitudes por encima de los 2500 m. Esta distribución está determinada, verosímilmente, por una combinación de restricciones climáticas tales como disponibilidad de agua y bajas temperaturas mínimas, y condiciones favorables como niveles de radiación relativamante altos y temperaturas máximas. Desgraciadamente, no se dispone de datos detallados de rendimientos, pero en tales condiciones se puede esperar un rendimiento progresivamente decreciente según el aumento de la altitud.

Raza	Altitud origen	Altitud adaptación	Días antesis	Días madur.	Indice termico 0°C	Altura plantas cm
Kulli	2700	2000-3400	89	129	1400	102
Kajbia	2800	2100-3000	90	130	1450	109
Hualtaco	2500	2100-2800	94	135	1500	139
Huillcaparu	2500	2000-3000	110	150	1750	195
Morocho	2400	11000-3000	91	132	1350	116
Kellu	2500	2000-3000	87	126	1450	124
Blando Amazonico	650	150-1000	110	150	1750	101
Duro Amazonico	350	150- 800	119	158	1650	183
Uchuquilla	2500	1100-3000	76	118	1900	149
Perla	2400	1500-3000	109	150	1200	139
Morocho 14 hileras	1500	1100-2000	106	146	1650	136
Cordillera	1500	1000-2000	101	143	1600	158

Figura 111 *Características de maíces bolivianos.*

Una buena cantidad de estas variedades se han cultivado también en Italia a 45° N de latitud, según informan Brandolini, Avila y Vandoni (1970). En condiciones normales del terreno, el tiempo requerido para llegar a la antesis era levemente menor para las variedades tempranas, y entre dos a tres semanas más para las tardías. Sin embargo, cuando se cultiva en las mismas condiciones pero con solo doce horas de fotoperíodo, la mayor parte de las variedades alcanzan la antesis en el mismo momento, o sólo levemente más tarde, que en las condiciones bolivianas. En ambos experimentos italianos las plantas se hacen mucho más altas y pueden alcanzar, en una longitud del día normal, el doble de altura. En las condiciones colombianas, la mayoría de las variedades parecen alcanzar la misma altura o se mantienen más pequeñas. En la tabla se resumen los datos para cuatro variedades. Ellos muestran fuertes reacciones a los cambios en los períodos lumínicos y térmicos y poseen interesantes posibilidades para el mejoramiento de los rendimientos. Los resultados del Centro de Investigaciones Fitotécnicas de Pairumani indican que para los híbridos tempranos y medianos se pueden obtener rendimientos de 5000-7500 kg/ha (Avila, 1971).

Resulta claro que la selección de variedades mejoradas para altitudes mayores en Bolivia - y lo mismo se aplica a grandes partes de Perú - se refieren en primer lugar a la duración del ciclo de crecimiento ya que éste tiene que ajustarse a la disponibilidad de agua y al período libre de heladas. Las variedades de crecimiento corto, aunque a menudo tienen un menor potencial de rendimiento, deben ser prioritarias en la elección. Es posible que variedades de mayor rendimiento pero de un tipo medio o tardío sólo puedan cultivarse con un riesgo más alto de escasez de agua y de heladas. Dentro de las posibilidades del cultivo del maíz, los riesgos están determinados en primer lugar por los suelos y por la distribución de las lluvias dentro del ciclo de crecimiento, grandemente ayudados, por supuesto, por la existencia de cualquier forma de irrigación suplementaria. Tales sistemas permitirán un mejor abastecimiento de agua hacia el tiempo de la floración y, eventualmente, se podría lograr cierta prolongación de la estación que podría favorecer el cultivo de variedades de mayor rendimiento con un ciclo de duración mediana.

El período de lluvias en Bolivia coincide con el de Perú en la Sierra y, consecuentemente, los períodos de siembra y cosecha están en relación con la distribución de la precipitación. O sea que el período de siembra es de octubre a diciembre y el de cosecha de abril a julio. La época de siembra puede adelantarse a agosto y septiembre cuando se tiene riego, lo que permite sembrar variedades tardías.

La "cultura de maíz" desarrollada en los Andes de Bolivia y Perú ha tenido su máxima expresión en la conservación de suelos mediante terrazas o andenes, traslado de tierra vegetal y fértil de zonas más bajas a estas terrazas, construcción de canales de riego y sifones, todo en función, principalmente, del cultivo de maíz. En este sentido, la selección de variedades para ambientes óptimos ha sido una práctica bastante evolucionada si se la compara con la agricultura de otras latitudes. Tiene relación con lo anterior lo señalado por Ramirez, al mencionar que gran parte de la variabilidad del maíz andino para ambos países se debe a la selección por adaptativo del maíz de las tierras altas varía entre 115 y 270 días. Escoger una variedad es, entonces, un asunto complejo, en el cual hay que tener en cuenta la altitud, la temperatura, la duración del período de lluvia, la fertilidad del suelo y los usos. Sin embargo, allí donde se dispone de riego las posibilidades de una región dada aumentan grandemente.

Esta práctica intensa del riego en microclimas donde aún se cultivan maíces de grano pequeño y de bajo porte puede observarse sobre los 3800 m de altura en los "Jardines del Inca" partiendo del Estrecho de Tiquina al norte en el lago Titicaca. Según los campesinos más viejos, la deforestación de especies nativas habría vuelto a estos parajes más expuestos a las heladas, lo que en cierta forma va limitando el cultivo del maíz. Ahora, en ambientes más favorables, o sea en altitudes menores a la anterior, tales prácticas de riego permiten el cultivo de granos grandes como el Cuzco boliviano o Hualtaco y de ciclo productivo más prolongado y con altos rendimientos, tal como ocurre en algunos valles mesotérmicos donde aún permanecen los andenes de la época pre-hispánica. Sobre estos aspectos, Ramirez et al (1961) señalan que, en la época actual, algunas áreas irrigadas del altiplano de Bolivia, principalmente en La Paz y en los valles del Norte, consiguen "nueva semilla" de maíz, directamente de Cuzco. El problema de las áreas cultivadas de maíz en Bolivia, situados en los valles altos de temperatura moderada, consiste en combinar precocidad con alto rendimiento. Los tipos precoces del altiplano dan bajos rendimientos. El "Uchuquilla", de Cochabamba, es tal vez el que más se aproxima a este ideal. Es un tipo semiduro, con período vegetativo de cerca de 150 días, que se usa principalmente para harina.

4. Programas internacionales de maíz en los países andinos

4.1 Introducción

Tanto el CIMMYT, Centro Internacional de Mejoramiento en Maíz y Trigo, con sede en México, como el CIAT, Centro Internacional de Agricultura Tropical, desempeñan un rol importante en la orientación y colaboración de las diferentes líneas de investigación en maíz, no solamente de los países andinos sino de otras partes del mundo donde se cultiva el maíz.

Si bien el acento del programa en ambas instituciones está puesto en las zonas bajas, es difícil hacer una delimitación física de las proyecciones que se derivan de tal labor. Igualmente, será difícil hacer una delimitación de los grupos humanos a quienes prestar asistencia técnica, si tenemos en cuenta lo que acontece al sur de los países andinos, donde la dinámica social, dirigida y espontánea, de la población rural de las partes altas, ha sido capaz de generar excedentes en maíz en las zonas bajas con una asistencia técnica incipiente.

El CIAT tiene como sede Palmira, Colombia, y su acción está estrechamente ligada con la del ICA, Instituto Colombiano Agropecuario, y en cierta medida con los programas de los otros países andinos. En conjunto se trata de superar los bajos rendimientos, la escasa población de plantas, limitado control fitosanitario, fertilización deficiente, poco uso de material mejorado, problemas que en mayor o menor medida se presentan en cada uno de los países. En los últimos años el CIAT promovió una serie de reuniones internacionales en maíz y frijol y hay sendos informes técnicos en maíz de los países participantes.

Dado que gran parte de esta investigación va más allá de los alcances de la presente encuesta, nos limitaremos a describir la investigación efectuada en el campo de la ecología de las cosechas.

4.2 Fitomejoramiento

Se aprovecha una amplia fuente de recursos para obtener germoplasma promisorio, el cual es probado, coleccionado y multiplicado. Además, a través de solicitudes directas hechas a los programas de semillas nacionales y comerciales, se han establecido una serie de ensayos que incluyen material, por ejemplo, de la Colección Internacional de Adaptación del Maíz (CIMMYT), ensayos con lotes de maíz comercial, experimental braquítico y opaco, hechos en América Central (PCCMCA), dos ensayos del Programa Inter-Asiático (IACP, Tailandia), y material diverso producido por el CIMMYT en las primeras generaciones de selección. En la mayoría de estas pruebas, se hizo un número limitado de cruces entre líneas seleccionadas con el fin de probar algunas nuevas y promisorias combinaciones en el ciclo siguiente.

4.3 Fisiología vegetal

En una región en la cual el maíz se cultiva en una gama de microclimas, es esencial el logro de una adaptación más amplia de los híbridos comerciales y variedades. En América Latina existe una variación en la temperatura (causada por las diferencias de altitud), precipitación pluvial y humedad relativa, fertilidad disponible y tipos de suelo, especialmente con respecto a elementos menores, y una variación considerable en relación con la duración del día. El área sembrada con maíz en la mayoría de las zonas microclimáticas no justifica el establecimiento de un programa de mejoramiento ni de producción de híbridos específicos para esa área. Una solución viable es la de escoger una amplia gama de variedades y de compuestos adaptados, los cuales puedan luego ser ensayados en las diversas zonas y así, el material más adecuado para cada zona se debe incrementar en el área específica. El desarrollo y multiplicación de estos compuestos implica hacer ensayos en colaboración con los programas nacionales, así como la obtención de suficiente información sobre los factores que influyen en su adaptación.

La sensibilidad al fotoperíodo limita el intercambio de germoplasma entre el norte y el sur. Los estudios de campo hechos en 1971 revelaron la existencia de un sistema simple de transmisión hereditaria de la sensibilidad - probablemente gobernada por unos dos genes - y este patrón genético está siendo probado en el ciclo actual. Se está repitiendo un estudio de la duración crítica del día debido a que el primero que se hizo resultó inconcluyente. Se está investigando un material genético sintético de amplia base. Procuramos determinar cuál es el sistema óptimo de transferencia de insensibilidad de nuestros materiales a otros germoplasmas valiosos. En el ciclo actual de cultivo se ensayan varios materiales procedentes de otros proyectos de estudio sobre fotoperíodo. En este trabajo colaboraron el CIMMYT, la Universidad de Missouri y la Universidad de Cornell.

La incorporación de la característica de insensibilidad a los materiales de clima templado y del trópico, facilitará su intercambio entre los cultivadores. La sensibilidad a la temperatura limita el fácil traslado y aprovechamiento del material genético de áreas altas a otras bajas y viceversa, en las zonas montañosas de la zona andina. En colaboración con algunos colegas colombianos y usando fuentes de luz artificial en el campo, en dos estaciones experimentales del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA): Tibaitatá (2600 m) y Turipaná (al nivel del mar), estamos explorando no sólo los efectos de la temperatura sino también su interacción con el fotoperíodo. Los resultados preliminares obtenidos en

Turipaná, en la costa norte de Colombia, indican que la sensibilidad al fotoperíodo desaparece, o al menos es mínima, bajo altas temperaturas (temperatura media 28° C). Otro estudio hecho en colaboración con la Universidad de Purdue, en las mismas tres localidades (Tibaitatá, Palmira y Turipaná) determina los efectos de temperatura y de luz en el crecimiento del maíz, productividad, madurez y calidad proteica. El ensayo realizado en las tres localidades en las cuales colabora el ICA es parte de un proyecto más amplio, que incluye localidades en México y en los Estados Unidos.

En 1971 la Universidad de Cornell inició un estudio con proyección internacional sobre la tolerancia al frío y la resistencia a las heladas. El CIAT está coordinando los ensayos en la zona andina. En San Jorge, Colombia (2900-3300 m), Santa Catalina, Ecuador (3050 m) y Huancayo, Perú (3300 m), se está seleccionando el germoplasma que sobrevivió los rigores de una exposición intensa del material en una cámara climática. Los resultados obtenidos darán una indicación acerca de la resistencia real al frío y a las heladas del material probado y servirán también para planear una recombinación de las líneas sobrevivientes para formar un sintético resistente. Luego, los materiales sobrevivientes que muestren mayor adaptación a las condiciones locales, provenientes de estas tres localidades en los Andes, se combinarán con sobrevivientes de otras localidades - Nepal, Kenya, Nueva Zelandia y Estados Unidos - para producir un compuesto internacional que podrá ser utilizado en la extensión de todas las tierras templadas y tierras altas del área tropical.

Otras investigaciones referentes a las interacciones climáticas cubren el estudio de la calidad del grano y de la protección de las cosechas contra pestes y malezas.

5. Ecología del cultivo de maíz

El cultivo del maíz, como se ha visto más arriba, es muy antiguo, y en particular en sus regiones de origen sus especies han desarrollado tal adaptabilidad a las diferentes condiciones de temperatura que se lo encuentra desde los llanos de la costa hasta niveles superiores a 3600 m. El crecimiento del maíz se caracteriza por una necesidad de calor durante todo el período de crecimiento activo, pero la respuesta a la temperatura es diferente en las diferentes etapas del crecimiento. La germinación óptima es a alrededor de 18° C, cuando el brote toma unos seis días. Las temperaturas mínimas están entre 9-10° C cuando puede tomar unos veinte días, lo cual va acompañado por un mayor riesgo de pudrición y enfermedades. En cualquier etapa, las temperaturas inferiores a 8° C interrumpen el crecimiento y aun una ligera helada es mortal para el maíz. Entre 8 y 28°C las tasas de crecimiento se duplican por cada aumento de temperatura de unos 6° C aproximadamente. Las plantas pequeñas pueden soportar temperaturas relativamente altas pero a las 3-4 semanas se vuelven susceptibles. A las 4-5 brota la barba de la mazorca y en esta etapa las plantas pueden morir por exceso de humedad. El tiempo requerido para alcanzar esta etapa está determinado principalmente por la temperatura durante la etapa, con una temperatura media óptima de unos 23° C.

A continuación comienza un período de rápido crecimiento, acompañado por un fuerte desarrollo del sistema de raíces que tiene que proveer grandes cantidades de agua y nutrientes, a una temperatura óptima de 28° C si la humedad no pone un límite. Temperaturas ambientales superiores a 30° C pueden provocar, en esta etapa, un desequilibrio entre la absorción de agua

a nivel de las raíces y la traspiración a nivel de las hojas, y también una disminución en la tasa de crecimiento. En el momento de la floración hay un punto máximo en el requerimiento de agua; un breve período de escasez de humedad puede causar notables reducciones en el rendimiento. Cuando las temperaturas superan los 35° C, el requerimiento de agua aumenta verticalmente, al mismo tiempo que pueden producirse anormalidades en la polinización y pueden resultar lesionadas las hojas y las barbas. Es importante también la oscilación de las temperaturas durante el día; el maíz prefiere noches relativamente frescas.

Durante la formación del grano son favorables las temperaturas cálidas y, en condiciones en que todos los factores son óptimos, se alcanza un máximo neto de actividad fotosintética a 35-40° C. Finalmente, el tiempo seco ayuda a reducir la humedad del grano durante la maduración. Muchos estudios sobre este tema indican un umbral de 10° C para el maíz, que es unos 5° C más alto que para el trigo. Para cada una de las etapas de desarrollo de la cosecha, las unidades de calor por encima de este valor de 10° C parecen ser un buen indicador, más que limitarse a mencionar el número de días.

En los países andinos se han efectuado estudios detallados con el fin de crear variedades que tengan un corto ciclo vegetativo junto con un rendimiento aceptable. Esto es particularmente importante para las regiones montañosas, para "comprimir" el ciclo vegetativo del maíz dentro del período del año libre de heladas y que presenta una disponibilidad de agua medianamente buena. Esta última observación tiene menos importancia para Venezuela, Colombia y Ecuador, donde las variaciones de temperatura estacional no son muy importantes debido a la ubicación ecuatorial. En estos países la temperatura dependerá directamente de la altitud y de algunas influencias microclimáticas, como la exposición, el declive, etc. En cambio esta consideración es muy importante en Perú y Bolivia, donde las diferencias estacionales de temperatura son notables y condicionan la distribución de las cosechas, al menos para la estación más "cálida" y más humeda.

El Instituto Colombiano Agropecuario, en sus esfuerzos para crear variedades adaptadas a las condiciones de la montaña, ha producido una serie de variedades adaptadas a los distintos "pisos técnicos" de Colombia, que han sido sometidas a prueba en forma homogénea en varias estaciones de investigación. De tales estudios, Rivera (1972) se han sintetizado la tabla 112.

Las cifras de la precipitación se dan como promedios anuales, dado que la época de la siembra es diferente en cada estación. Las cifras sobre la duración del ciclo vegetativo representan un rango adecuado de las cifras dadas para las variedades e híbridos principales, desarrollados en las respectivas estaciones experimentales para su uso en cada una de las zonas de altitud indicadas.

Los datos han sido comparados con las temperaturas medias anuales para las estaciones y también se han calculado los grados diarios, tomando como límite inferior una temperatura de 10° C. Puede objetarse que se tomó la temperatura anual en vez de la temperatura efectiva durante las pruebas o la estación vegetativa. Sin embargo, esto no parece tener mucha importancia ya que las variaciones estacionales de temperatura en Colombia son relativamente pequeñas como resultado de su posición ecuatorial. Se anotan considerables diferencias en las unidades de calor, provenientes del hecho de que se refieren a seis grupos de variedades diferentes, cultivada cada una

Estación	Zona de represent. alt. m	Duración ciclo veget. días	Rendim. comercial kg/ha	Rendim. experimental kg/ha
Turipaná	0-600	120-130	3200-4500	3200-4500
Palmira	600-1200	125-150	3000-5500	4200-7800
Tulio Ospina	1200-1700	155-165	3500-4500	4600-7300
La Selva	1700-2200	230-235	4500	5000-6000
Tibaitatá	>2200	260-300	4000-5200	4000-5200
Obonuco	2400-2800	320	5000	5500

Estación	Alt. m	$\bar{P}$ mm	$\bar{T}$° C	Indice térmico
Turipaná	15	1180	27.2	2150
Palmira	1006	1010	23.9	2020
Tulio Ospina	1438	1360	21.3	1800
La Selva	2120	1400	16.5	1530
Tibaitatá	2550	670	13.4	1000
Obonuco	2528	740	13.3	1060

Figura 112 *Comparación entre varios estaciones colombianas.*

en su propia zona altitudinal específica. En conjunto, los datos concuerdan con las variedades peruanas y bolivianas que tienen ciclos de crecimiento de la misma duración.

Los datos sobre duración del ciclo, rendimientos y altitud se presentan combinados en un gráfico (113), en el cual se comparan las variedades e híbridos mejorados producidos por el ICA con el comportamiento de algunas variedades tradicionales (criollos). Para ambos aparece determinada tendencia, y además se nota que los rendimientos experimentales de la mayoría de las variedades mejoradas no varían mayormente según la altitud y son del orden de 5000 kg/ha.

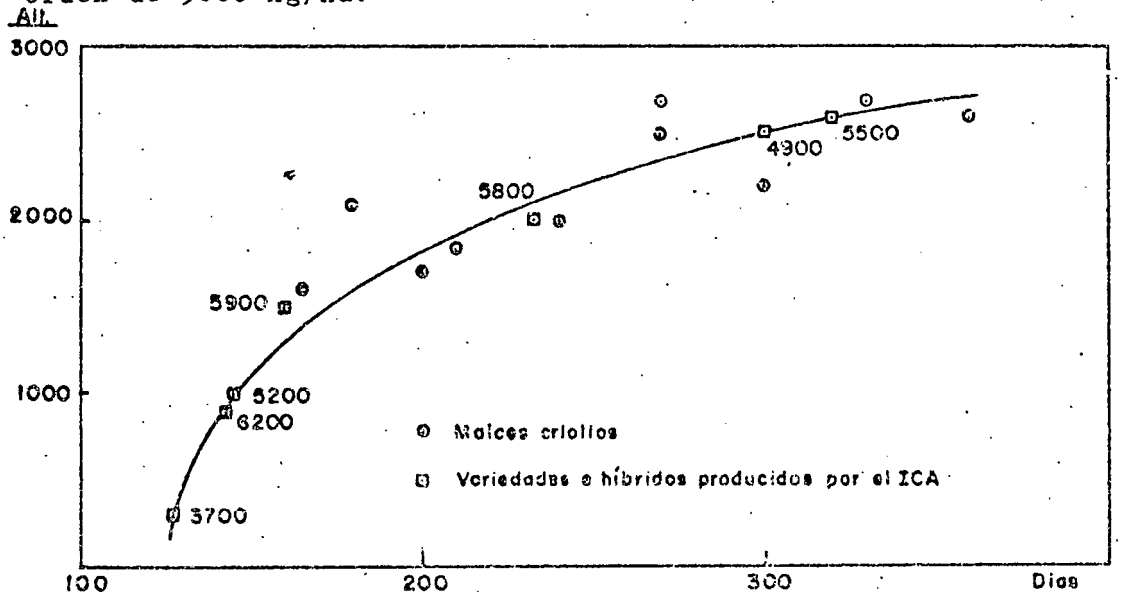


Figura 113 *Duración del ciclo vegetativo de maíces colombianos.*

En Ecuador también el INIAP ha creado algunas variedades mejoradas, cuyas características son las siguientes (cuadro 114).

Variedad	Altitud	Antesis	Ciclo productivo	Rendimiento kg/ha
Chillos Mejorado	2400-2700	130-140	230-235	3680
Amaguana	2400-2800	121-137	220-240	3220
Sta. Catalina	2600-2000	120-150	209-239	3680

Figura 114 Algunas características de variedades mejoradas ecuatorianas.

Las variedades criollas pueden ir hasta los 3200 m, donde el ciclo vegetativo es de alrededor de doce meses.

En Perú, Sanchez (1971) ha efectuado algún trabajo sobre crecimiento acumulativo en relación con los factores ambientales en la estación experimental de tierras bajas de La Molina.

El crecimiento acumulativo y el ritmo o diferencial de crecimiento hasta inmediatamente antes del panojamiento, se midió semanalmente durante dos años y cuatro épocas de siembra en cinco híbridos dobles comerciales de maíz, en relación con las unidades de calor, radiación y horas de sol.

El crecimiento acumulativo fue igual en las siembras de invierno y de verano, aunque necesitó más tiempo en el invierno. La velocidad de crecimiento en cualquier época fue variable entre semanas y dentro de semanas, siendo siempre mayor en las siembras de verano.

La radiación, unidades de calor y horas de sol mostraron alta correlación con el ritmo de crecimiento, ya que la planta necesita una cantidad determinada de energía para alcanzar cada etapa de crecimiento. La primera etapa del gran período de crecimiento, como es más larga en el invierno, determinó la diferencia en días para alcanzar el crecimiento acumulativo final. La velocidad en la segunda etapa fue similar en invierno y verano, alcanzando las plantas alturas similares en igual tiempo.

De este estudio se resumen algunos datos en la tabla 115.

	Unidades de calor			Radiación			Horas de sol		
Epoca	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Inv.69	181.6	510.9	692.5	4049	12467	16516	100:45	286:32	387:17
Inv.70	134.8	534.5	669.4	3324	15889	19213	67:15	450:50	518:05
Ver.70	269.8	596.4	866.2	5501	11628	17129	114:45	263:25	378:10
Ver.71	262.4	614.5	876.9	7189	13289	20478	198:30	370:25	568:55

1: Acumulado hasta 30 días después de la siembra

2: Acumulado durante los días de la observación

3: Acumulado desde siembra hasta el final de las observaciones: suma de 1 y 2

Figura 115 Crecimiento del maíz y factores ambientales.

Todas las observaciones sobre la tasa de crecimiento comenzaron 30 días después de la siembra y prosiguieron hasta que las plantas alcanzaron su altura completa, lo cual ocurre precisamente antes de la aparición de las mazorcas (columna 2). Este momento fue alcanzado 77, 91, 56 y 56 días respectivamente después del comienzo de las observaciones en el trigésimo día después de la siembra. Las unidades de calor aquí utilizadas se calculan según el promedio de temperaturas máximas y mínimas y a un límite mínimo de 10° C.

Aunque no se menciona específicamente, se entiende que el completamiento de la tercera etapa representa el 50% del ciclo total, que en consecuencia se estima que está entre 170 y 240 días. Esto está en correspondencia con otros datos de las tierras bajas y de las montañas colombianas.

El rendimiento de las dos cosechas de invierno es mucho menor que el de las dos cosechas de verano, lo cual parece deberse a la menor temperatura acumulativa y radiación durante los primeros treinta días de crecimiento. Temperaturas normales y una radiación menor que en verano durante la segunda fase no permiten compensar el desarrollo más lento durante los primeros treinta días, pero el desarrollo total en términos de altura final y de floración fue similar en todos los experimentos. No se obtuvo información sobre la influencia de las diferencias en tasas de desarrollo sobre el rendimiento final.

Los niveles de radiación, tal como se presentan, de respectivamente 154, 159, 199 y 238 cal/día de promedio (columna 3), son bastante característicos para las condiciones en esta zona de tierras bajas y están por debajo de los valores de 350-400 cal/día que se encuentran en las montañas de Colombia. Las montañas peruanas a la misma latitud de La Molina reciben durante la estación de crecimiento un valor entre 400 y 500 cal/día, y a la latitud de Cochabamba se recibe aún más.

Los ciclos vegetativos resultantes son más cortos a estos altos niveles de radiación, pero el efecto es parcialmente compensado por las menores temperaturas medias del aire, que en gran parte se deben a temperaturas mínimas más bajas. La reducción en la duración del ciclo se encuentra principalmente en las etapas posteriores a la floración.

La temperatura del suelo parece ser un factor particularmente importante, ya que afecta directamente la proporción de crecimiento de la hoja. Watt (1973) descrubrió que a través de esta relación se influía sobre la proporción relativa de crecimiento del maíz. Las temperaturas más elevadas del suelo logradas mediante aporcamiento parecen afectar positivamente todas las etapas del crecimiento, incluyendo el rendimiento. El maíz, más que otros cereales, parece ser extremadamente sensible a los factores externos durante las primeras pocas semanas de crecimiento: una mala partida puede no ser compensada, o serlo sólo parcialmente, por el tiempo favorable durante las etapas siguientes.

Se sabe que el maíz tiene una elevada demanda de radiación y calor globales, pero no es fácil hacer una determinación exacta entre la influencia debida a la temperatura del aire y la de la radiación. Esto está demostrado claramente por el trabajo de Sanchez en Perú (loc. cit). Las variedades bolivianas, cultivadas a la misma altitud en Colombia (Ramirez, 1961) y en Italia (Brandolini et al, 1970), en cierto número de casos amplían su ciclo de crecimiento en comparación con el de Cochabamba, para acumular una suma

mayor de calor, presumiblemente para compensar la menor radiación. En otros casos, la duración hasta la antesis es aproximadamente la misma, pero entonces resultó que las temperaturas eran más elevadas en aquellos lugares donde la radiación era menor. Durante las etapas posteriores a la floración, sin embargo, no parece posible una compensación completa, ya que a niveles de radiación más bajos se produce un alargamiento más que proporcional del ciclo.

En algunas zonas, en consecuencia, se tiene el cuidado de orientar las hileras de plantas de maíz no sólo teniendo en cuenta la conservación del suelo u otras razones relacionadas con el cultivo, sino también para asegurar una óptima intercepción de la radiación solar.

También se ha escrito mucho acerca del fotoperiodismo y su influencia en el maíz, el crecimiento y el desarrollo de la cosecha. Aunque esto puede ser de gran importancia cuando se considera la introducción de variedades de maíz desde fuera de la zona considerada por esta encuesta, como ha sido demostrado por Brandolini (1970), parece que dentro de la zona y su rango latitudinal relativamente restringido esta influencia tal vez no es muy importante.

La exposición tiene también dos aspectos diferentes en las regiones ecuatoriales: Venezuela, Colombia y Ecuador, donde la exposición no es muy importante en vista de la latitud. En zonas más al sur esto tampoco será muy importante, por lo menos en lo que se refiere a la radiación solar recibida, dado que la cosecha será cultivada durante el verano austral, es decir cuando la posición cenital del sol esté muy alta en el horizonte. La exposición es importante, sin embargo, en relación con las heladas que pueden producirse por encima de los 2500-2700 m, sobre todo en Perú y Bolivia. En estas zonas una variedad dada puede producir un rendimiento medio en 130 días con unos 300 mm de precipitación pluvial, mientras otra variedad en las montañas ecuatoriales puede necesitar 1000 mm para completar su ciclo de 260 días.

Se acepta generalmente que el maíz puede dar una producción adecuada con una precipitación pluvial total de 400-800 mm bien distribuida durante el período de crecimiento, particularmente desde la siembra hasta la formación del grano. La escasez de humedad durante el período de floración puede reducir los rendimientos en 30-50%, pero de la literatura surge que es bastante difícil cuantificar la influencia de la precipitación. Una cantidad óptima parece estar alrededor de 750 mm, pero esta cantidad debe verse desde el punto de vista de la interacción entre variedad y los otros factores principales, radiación y temperaturas del aire y del suelo. Las lluvias tempranas disminuyen las temperaturas del suelo en un momento en que la pequeña planta de maíz es también muy sensible a la saturación de agua, mientras que las lluvias tardías, debido a la nubosidad, pueden recudir la radiación.

La ocurrencia de la precipitación pluvial condicionará en general el período de crecimiento del maíz. En Venezuela, Colombia o el norte de Ecuador las épocas de lluvia relativamente largas durante el año aseguran que la fecha de siembra del maíz tenga cierta flexibilidad, mientras que en la parte meridional de la zona, donde las estaciones son mucho más marcadas, el tiempo de la siembra dependerá mucho más del comienzo de las lluvias y estará más relacionado con la longitud del período durante el cual se dispone de agua.

En la región de Mérida, el maíz se siembra generalmente entre marzo y junio, para ser cosechado de agosto a noviembre (aproximadamente 900 mm). En las regiones más bajas, que no tienen períodos secos específicos al comienzo del año, el maíz puede sembrarse también en diciembre y cosecharse en marzo.

En Colombia se acepta generalmente el criterio de una precipitación pluvial mínima de 600 mm, bien distribuída durante el ciclo vegetativo. Los meses más húmedos son mayo y octubre, asociados con dos períodos secos en diciembre-marzo y junio-agosto. De acuerdo con cierta fluctuación mesoclimática, se reconoce que el maíz podrá sembrarse casi en cualquier período del año, con preferencia para los períodos de marzo a mayo y de setiembre a octubre. El período vegetativo será afectado también por las heladas que ejercen una coacción suplementaria sobre el ciclo vegetativo.

En el norte las primeras heladas que afectan al maíz son las de diciembre, y las últimas las de marzo. En Boyacá y Nariño las heladas de febrero afectan la antesis. En Bussaco las primeras heladas son en noviembre y las últimas en enero-febrero. Estas informaciones son bastante escuetas y hay necesidad de mayor investigación.

La investigación sobre evapotranspiración del maíz en Colombia ha mostrado, al menos para las zonas de cultivo más bajas, una cifra mensual de 110 a 140 mm en el momento de demanda máxima. El cultivo del maíz, a medida que se va hacia el sur, tiende a concentrarse más en una estación lluviosa bien delimitada. que en líneas generales abarca el período de noviembre a marzo en Ecuador, como puede verse en el gráfico (figural05).

La siembra puede efectuarse durante todo el período entre agosto y diciembre, en el momento en que la humedad del suelo consienta el brote de las plantas y a condición de que el riesgo de helada no sea demasiado elevado en la región. Entonces la cosecha se efectúa en el período seco.

Perú y Bolivia, que constituyen una región de muy antiguo cultivo del maíz, se caracterizan por una gran cantidad de variedades adaptadas a todos los mesoclimas locales de la región. Esta gran cantidad de variedades se debe en parte al hecho de que esta zona representa la extensión mayor, en anchura, de la Cordillera: La parte central de los Andes o el altiplano mismo culmina a unos 3500-4000 m y no se cultiva después de mayo debido a la brevedad del período de disponibilidad de agua y debido a las limitaciones impuestas por las heladas.

El maíz, por otra parte, se cultiva extensamente en los principales valles ubicados por debajo de los 3000 m. Los terrenos para el cultivo del maíz pueden tener características físicas muy diferentes, pero en general deben mostrar una buena permeabilidad hídrica. Son preferibles los terrenos arcillosos, especialmente en las zonas secas donde permitirán una mayor disponibilidad de agua para la planta. El maíz es bastante sensible a la cantidad de nutrientes presentes en el suelo y generalmente responderá favorablemente al uso de fertilizantes. En la zona andina la fertilización en general es poco usada, dados los precios de los fertilizantes y las dificultades del trasporte. Algunos de los agricultores utilizan abonos orgánicos.

En lo que se refiere al consumo de agua por el maíz cultivado en las montañas peruanas y bolivianas, se presentan dos gráficos. El primero (figural16) da la distribución por décadas de una plantación de maíz en Huancayo. Se supone un ciclo medio de crecimiento de 180-190 días, con

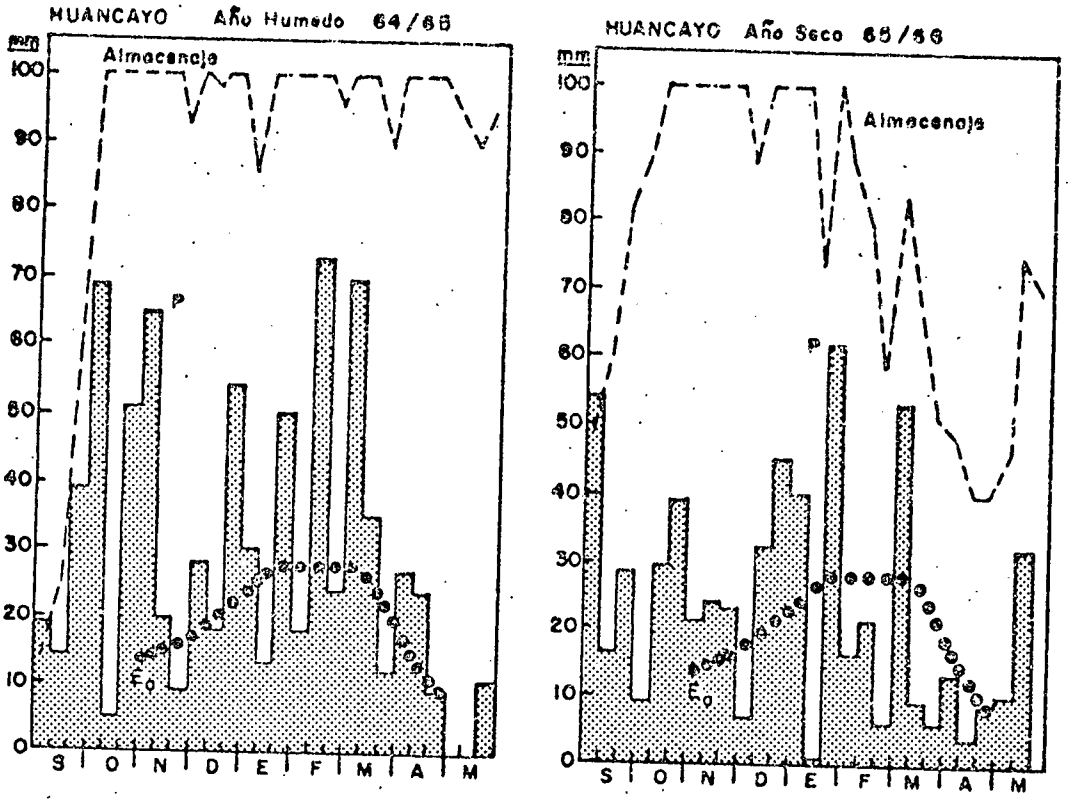


Figura 116 *Balance hídrico de Huancayo.*

un consumo real de agua de 400 mm aproximadamente. Se incluyen dos conjuntos de datos de precipitación, uno para el año "húmedo" 1964-65, con una precipitación pluvial total de 810 mm, y el otro para 1965-66, un año seco, con 640 mm. Estas cantidades se excederán, según las estadísticas, en un año de cada cinco y en cuatro de cada cinco, respectivamente (tabla 51). Se supone que la siembra se efectúa a principios de noviembre y la cosecha a principios de mayo.

Surge que en ambos casos la precipitación pluvial es suficiente y que aun en el año seco 1965-66, la distribución fue adecuada para asegurar el crecimiento de la plantación sin utilizar toda la capacidad de almacenamiento del suelo.

La situación es diferente en Bolivia, por ejemplo en Cochabamba, donde tanto las cantidades totales como la distribución pueden plantear problemas para el cultivo del maíz. En este caso, se supone una plantación de maíz con un ciclo de crecimiento de 125-130 días y una demanda de agua de 400 mm aproximadamente. También aquí se seleccionan dos años, el año 1963-64, con 390 mm, y el año 1969-70, con 560 mm, donde la precipitación pluvial total representa, como en el caso anterior, una probabilidad de excederse de 80% y 20% (figura117). Se ve que durante el año seco se produjo una seria escasez y no se acumuló un almacenamiento en el suelo que contribuyera a cubrir el principal intervalo seco en enero. Este balance hídrico da solo los valores mensuales y no es lo suficientemente detallado como para sacar una conclusión acerca de la distribución de la precipitación pluvial durante los diferentes períodos de crecimiento. De estos ejemplos resultará claro también que una simple clasificación como año húmedo o año seco es insuficiente para describir la precipitación pluvial en términos de la demanda y del resultado.

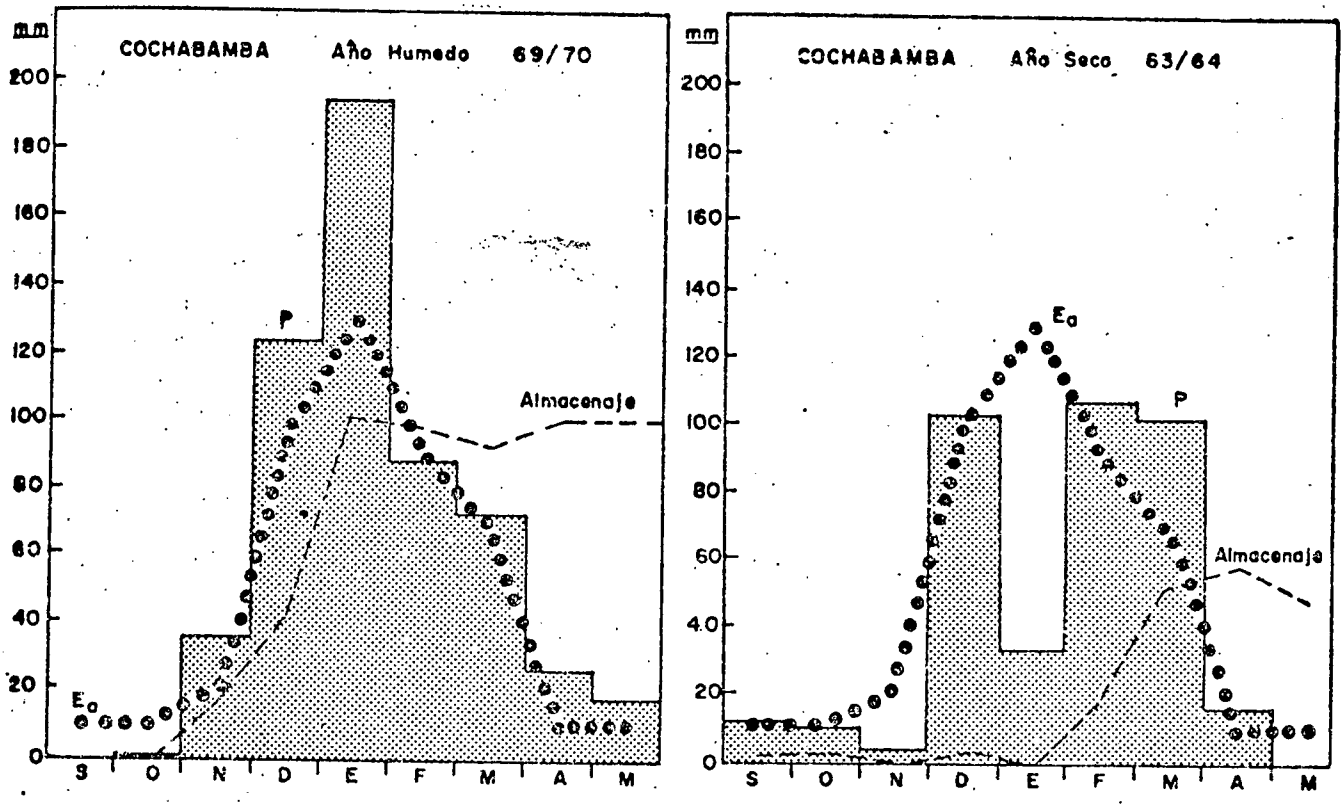


Figura 117 *Balance hídrico de Cochabamba.*

Debe señalarse que el punto máximo de utilización de agua alrededor de la etapa de floración, cuando la evapotranspiración efectiva iguala a la potencial, puede ser muy elevado en las condiciones de las montañas bolivianas, y como resultado el consumo de agua total de una cosecha de 125 días se estima como del mismo orden que el consumo de una cosecha de 185 días en regiones más septentrionales a la misma altitud aproximada.

Esta observación, que probablemente debe atribuirse an primer lugar a los niveles de radiación muy elevados experimentados en las montañas bolivianas, necesita ser confirmada por experimentos sobre el terreno, ya que se conoce pocc sobre los valores reales de la radiación resultante al nivel del mar. A pesar de la ausencia de datos precisos sobre el rendimiento, parece que la eficiencia en el uso del agua es menor en las condiciones de alta radiación en Cochabamba. Esto concordaría, entonces, con un artículo reciente de Lomas et al (1974), en el cual se informa sobre la proporción de evapotraspiración y de eficiencia en la utilización del agua en el maíz. La conclusión es que la eficiencia en la utilización del agua, definida como la proporción rendimiento/consumo de agua, parece ser afectada negativamente por los valores elevados de la radiación total. En las condiciones de éste y otros experimentos, se halló en la región una saturación en la intensidad de la luz de 0.40 cal/cm /min. Por otra parte, los factores como la fertilidad del suelo tienen un efecto positivo en la eficiencia en la utilización del agua, y en condiciones de elevada radiación y limitada provisión de agua, una pequeña aplicación de fertilizantes puede mejorar drásticamente las cosechas.

En general, la adaptación del maíz a tantos y tan diversos ambientes exige mayores estudios con respecto a los hábitos de la planta (Galinat, 1967). Un ejemplo es el régimen de temperatura en el cual se realiza todo el complejo de traspiración y fotosíntesis, ya que en condiciones de alta radiación, las temperaturas del aire medidas en la caseta, la temperatura ambiental al aire libre y las temperaturas de las hojas pueden diferir en medida mayor que la habitual. En este aspecto, también se han encontrado diferencias de temperatura significativas entre dos tipos de maíz pigmentados (Barthakur, 1974) que pueden indicar ventajas para las plantas de coloración más oscura a elevada altitud (Greenblatt, 1968).

6. Enfermedades y plagas

La plantación de maíz, aunque generalmente es resistente a pestes y enfermedades, puede ser atacada por determinados insectos u otras pestes, principalmente de origen fungoso o viral. Sin entrar en demasiados detalles sobre el tema, hemos resumido algunas de las principales conclusiones al respecto, para la región andina, utilizando una gran parte del trabajo realizado en esta zona por el CIMMYT.

Las tablas 118 y 119 muestran, en forma resumida, los diversos agentes que provocan ataques cuyo resultado es una pérdida en la producción de maíz, junto con la severidad del ataque y los países de esta zona en los cuales se localizan principalmente dichos daños.

Enfermedades	Col	Ecu	Perú	Bol	Baja	Media	Alta
Raquítico del maíz	X			X	X	X	X
Gibberella reale	X	X	X	X	X	X	X
Diplodia maidis	X		X	X	X	X	X
Sclerotium batiticola	X					X	
Diplodia spp.	X		X	X		X	
Fusarium moniliforme	X		X	X		X	
Ustilago maidis	X	X	X	X	X	X	X
Sphacelotheca reiliana	X					X	X
Puccinia sorghi	X	X	X	X	X	X	X
Puccinia polisora	X					X	
Helminthosporium turcicum	X	X	X		X	X	X
" maidis	X			X	X	X	X
" carbonum	X				X	X	
Sclerophtora macrospora	X				X		
Physoderma zeale			X		X	X	
Cephalosporium maidis	X				X	X	
Phyllachora maidis	X						X
Cladosporium hervarum	X	X			X	X	
Basisporum gallarum	X				X		

Figura 118 Enfermedades del maiz en los paises andinos

Plagas

Zeadiatraea limeolata	X					X	X
Elasmopalpus lignosellus			X		X	X	
Marasmia trapezalis			X			X	
Prodenia spp.	X		X			X	X
Agrotis ipsilon	X	X	X	X		X	X
Mocis latipes, repanda		X			X	X	
Dagrida gramnivora, Feltia anexa	X					X	
Pococera atramantalis			X				X
Diabrotica spp.	X	X	X	X	X	X	X
Chaetocnema spp.			X		X	X	X
Schistocerca paranensis	X		X	X	X	X	X
" impleta	X				X		
Dalbulus spp.	X			X	X	X	X
Rhopalosiphum maidis	X	X	X	X	X	X	X
Hercothrips fasciatus				X		X	
Franklinella spp.	X		X		X	X	X
Sitotroga cerealella	X	X	X	X			X
Sitophilus spp.	X	X	X	X		X	X
Carpophilus dimidiatus	X		X		X		
Tribolium spp.	X	X	X	X	X	X	
Dinoderus spp.	X		X		X	X	
Plodia interpunctella	X		X			X	X
Phyzopertha dominica	X		X		X	X	
Anagasta kuehniella	X					X	
Pagiocerus frontalis			X			X	

Figura 119 Plagas del maíz en los países andinos.

7. Maíz: conclusiones y recomendaciones

1. Los estudios fenológicos que realizan algunos países andinos se concentran en las zonas bajas.

2. Sin embargo, en las partes altas, en lo que respecta a ensayos en diversas localidades y diferentes épocas de siembra hay trabajo adelantado por organismos nacionales e internacionales, aunque no siempre todos van unidos a registros meteorológicos más precisos.

Este punto lo aclaramos con un ejemplo. La adaptación geográfica de un cultivar depende de varios factores. Entre los meteorológicos, en su comportamiento al fotoperíodo y termoperíodo influye la latitud y, en zonas montañosas, la altitud y la radiación. Parece que la orientación de los cultivos influye especialmente en el sur de los Andes.

Tal comportamiento conviene relacionarlo con datos más precisos durante el ciclo productivo de los diferentes cultivares. En lo referente a horas sol habría la necesidad de establecer una terminología propia en las investigaciones que se realizan en los Andes; o sea que, desde Venezuela a Bolivia, habrá regiones de "días cortos" y "días largos". Con esto se dejaría de pensar que alrededor del ecuador se tiene como norma general la de "días cortos" de 11 a 12 horas sol. En lo referente a la distribución de lluvias, convendría establecer su efecto en las distintas fases del

cultivo. En otras palabras, a medida que se profundizan las investigaciones agronómicas, fisiológicas, genéticas, fitosanitarias, también las meteorológicas deberían ser paralelas.

3. Será de interés general proyectar los estudios fenológicos de las tierras bajas a las altas donde existe la mayor concentración de razas de maíz y de productores agrícolas.

4. En esta proyección, las conclusiones que se dan en la parte de climatología, orientarán al establecimiento de una red internacional de estaciones fenológicas a lo largo de la Cordillera de los Andes.

5. En el establecimiento y operación de esta red internacional, se requiere el trabajo asociado de fisiólogos, mejoradores y meteorólogos.

6. Una de las reuniones internacionales que auspicia el CIAT podría enfocar estos aspectos en cooperación con la OMM. Lo importante es utilizar el elemento humano de que disponen las distintas instituciones que trabajan en maíz en una función creadora.

7. En conexión con el punto 6, los investigadores en maíz de los países andinos son cuarenta, y varios de ellos están vinculados con proyectos específicos para las partes altas.

REFERENCIAS - MAIZ

Andersen, P.P. 1971 — La factibilidad de introducir maíz opaco-2 para el consumo humano en Colombia. CIAT, Palmira. Folleto Técnico no.1

Avila, G. 1971 — Estado actual de la producción y el mejoramiento del maíz en Bolivia. En Cuarta Conferencia sobre mejoramiento de maíz en la zona andina. ICA-CIAT. Palmira

_____ 1973 — El mejoramiento del maíz en Bolivia. En Conferencia sobre protección vegetal en maíz. CIAT-CIMMYT. Palmira

Barthakur, N. 1974 — Temperature differences between two pigmented types of corn. Int. J. Biometeorol. 18, 70-75

Bejarano, W. y Schwartz, M. 1972 — Fertilización de papa, maíz y trigo y costos de producción. INIAP. Estación Exp. Santa Catalina. Boletín Divulgatorio no.49

Bernal, Fetal 1972 — Estudio socio-económico del oriente antioqueño. Depto. de Ciencias Sociales. Inst. Colombiano Agropecuario. Min. de Agricultura, p.194

B andolini, A., Avila, G. y Vandoni, G. 1970 — Problemi di acclimatazione di germoplasma tropicale nella regione temperata. Genetica Agraria 24, pp.280-302

Centro Internacional de Agricultura Tropical 1972 — Informe Anual. CIAT 1971. Cali, Colombia, no. p.139

ICA-CIAT 1971 — Cuarta conferencia sobre mejoramiento de maíz en la zona andina. Div. autores. Palmira

CIAT-CIMMYT 1973 — Conferencia sobre protección vegetal en maíz. Div. autores. Palmira

Dalal, R.C. 1974 — Efectos del cultivo mixto de maíz con guandues en el rendimiento del grano y la absorción de nutrientes. Expl. Agric. 10, pp.219-224

Galinat, W.C. 1967 — Plant habit and the adaptation of corn. Univ. Mass. Agr. Exp. Sta. Bull.565

Garcia, C. 1972 — Diccionario Geográfico del Perú. Edit. Minerva, Lima p.167

Grant, U. y otros 1965 — Razas de maíz en Venezuela. ICA. Bol. Técn. no.10. Bogotá

Greenblatt, J.M. 1968 — A possible selective advantage of plant colour at high altitudes. Maize Genet. Crop Newsletter 42, 144-45

Italconsult 1963 — Elementos para la programación agropecuaria del Ecuador. I. Desarrollo de Cereales. OEA. Junta Nacional de Planificación y Coordinación Económica. Min. de Fomento. Quito

Lomas, J. et al 1974 — Effects of environmental and crop factors on the evapotranspiration rate and water use efficiency of maize. Agric. Meteorol. 13, pp.239 251

Mangelsdorf, P.C. 1974 — Corn, its origin, evolution and improvement.

Manrique, A. 1973 — Estado del mejoramiento de maíz para resistencia a plagas y enfermedades en el Perú. En Conferencia sobre protección vegetal en maíz. CIAT-CIMMYT. Palmira

Paz, R. 1972 — Análisis de las razas de maíz en Ecuador. Anexo de Informe quinquenal de labores y proyecciones futuras 1967-72. Depto. de maíz. Est. Exp. Santa Catalina. INIAP

Ramirez, R. et al 1961 — Razas de maíz en Bolivia. Min. de Agricultura de Colombia. Div. de Investigaciones Agropecuarias. Boletín Técnico no.9

Ramirez, G.J.A. 1972 — Descripción de las variedades e híbridos de maíz producidos por el programa de maíz y sorgo del ICA. En Curso de maíz. ICA, Div. de Educación, Min. de Agricultura, Bogotá

Rodriguez, A. et al 1968 — Maíces Bolivianos. FAO, Roma. PL.FFC 11

Sanchez, H. 1971 — Fenología del maíz: I. Período vegetativo y efecto de ciertos factores ambientales sobre el ritmo de crecimiento. En Cuarta conferencia sobre mejoramiento de maíz en la zona andina. ICA-CIAT. Palmira

Scheuch, F. 1971 — Estado actual de la producción y mejoramiento de maíz en Perú. En Cuarta conferencia sobre mejoramiento de maíz en la zona andina. ICA-CIAT. Palmira

Schroeder, R. 1965 — Estudios sobre los recursos hidráulicos del Ecuador.

Sevilla, R. y Sanchez, H. 1970 — Determinación de heredabilidad para rendimiento en maíz y su uso en la programación de pruebas regionales de híbridos para la sierra del Perú. Anales Científicos, UN Agraria. Vol.VIII nos.3-4

Sevilla, R. 1971 — Evaluación de cuatro generaciones de selección mazorca-hilera modificada en una población de maíz de la Sierra del Perú. En Cuarta conferencia sobre mejoramiento de maíz en la zona andina. ICA-CIAT. Palmira.

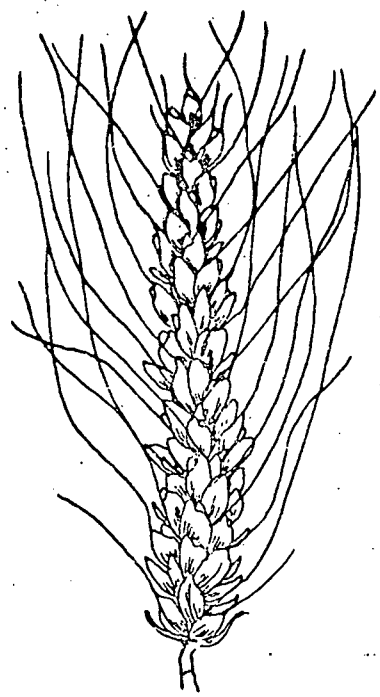
Timothy, D.H. et al 1966 — Razas de maíz en Ecuador. Inst. Colombiano Agropecuario, Oficina de Investigaciones Especiales. Boletín Técnico no.12. Bogotá

Torregroza, M. 1967 — El cultivo del maíz. Inst. Colombiano Agropecuario. Programa Nacional de Maíz y Sorgo. Plegable de Divulgación no.6

Vera, G. y Moreno, F. 1970 — Control de malas hierbas del maíz en la Sierra. Boletín Divulgatorio SC/70/14. INIAP

Villasis, C. 1971 — Efecto de la densidad de siembra en el rendimiento de seis variedades de maíz forrajero. En 4a. Conferencia sobre mejoramiento de maíz en la zona andina. ICA-CIAT. Palmira

Watt, W.R. 1973 — Soil temperature and leaf growth in maize. Expl. Agric. 9, pp.1-9



XIV. TRIGO

1. Introducción

El cultivo del trigo se extendió por las tierras altas de los Andes, de Venezuela a Chile, en el segundo cuarto del siglo XVI. Posiblemente se inició en Perú, pero luego se hicieron introducciones independientes a Colombia y Ecuador. Los tipos predominantes eran trigos blandos (Triticum aestivum), aunque hay registros de que el espelta se cultivaba en el sur de Colombia. Desde un principo se introdujeron las variedades más conocidas en España en el siglo XVI, pero se observó que eran muy susceptibles al ataque de royas y otros enfermedades. El reemplazo de las variedades introducidas de España, especialmente en Colombia y Perú, se hizo en el siglo XIX con variedades europeas y americanas. En las últimas décadas la introducción de numerosas variedades y los trabajos locales de selección han cambiado por completo la composición varietal. Puede decirse que no queda ninguna de las variedades originales de España.

El cultivo del trigo en los Andes está limitado por la escasez de terrenos mecanizables, y es aún una actividad de minifundio, con excepción de ciertas áreas de Ecuador. El ataque de royas, cuyos biotipos evolucionan rápidamente en los Andes, es uno de los problemas principales, pero su factor limitativo es económico: la competencia con el producto importado.

2. Producción, superficies, exportaciones e importaciones

En Venezuela la producción, la superficie cultivada, los rendimientos y las importaciones se dan en el cuadro 120.

Año	Superficie (ha)	Producción (ton)	Rendimiento (kg/ha)	Importación (ton)	Valor Import. $ US
1969	1000	-	370	-	-
1970	1351	510	377	690,300	42,290,000
1971	1407	609	432	596,165	-

Fuente: FAO y Anuario Estadístico Agropecuario 1970, Venezuela

Figura 120 Trigo en Venezuela; datos estadísticos.

La superficie cultivada está en relación con una agricultura de subsistencia y se mantiene sin variación significativa durante el último decenio. Los rendimientos, que son los más bajos de los países andinos, están asociados más que todo con la baja fertilidad, la mala preparación de los suelos ubicados en pendientes pronunciadas y la utilización de semillas criollas, antes que con factores meteorológicos adversos.

El cultivo del trigo en Venezuela no es prioritario y está restringido a las partes altas, especialmente en el valle superior del río Chama. Como consecuencia, el país depende de las importaciones de grano para la alimentación humana.

El cultivo del trigo en Colombia se localiza en sus zonas frías, entre 2300 y 2800 m. Los principales departamentos productores son Nariño, Boyacá y Cundinamarca, y secundariamente las partes frías de Tolima, Valle, Cauca, Caldas y Santander. Un 70% de la producción está en manos de los pequeños productores (con menos de 10 ha) concentrados principalmente en Nariño, donde se hace una explotación de tipo tradicional, cuyo nivel tecnológico se elevará paulatinamente con la política de fomento.

Esta política, que favorece a los agricultores, consiste en la fijación de precios de sostén y en la ampliación de los servicios de crédito, comercialización y asistencia técnica.

Las cifras del área cultivada, producción, rendimientos e importación se dan el cuadro 121.

Año	Superficie (miles ha)	Producción (miles ton)	Rendimiento (kg/ha)	Importación (ton)
1967	68.0	80.0	1176	170,354
1968	108.0	125.0	1157	228,128
1969	58.0	75.0	1293	243,016
1970	45.6	50.4	1100	322,522
1971	56.0	64.0	1130	390,000
1971-72	18.2	20.0	1100	380,000 2/
1972	42.5	49.2	1158	2/
1972-73 1/	103.3	63.0	1500	339,000

Fuente: OPSA - Programación

1/ Preliminar 2/ Total año

Figura 121 Trigo en Colombia; datos estadísticos.

En los inicios del último decenio, en 1962, se contaba con 150,000 ha y una producción de 162,000 toneladas. Estas cifras decrecieron casi a una cuarta parte a fines de tal período. A partir de 1972 aparece un incremento, tanto de la superficie cultivada como de la producción. El valor estimado de la producción para 1972 y 1973, a precios de 1972, es de 164.6 y 275.4 millones de pesos colombianos, respectivamente.

El incremento de las importaciones han convertido al trigo en el primer rubro agropecuario de importación. Esto significó en 1972 un gasto de alrededor de 27 millones de dólares para aproximadamente 400,000 toneladas, valor que a principios de 1973 casi llegó a duplicarse por el considerable aumento de los precios en el mercado mundial.

En Ecuador, tanto el cultivo del trigo como el de la cebada se circunscriben a la zona interandina. El cultivo del trigo se hace preferentemente en las hoyas interandinas, en la zona de los subpáramos y en las zonas más elevadas de la laderas externas de los Andes.

El clima de esta zona interandina tiene aparentemente bastante similitud con los de Colombia en cuanto a una característica común que es la existencia de una estación seca llamada de "verano" y otra húmeda llamada de "invierno", con distribución y duración de precipitaciones que varían con las localizaciones. Por esta aparente similitud podría concluirse que indistintamente se podrían cultivar las mismas variedades de trigo desarrolladas en ambos países. Pero los primeros resultados experimentales, como se verá más adelante, no coinciden con el tal supuesto criterio.

En Ecuador, el trigo es casi totalmente de secano y sigue al maíz y a la cebada en área cultivada. Las provincias que producen más trigo son Bolivar, Carchi, Chimborazo, Loja, Azuay y Pichincha. El grueso de la producción está en manos de los pequeños agricultores, que poseen menos de 10 ha y que son el 72% de los productores. El resto lo integran los agricultores medianos y grandes.

La superficie cultivada, la producción, los rendimientos unitarios y las importaciones de trigo aparecen en el cuadro 122.

Año agrícola	Superficie (ha)	Producción (ton)	Rendimiento (kg/ha)	Importaciones (ton)
1968-69	79,400	82,909	1045	65,722
1969-70	76,230	81,000	1062	69,937
1970-71	75,560	68,493	906	82,304
1971-72	67,500	63,090	936	90,910
1972-73	56,047	49,109	902	124,164

Fuente: Programa Nacional de Granos

Figura 122 Trigo en Ecuador; datos estadísticos.

Tanto la superficie cultivada como la producción vienen decreciendo. Igual cosa sucede con los rendimientos unitarios, a pesar de la superficie fertilizada y la incorporación de variedades más rendidoras. Como consecuencia de tal situación, Ecuador depende, en el abastecimiento de trigo, de otros países fuera del ámbito andino; las importaciones aumentan y el valor de ellas para 1972-73 a precios del mercado mundial en julio de 1973 es de alrededor de $ US 17,383,000. En estas importaciones, un buen volumen corresponde a trigos de corte que permiten así mejorar la calidad de la harina nacional. En este sentido, los trigos de la Sierra de Ecuador, Colombia, Perú y Bolivia, por ser blandos no pueden mezclarse directamente con papa, camote, quinua, plátano, arroz o yuca, sino que se depende de trigos importados con mayor contenido de gluten para que las mezclas sean panificables.

En Perú, el trigo, dentro de los cultivos principales, está considerado como un producto prioritario en los planes de gobierno. En los últimos años llega a ocupar un sexto lugar en cuante a superficie cultivada. Pero, sin embargo, es una producción tradicionalmente deficitaria.

Desde la Colonia, su cultivo se inició en la Costa, donde alcanzó un gran auge. La roya negra, o la del tallo, junto a otros factores socioeconómicos, se encargaron de eliminar este cultivo costeño, hasta que se localizó en la Sierra, donde con la papa, maíz y cebada son los principales cultivos.

Dentro de los proyectos de riego actualmente en ejecución en la Costa sur y norte de Perú, es previsible que su cultivo retorne a estas zonas. Hay razones socio-económicas que justificarían tal posibilidad. Tenemos además la experiencia vecina de Bolivia y Paraguay, donde el cultivo de trigo tiene una expansión vertiginosa en las zonas bajas, a una altura de 300 m. En esta producción se recurre a variedades resistentes a la roya del tallo.

La superficie cultivada, la producción, los rendimientos, las importaciones y exportaciones de trigo en Perú figuran en el cuadro 123.

Años	Superficie (ha)	Producción (ton)	Rendim. (kg/ha)	Import. (ton)*	Valor Import. (miles de soles)	Export. (ton)*	Valor Export. (miles de soles)
1969	139,062	126,953	901	681,684	2,014,345	42.4	296.5
1970	136,230	125.374	927	522,139	1,488,339	136.6	985.3
1971	138,535	122,225	911	696,434	2,025,578	636.0	3,866.9

Fuente: ONEC

* Harina o productos elaborados expresados en forma de grano.

Figura 123 Trigo en Perú; datos estadísticos.

La producción nacional está en manos de los pequeños agricultores, que son el 95% de los productores de este grano. El promedio anual de 125,000 ton que se vienen produciendo en esos años, tiene una tendencia ligeramente negativa. El destino de la producción es el autoconsumo en un 90%. De este porcentaje, el 80% se utiliza como harina integral procesada en molinos rústicos en las zonas de producción, y el resto - 20% - lo consumen los agricultores directamente como grano, que para tal uso tienen preferencia por los tipos blandos y blancos de trigo. Ultimamente con la política de fomento triguero del gobierno, está aumentando la producción de variedades mejoradas, cuyo flujo va a los molinos establecidos principalmente en Lima. En esta forma se va dinamizando el sector rural triguero. Sus implicaciones pueden ser múltiples, tanto en las zonas de producción como fuera de ellas.

La superficie cultivada se ha concentrado principalmente en cuatro departamentos: Ancash, La Libertad, Ayacucho y Cajamarca. En 1969, el 62% del área total cultivada corresponde a estos datos. Casi todo el cultivo es de secano con rendimientos para el citado año y para los departamentos nombrados de 1035, 955, 845 y 640 kg/ha, respectivamente (Villanueva, 1971). El cultivo bajo riego para el citado año fue el 11.6% de la superficie total y bajo este sistema los rendimientos fueron superiores en unos 100 kg/ha en comparación con los de secano.

Las importaciones de trigo han crecido poco en los últimos años; así, en 1973 fue aprobada la importación de 720,000 ton de grano para 1974. El aumento más notable se registra en los precios del trigo importado: el valor estimado para aquella cifra es de alrededor de 100 millones de dólares, el cual, debido a las restricciones petroleras, podría alcanzar cifras superiores. Lizárraga (1970) señala que al ritmo actual, las importanciones de trigo constituirán en 1975 alrededor del 65% de las importaciones totales de alimentos, y que estas importaciones de trigo convierten a la industria en muy dependiente de las disponibilidades del exterior, cuya provisión no puede garantizarse y que consume una elevada proporción de divisas escasas y de uso alternativo.

Las exportaciones han sido en forma de alimentos preparados y de harina. Pero a partir del último trimestre de 1973 han sido prohibidas estas exportaciones.

Bolivia, al igual que todos los países andinos, es deficitario en trigo. No obstante, hasta ahora es aquel donde más perspectivas podría haber para una expansión de su cultivo que significara una mayor producción.

El cultivo del trigo se extiende de norte a sur desde los 13° 5'S hasta los 22° S, cerca del límite con Argentina. Las mayores superficies sembradas con trigo están en los valles mesotérmicos, cuyas alturas fluctúan entre 1860 m y 3400 m. En las cabeceras de estos valles puede llegar a altitudes mayores. Estos sitios se caracterizan por ser más templados y con una precipitación mayor que en el Altiplano. Se da algo en el Altiplano, a 3800-3900 m, pero el cultivo está sujeto a serios riesgos climáticos como las heladas, granizadas y sequías que se suceden durante el ciclo productivo.

En Bolivia, lo mismo que en Perú, la mayoría de los productores está constituída por pequeños agricultores localizados en los valles de Cochabamba, Chuquisaca, Potosí, Tarija, Santa Cruz y La Paz.

Durante los últimos años el cultivo del trigo se ha extendido a las zonas bajas en el oriente del país. Por ejemplo, en Santa Cruz, a 300 m de altitud, y como cultivo de invierno, ha tenido buen resultado. Hay perspectivas de que en el Proyecto Abapo - Izozog llegue a ser uno de los principales cultivos.

La superficie cultivada, la producción y los rendimientos figuran en el cuadro 124.

Año	Superficie (ha)	Producción (ton)	Rendimiento (kg/ha)
1968	75,000	45,000	600
1969	76,000	53,000	700
1970	78,000	62,000	800
1971	81,000	69,000	850
1972	80,000	70,000	875

Fuente: FAO: Anuario de Producción

Figura 124 Trigo en Bolivia; datos estadísticos.

Por los datos de la División de Economía Agrícola del Ministerio de Agricultura, durante los últimos quince años las mayores superficies se alcanzaron en 1964-65 con 109,000 ha, con rendimientos de alrededor de 500 kg/ha. Después de Venezuela, estos rendimientos son los más bajos entre los países andinos. En los últimos años hay una baja en el área sembrada con un promedio anual de 76 mil ha. Sin embargo durante el trienio 1969-71, el aumento de la producción y de la productividad se debe a la acción del Instituto Nacional del Trigo y de las estaciones experimentales, cuya labor abarca las zonas tradicionales de cultivo en las partes altas como también en las partes bajas del departamento de Santa Cruz. El aumento de superficie posiblemente se deba al incremento del cultivo del trigo en el sub-trópico a 300 m de altitud. Aquí se han impuesto las variedades resistentes a la roya negra y entre ellas Jaral, cuyos rendimientos comerciales están entre los 1200 a 1500 kg/ha.

La producción local sólo llega a cubrir alrededor del 20% de las necesidades nacionales. En el área tradicional no habría alternativas para las actuales tierras cultivadas con trigo ni oportunidades de empleo de la mano de obra campesina.

El 70% de la producción es de autoconsumo. Se consume trigo en forma de trigo mote, grano tostado y molido, en sopas, en chicha, y en los molinos rústicos se elabora harina integral para panificación. El 30% restante va a los molinos localizados principalmente en Cochabamba, Potosí y Sucre.

A pesar de que el país tiene en sus molinos una capacidad instalada para 120,000 ton de harina anuales, las importaciones de harina son superiores a la de grano en una proporción de siete a uno aproximadamente. Estas importaciones corresponden a los siguientes totales en forma de grano.

Años	Trigo en grano (ton)	Años	Trigo en grano (ton)
1965	188,381	1969	209,050
1966	158,957	1970	221,000
1967	197,052	1971	223,000
1968	202,412		

Fuente: Bolivia: Anuarios de Comercio Exterior

Figura 125 *Importaciones de trigo en Bolivia.*

Las importaciones tienen un incremento anual del orden del 3%, que es casi coincidente con el de consumo. Para 1973, el valor de las importaciones a precios de mediados del año para grano, sería del orden de 32 millones de dólares.

3. Investigaciones y métodos cultivales

En Venezuela, la estación experimental de Mucuchíes desde 1961 realizó algunos ensayos, sobre todo de adaptación varietal, para superar los rendimientos de los trigos criollos. Los rendimientos más altos obtenidos por los agricultures con estos trigos fue de 1000 kg/ha.

Las variedades introducidas que se destacaron durante el primer quinquenio de los ensayos fueron Andes, Lerma 52, Gabo 60, Yaktana 54-A. Lerma 52 en los lotes de multiplicación dió 2000 kg/ha. Para el logro de estos rendimientos hay que sumar la mejor preparación de los terrenos, el aumento de la densidad de siembra, la mejora en la fertilidad y un "clima excelente en 1964" (Mittelholzer, 1966). No se informa el efecto de royas en estos ensayos.

En San Rafael de Mucuchíes, 3000 m, la variedad criolla "Gonzalez" se siembra en abril, del 8 al 15, espiga a los cuatro meses y se cosecha en noviembre. Tiene un ciclo productivo de alrededor de 220 días y se la considera tardía. Su rendimiento es de 700-800 kg/ha y en las rotaciones se alterna a veces con papa. No se riega, ni fertiliza y se siembra sólo trigo. Las primeras heladas se presentan en diciembre y están fuera del ciclo productivo. En general existe poca experiencia en este cultivo, tanto entre agricultores como entre técnicos. En esta parte de los Andes el cultivo de trigo y cebada puede considerarse como marginal.

En Colombia, el Instituto Colombiano Agropecuario concentra las investigaciones en trigo. Los principales centros experimentales están en Tibaitatá, Obonuco y Surbatá, todos localizados por encima de los 2000 m de altura en los departamentos de Cundinamarca, Nariño y Boyacá, respectivamente.

Los programas internacionales cooperativos corresponden al chequeo de las colecciones internacionales de trigo principalmente en royas y los investigadores colombianos estarían dedicando a tal labor un 30% de su tiempo. No se lleva adelante ningún ensayo que involucre a los países andinos, por ejemplo en lo referente a Puccinia glumarun, que es un problema común en las tierras altas de los Andes.

En los veintitrés años de labor investigativa se han hecho importantes contribuciones. Así se han obtenido doce variedades mejoradas, de las cuales siete se encuentran actualmente en producción comercial. Las principales características varietales se resumen en el cuadro 126. A esas características deben agregarse los altos rendimientos por unidad de superficie y la buena calidad industrial.

			Comportamiento			
Variedad	Adaptación altitudinal (m)	Ciclo productivo (días)	A roya amarilla	A pudrición raíz y espiga	Al vuelco	A altas dosis fertilización
Bonza 63	2400-2700	160	Tolerante	-	-	-
Miramar 64	2400-2800	145-150	Resistente	-	Resist.	Soporta
Tiba 63	2200-2700	150-155	Resistente	Tolerante	Resist.	Soporta
Tota 63	2200-2700	150-155	-	Tolerante	-	-
ICA-Sugamuxi 68	2300-2700	165	-	-	Resist.	-
ICA-Zipa 68	2300-2700	165	Resistente	-	Resist.	Soporta
ICA-Samacá 68	2300-2700	165	Resistente	Tolerante	Resist.	Soporta

Resistentes al vaneamiento: Bonza 63, Miramar 64 y Tiba 63

Figura 126 Colombia; características de algunas variedades de trigo.

La investigación se ha concentrado también en las cuestiones relacionadas con la densidad de la plantación, la fertilidad del suelo y la rotación de las cosechas. La densidad depende de la variedad, de la fertilidad y la textura del suelo. En suelos sueltos y fértiles se siembra de 120 a 130 kg/ha y en suelos pesados, con mal drenaje, puede sembrarse de 150 a 160 kg/ha. Las densidades más usadas en las zonas de ladera donde se siembra al voleo, varían entre 130 a 160 kg/ha. En las partes planas con maquinaria se usa una densidad de 120 a 140 kg/ha.

La siembra del trigo se hace en suelos sueltos a semipesados "franco limo-arcillosos" de buen drenaje interno y externo y un pH 5.5 a 6.5.

En los suelos planos con mal drenaje y por falta de nivelación, en años de alta precipitación, las pérdidas, si no son totales, llegan hasta un 50% del cultivo. Sin embargo, hay variedades promisorias para suelos de mal drenaje (Suelos Serie Río de Bogotá) como Samacá, Coconuco, Bonza 63, Crespo 63 y otras.

Con la aplicación de fertilizante de 200 a 350 kg/ha de la combinación 10-30-10 se obtienen rendimientos de cerca de 3 ton/ha y puede reducirse a la mitad, o sean 100 a 150 kg/ha de seguir el trigo a un cultivo fertilizado de papa. En algunos suelos muy fértiles de la Sabana de Bogotá, Valle de Ubaté y Pasto no se requiere fertilizante cuando se rota el trigo con la papa. Dentro de la política de fomento triguero se esperaba en 1973 fertilizar el 60% del área a razón de 200 kg/ha del grado 10-30-10.

En el cuadro de variedades aparecen Miramar, Tiba y Zipa como soportando altas dosis de fertilización.

Las rotaciones recomendadas por ICA son las siguientes:

- Papa-trigo-leguminosa (trébol más raygrass en Cundinamarca)
- Papa-trigo
- Trigo-descanso en el segundo semestre
- Maíz-trigo-descanso

Las dos primeras rotaciones no pueden aplicarse en suelos pesados de mal drenaje y en estos casos pueden aplicarse las otras dos rotaciones.

En Ecuador, el INIAP tiene en Santa Catalina (3058 m) su principal centro de investigaciones para la Sierra de ese país. El Programa de Trigo cuenta con cinco investigadores. Una buena parte de lo que se tratará más adelante es el resultado de los estudios encargados.

El Centro de Investigación incluye una cantidad de estaciones satélites a diferentes altitudes, en las cuales se duplican algunas partes del programa de pruebas, principalmente para determinar con mayor precisión los efectos de la temperatura en relación con la altitud y la exposición.

En el Programa de Trigo existe la convicción de que hay que profundizar los estudios fenológicos en conexión con la red de ensayos a lo largo del Callejón Interandino y en cooperación con el Servicio de Meteorología del Ministerio de Agricultura, pero no sólo dentro de un criterio de zonificación más precisa, sino sobre todo para complementar ambas investigaciones, las agronómicas y las meteorológicas, dentro de un criterio más uniforme.

El resultado de esta investigación se describirá en el capítulo siguiente que trata de las demandas ecológicas del trigo. Otras investigaciones adicionales se describen a continuación. En primer lugar, existe un programa de cría cuyo objetivo es la creación de variedades bien adaptadas a la Sierra.

En una forma general, el ciclo productivo del trigo está entre los cinco y seis meses y el tiempo requerido para llegar a la espigazón va entre los 70 y 80 días. Las variaciones se producen en función de la altitud, la temperatura, la distribución de lluvias, la radiación y en función también de las variedades.

La variedad Rumiñahui presenta una amplia adaptabilidad. Cultivada entre 1800 y 3100 m, tiene un ciclo total de 165 a 180 días; en Otavalo, Imbabura (2556 m), espiga a los 60 días y en Santa Catalina se lo considera semi-precoz con un ciclo total de 196 días. En las condiciones de Santa Catalina las otras cinco variedades, excepto Napo, se comportan en relación

a Rumiñahui como un poco más tardías, con una diferencia de 8 a 10 días. Atacazo sería la variedad m´s tardía: su ciclo varía entre 170 a 210 días cuando es cultivada entre 2800 y 3200 m, siendo menor el ciclo a altitudes también menores. Para esta variedad, Atacazo, se menciona que los mejores rendimientos se alcanzan entre 700 a 1000 mm de lluvia. Por encima de estas cifras se daña el grano producido tanto en cantidad como en calidad. El grano tiende a achusarse y se prolongaría su ciclo. Napo sería la variedad más precoz, aunque no se consigna su ciclo total en días.

A continuación se da en el cuadro 127 la duración del ciclo productivo de las seis variedades mejoradas; gran parte de los datos corresponden a Santa Catalina.

Variedad	Ciclo productivo (días)	Rendimiento (kg/ha)	Lluvia mm	P. triticina
Atacazo	206 ST	3970	700-1000	MR
Napo	___ P	-	-	-
Amazonas	204 ST	4250	-	0
Bonza	204 SP	-	-	-
Rumiñahui	196 SP	3550	-	R
Crespo	196 SP	-	-	-

Comportamiento a roya: MR = medianamente resistentes
R = resistentes
0 = inmune
Ciclo productivo = ST = semi-tardío SP = semi-precoz

Figura 127 Ecuador; características de algunas variedades de trigo.

La duración casi uniforme del período de luz hace que el cultivo del trigo en la Sierra se verifique en un solo período de vegetación ininterrumpida, debido a la ausencia de temperaturas inferiores a los 8° C.

Más que al cultivo de granos invernales, el cultivo triguero ecuatoriano se puede comparar al euroasiático de trigos primaverales.

Aun siendo indiferente la localización del ciclo a los efectos fotoperiódicos por la altitud de Ecuador, se ha establecido, no obstante una sucesión tradicional de estaciones, como consecuencia de la necesidad que tienen los agricultores de aprovechar para la siembra el período húmedo que media entre diciembre y marzo. En consecuencia, el producto se cosecha en coincidencia con el período seco-frío de junio a septiembre.

La época de las siembras difiere según las provincias, la posición topográfica y la estructura de los cultivos. Pese a ello, es posible indicar, en términos generales, un "período" para la realización de siembras.

En el cuadro 128 se indican, además del período de siembra, los meses que tienen el promedio de más alta precipitación pluvial y el porciento de precipitación anual en ese mes para estaciones seleccionadas.

En todo caso, es determinante que se verifique el período usual de lluvias, que permita la preparación del terreno con los medios de que se dispone, y por consiguiente, el rápido brote de las semillas.

Provincias	Siembra	Máxima	$\bar{t}$	$\bar{P}$ año	Estación de referencia	Alt.
Carchi	Dic-marzo	Nov-abr.	13/11	830	Tulcan	2950
Imbabura	Dic-marzo	Abr-nov.	18/12	630	Ibarra	2228
Pichincha	Dic-marzo	Abr-nov.	14/11	1400	Izobamba	3058
Cotopaxi	Dic-marzo	Abr-oct.	15/12	470	Latacunga	2785
Tungurahua	Marzo-junio	Abr-oct.	13/10	490	Ambato	2540
Chimborazo	Enero-feb.	Abr-oct.	14/12	400	Riobamba	2796
Cañar	Enero-feb.	Mar-oct.	13/9	410	Cañar	3104
Bolivar	Feb-marzo	Mar.	18 -	800	San Simon	2608
Azuay	Feb-marzo	Abr-oct.	12/14	820	Cuenca	2562
Loja	Enero-marzo	Mar.	13 -	790	La Argelia	2135

Figura 128 Epocas de siembra y período lluvioso en Ecuador.

La época de la cosecha está necesariamente vinculada a la de la siembra. Esto se refleja en la organización de la comercialización, y prolonga por meses el período de la colocación del nuevo producto en el mercado.

Es interesante señalar que hay algunas variedades con la gluma floja, como Amazonas, que la hacen susceptible al granizo. En general ninguna de las seis variedades mejoradas en actual producción comercial son resistentes al granizo. Hay una variedad criolla, la "150", seleccionada por un agricultor por su resistencia al granizo y por esta característica se la cultiva hasta los 3400 m de altura pero tiene el inconveniente de sus bajos rendimientos unitarios y es susceptible al vuelco por los vientos fuertes del páramo. A esta altitud, las heladas nocturnas se convertirán en otro factor limitativo para el cultivo.

Los terrenos donde se cultiva el trigo y sus características han sido presentados en el estudio de Italconsult (Brandolini, 1963), del cual se transcriben las partes siguientes:

"El cultivo del trigo, más exigente que los otros cultivos de cereales, se ha ido localizando en terrenos de constitución mediana, que no se endurecen con la sequía ni se deshacen bajo la acción del agua, y están bien provistos de materia orgánica que puede formar mantillo.

En general, los terrenos pueden ser clasificados, según la ordenación de E. Frei, 1) como brunizems de pradera interandina, que corresponden a los suelos húmedos de la Sierra, de Miller, o 2) a los terrenos negros andinos (Frei) designados negros de páramo por Miller.

Mientras el primer grupo de terrenos se localiza sobre todo en las hoyas, entre los 3500 y 3000 m, con un clima caracterizado por temperaturas medias que oscilan entre los 11 y 16° C y precipitaciones del orden de 800-1500 mm, el segundo grupo de terrenos es típico de las zonas de altitud más elevada (alrededor de los 3100 a 3500 m) con temperaturas medias de 8 a 11° C y precipitaciones cercanas a los 1000 mm anuales.

Cabe señalar que no todos los terrenos comprendidos en dichos grupos presentan las características originarias, por cuanto los fenómenos de erosión, que son de gran magnitud en las provincias de Cotopaxi, Tungurahua, Chimborazo, Carchi, Pichincha y sobre todo en la de Azuay, han provocado en muchas zonas la desaparición de la capa orgánica, descubriendo las capas subyacentes de origen volcánico.

En aproximadamente 30 localidades diferentes de la Sierra se han determinado valores muy bajos de materia orgánica.

En cuanto al fósforo soluble, todas las muestras han demostrado una notable pobreza en fósforo asimilable, especialmente las procedentes de las regiones de más antiguo cultivo, como Azuay, Cañar y Loja.

El fósforo utilizable presenta luego valores que decrecen a medida que aumenta la profundidad.

Los suelos procedentes de cenizas volcánicas más recientes parecen presentar un contenido en fósforo más elevado respecto a los suelos aluvionales y a los que se formaron sobre material originario terciario, tanto los sedimentarios como los que se derivan de capas volcánicas más antiguas (Azuay, Cañar y Loja).

En cuanto a las otras características, corresponde señalar que los suelos negros andinos presentan una acidez que aumenta con la profundidad. La capa arable (de 0-15 cm) presenta un pH variable entre 4.9 y 6 y más a menudo entre 5.45 y 5.85. En ningún caso se presentan problemas de salinidad.

La materia orgánica varía entre 2.1 y 8.6%; prevaleciendo los valores comprendidos entre 4 y 7%;

La variación en relación con la profundidad es notable, del orden del 2%.

El nitrógeno presenta un tenor medio de 0.27, con extremos de 0.16-0.57. Se observa una rápida disminución con el aumento de la profundidad.

La relación C/N en la capa arable varía de 8 a 10.

El potasio intercambiable es por lo general abundante, de 0.41 a 0.57 gm/100 g.

En los brunizems de pradera interandina, la acidez varía de 5.4 a 6.65, con valores intermedios de 5.8 a 6.0, y el pH aumenta con la profundidad.

La materia orgánica varía entre 1.3 y 4.9%, con valores medios de 2-3%.

Su distribución en el perfil es buena, pues a un metro se encuentran valores de 1.5 a 2.5%.

El nitrógeno total varía entre 0.12 y 0.34%, con valores más frecuentes entre 0.12 y 0.28. Se observa también en este caso una disminución de valores en coincidencia con una mayor profundidad.

La relación C/N oscila en torno a 8-9% en la capa arable, alcanzando valores de 16 a 17% en profundidad.

Calcio y potasio son moderadamente abundantes, con tendencia al aumento a mayores profundidades."

A fines de marzo 1973 había una prolongada sequía y en Carchi e Imbabura los cultivos de trigo mas resistentes a la sequía corresponden a los que tenían suelos con buena capacidad de retención de humedad (Montoya, 1973, inf. pers.).

Según encuestas del Programa Nacional de Granos (1973), casi el 40% de la superficie cultivada en el año agrícola 1972-73 está fertilizada principalmente con la fórmula 10-30-10. Las dosis recomendadas son de 8 qq/ha de la anterior fórmula y 2 qq de úrea para las provincias Carchi y Pichincha. Se recomienda una sola aplicación al tiempo de la siembra. Las aplicaciones foliares no han dado buenos resultados experimentales y serían antieconómicas (Bejarno y Schwartz, 1972).

Se observaron resultados de aplicaciones en grandes extensiones (60 a 100 ha) en Imbabura, Otavalo, Hacienda Perugachi, donde se usó la fórmula 18-46-0 a razón de 5 qq/ha con las variedades Rumiñahui y Amazonas, obteniendose 3 ton/ha de grano; y en Pichincha, P. Moncayo, Hacienda Santa Gertrudis, se usó la misma fórmula, adicionada con muriato potásico en la variedad Atacazo, que rindió 7 ton/ha. Pero estos incrementos aún no se reflejan en el gran volumen productivo.

No sólo para el trigo, sino también para los otros cereales y granos, la altitud en función de la temperatura serían los factores ambientales de mayor importancia en la producción.

El gran volumen productivo de trigo está entre los 2200 y los 3200 m y los niveles óptimos entre los 2700 a 3000 m. Regionalmente se presentan variaciones, y también hay variaciones de un año a otro. Al final de esta descripción se dan un cuadro y unos gráficos donde aparecen las variedades y su adaptación altitudinal en relación con las royas, que son resultado de un importante estudio conducido por el equipo de Santa Catalina durante cuatro años consecutivos. Por tanto, otras observaciones deben considerarse como de alcance más general.

De norte a sur tenemos las siguientes situaciones: en Carchi se obtienenbuenos rendimientos unitarios por encima de los 3000 m, por ejemplo en la Hacienda Chitan, Montufar a 3100 m, Atacazo, siguiendo a papa en la rotación, dió cuatro ton/ha, y en altitudes menores, entre 1700 y 2000 m, también se obtienen buenos rendimientos. La fisonomía de Carchi se presenta en la parte de maíz.

En Imbabura los rendimientos más altos se obtienen entre los 2000 y 2600 m, por ejemplo en la Hacienda Perugachi, 2650 m, con Rumiñahui y Amazonas, se obtuvieron 3 ton/ha y los más bajos, con la variedad Napo, 900 kg/ha en Ancochagua, 2750 m.

En Pichincha, Tabacundo, Hacienda Santa Gertrudis, 2900 m, Atacazo dió 7 ton/ha en 100 ha fertilizadas. En esta provincia se obtienen buenos rindes entre 3200 a 3500 m. Parece que 3500 m sería la altura máxima para el cultivo económico del trigo en Ecuador. Por encima de esta altura se correría el riesgo de que las bajas temperaturas afecten la antesis, y como resultado la formación del grano.

Las provincias de Cotopaxi y Tungurahua dan rendimientos inferiores en relación con las otras provincias. En la provincia Chimborazo se obtienen rendimientos uniformes entre 1500 y 2750 m, y entre 3200 y 3400 los campos de trigo ya son marginales. En la provincia Bolivar, los rendimientos más altos se obtienen entre 2500 y 3000 m, y el principal cultivo es el trigo después del maíz.

En Cañar, entre 2500 y 3000 m, se encuentran los cultivos con mejores poblaciones de plantas, y a medida que se avanza hacia Loja, en el extremo sur, se tienen los rendimientos unitarios más bajos.

Helvia Fron, en las condiciones de Huancachupa, llega a la antesis en 70-75 días y a la madurez completa en 130 días, con un rendimiento de 2.50 kg/ha. Se cultiva también otro trigo criollo, Milagro, muy tardío, con ciclo de 180 días, muy susceptible a royas y por tanto sin seguridad de cosecha. En Huancachupa no hay heladas durante todo el año, y la precipitación de 600 mm aproximadamente, no coincide del todo con el ciclo productivo de Helvia Fron que es de febrero a principios de junio. O sea que, a partir de marzo, se complementa con riego y dada las temperaturas altas se riega cada 10-12 días durante cinco a seis veces hasta la cosecha. Los períodos más críticos en esta segunda fase de Helvia Fron son el de espigazón y el de maduración de granos. En cambio, para Milagro, si bien no hay riesgo de heladas, no se tiene mucha seguridad de cosecha por su susceptibilidad a royas. Los trigos criollos son preferidos por su blandura, pues se los utiliza en consumo directo. El programa nacional de trigo va superando esta situación con la incorporación de variedades mejoradas.

En Tambillo, Ayacucho, las heladas durante el ciclo productivo son muy excepcionales: las primeras son de mayo y las últimas heladas de julio; y el ciclo de Huascarán va de enero al 15 de abril.

Volviendo al cuadro, la variedad más tardía es Cajabamba, con 155 días hasta los 2500 m y entre 2500 y 3000 m va acompañada por Salcantay II y Mantaro. Esta última aparece entre los 3000 y 4000 m y su ciclo se alarga a 190 y 210 días, coincidiendo con Bonza en las últimas fajas.

Los límites altitudinales máximos varían con las zonas y con las variedades. Así en Ayacucho, Huascarán y Ollanta tienen el tope a 3450 m, Helvia Fron se cultiva en las quebradas a 1000 y 2000 m. También en Ayacucho encontramos cultivos marginales en Llachojmachu, 3580 m, micro cultivos de la variedad Manitoba con un ciclo de 260 días, desde mediados de agosto a 8 de mayo, y muy atacada por roya amarilla. A estas alturas, la antesis en Manitoba es en diciembre, alrededor de los 120 días, y hay riesgos de heladas durante la espigazón. Cuando las heladas no son tan fuertes durante la madurez se obtienen granos pero no del todo llenos sino "achusados" y el grano se deprecia más por el ataque de royas que en años de lluvia excesiva, en enero-febrero, dañan del todo los granos. Si por esta causa las plantas no completan su ciclo y siguen las lluvias, hay tendencia al rebrote de tallos.

Las otras variedades que aparecen en el cuadro y que están entre las precoces y tardías, pueden considerarse como intermedias.

Entre las variedades precoces sobresale por su adaptabilidad Huascarán, que en la Costa tiene un ciclo de 100 días y casi el doble entre los 3000 y 4000 m. En este caso, el análisis no es tan estricto, porque en la Costa, que tendría topes altitudinales de 1600 y 2000 m, todo el ciclo se cumple bajo riego, al contrario de la Sierra donde el cultivo es de secano o a veces combinado.

Siempre dentro de este análisis, mencionado en el párrafo precedente, hay un aspecto significativo: es que, entre alturas de 800 a 2500 m, parte de cuyas fajas altitudinales están bajo la influencia ambiental de la Costa, las diferencias entre el ciclo productivo de casi todas las variedades estarían entre los 5 y 10 días, prevalentemente entre los 5 días. Se observa tal diferencia al comparar los datos de la columna de 1000-2500 m y 2500-3000 m, a pesar de que los datos no son tan cotejables.

En Perú, las estaciones experimentales de la Dirección General de Investigaciones Agropecuarias del Ministerio de Agricultura, con su principal centro en La Molina, se encargan del mayor volumen de las investigaciones en trigo. Esta se hace en algunos departamentos en cooperación con el Programa de Cereales de la Universidad Nacional Agraria La Molina y con otras universidades.

Perú tiene el grupo más numeroso de investigadores en trigo. DGIA cuenta con veinticuatro profesionales, de los cuales cinco trabajan a dedicación completa, y el resto de las universidades del interior cooperan con alrededor de diez personas. El equipo del programa de cereales de la UNALM en un 80% trabaja con cebada y el 20% del tiempo lo dedican a trigo.

Una buena parte de la investigación realizada en Perú se refiere al control de enfermedades sobre los varios tipos de roya. Este aspecto se tratará en un capítulo posterior que se ocupa más específicamente de este tema.

Si analizamos el cuadro 129 sobre variedades y su ciclo productivo en función de la altitud a partir de los 1000 m, que no es precisamente el tope inferior de la Sierra, observamos los siguientes casos:

Variedades	0-800 m	1000-2500 m	2500-3000 m	3000-4000 m
Bonza *	120-140	145	130-160	190-200
Nariño *	115-135	140	145-155	185-195
Huascarán	100-120	125	130-140	180-190
Mantaro	130-150	155	160-170	190-200
Salcantay I	120-130	135	140-150	
Salcantay II	125-140	135	160-170	
Salcantay III	120-135	145	150-160	
La Molina 60	120-130	130	130-140	
Helvia Fron	115-135	135	135-145	
Helvia Ken	100-125	130	130-140	
Gloriabamba	120-130	145	150-160	
Cajabamba	130-140	155	160-170	
Ollanta	110-120	125	130-140	
Cahuide	110-120	125	130-140	

*Variedad colombiana

Fuente: Villanueva, R. (1970)

Figura 129 Variedades peruanas y colombianas de trigo.

Aparecen como las más precoces Ollanta, Cahuide y Huascarán, con 125 días las tres, seguidas por La Molina 60 y Helvia Ken con 130 días para las mismas fajas. Sin embargo, en Huancachupa, Huánuco, 2170 m, Ollanta tiene un ciclo de 95 días y Huascarán 105; Huascarán, en Tambillo, Ayacucho, 2570 m, tiene también el mismo ciclo o sea de 105 días en que rinde 2500 kg/ha. Estos últimos datos se refieren a una altitud más específica. Volviendo al cuadro, vemos que Huascarán se vuelve más tardío con las fajas más altas, pues entre 3000 y 4000 m cumple su ciclo en 180-190 días.

Aparece una variedad colombiano, Bonza, aunque no parecería ser Bonza 63, y cultivada a alturas similares en Perú aparenta tener mayor precocidad. Aunque no se tienen los datos ecológicos más precisos en este sentido, se presenta la necesidad de considerar estudios multinacionales en el área andina bajo criterios más amplios de investigación.

Villanueva (1970) demostró que la altitud en diferentes años y en diversas variedades no alteró el contenido ni la calidad del gluten. Los ensayos iniciados en 1962 comprendieron once localidades, una en la Costa, en Lambayeque, y 10 en la Sierra. En la Sierra se abarcó de norte a sur, desde Santa Cruz, Cajamarca, 1840 m, pasando por Concepción, Junín, 3200 m, hasta Taray, Cuzco, 2900 m.

Pero se hace notar que el contenido de proteínas de una misma variedad varió con las localidades, correspondiendo los valores más altos a la Sierra en general. Así en 1966, en el promedio de proteína de 36 variedades se obtuvo 15.1% en Huanta, Ayacucho, 2550 m, y en La Molina, 250 m, sólo 12.8%. En 1967 el promedio para Caraz, 2280 m, fue de 15.8% de proteína y en La Molina y Lambayeque se obtuvieron 8.7% y 12.4% respectivamente. Por otra parte, el contenido de nitrógeno del suelo influye en el tenor de proteínas de una misma variedad. Así, se obtuvieron contenidos de 7.6% hasta 15% para la misma variedad con fertilizantes nitrogenados.

Los bajos rendimientos que se registran están relacionados con el no uso de fertilizantes químicos en el cultivo del trigo. Experimentalmente se ha comprobado que pueden duplicarse los rendimientos de las variedades modernas en producción comercial aplicando 60 kg/ha, tanto de nitrógeno como de fósforo y según Villanueva (1971) puede elevarse tal cifra hasta 80 kg en suelos muy pobres. Cuando el trigo sigue a la papa fertilizada en la rotación, no se recomienda su abonamiento. Hay variedades como Helvia Fron que responden a altas dosis, casi el doble de las cantidades mencionadas.

En Bolivia, no se tienen variedades propias y el trabajo de investigación se ha centrado en la adopción de variedades creadas en el exterior. Actualmente existen ocho variedades para producción comercial, recomendadas por su buen comportamiento agronómico en lo referente a rendimientos por superficie, resistencia a royas de las glumas y del tallo, principalmente, y precoces y de buenas cualidades panaderas. Por otra parte, se ha planteado la necesidad de una zonificación en la región tradicional, a fin de duplicar las superficies de cultivo actual.

Casi todo el cultivo es de secano y el ciclo productivo está sujeto al régimen de lluvias. En las partes altas las siembras se hacen a partir de septiembre a diciembre y la cosecha en abril y mayo. Las variedades más precoces son sembradas más tardíamente, como en el caso de Jaral. Excepcionalmente se riega el cultivo como ocurre en los valles de Tarija.

En los llanos de Santa Cruz, las siembras son de invierno a secano. Se inician en abril-mayo y se cosechan en agosto-septiembre, o sea antes del inicio de las lluvias fuertes de primavera.

En las partes altas de Bolivia, en la zona de influencia del lago Titicaca, 3800 m, con precipitaciones de 500 mm a 700 mm, realizamos macroensayos de "dry-farming" o barbecho cultivado con variedades de trigos de invierno, avena y cebada. El trabajo consistió en aprovechar las lluvias del período más fuerte, enero-febrero, mediante arado con tractor y al fin de las lluvias intensas se pasaba la rastra en marzo, para eliminar hierbas

y evitar pérdida excesiva de agua por capilaridad. En esta forma se mantenía la humedad del suelo hasta el momento de la siembra, que se hacía con arados rústicos a mediados de abril. Esta humedad permitía avanzar en dos fases del ciclo productivo o sea en la germinación y en el macollaje que se sucedían en pleno invierno. El invierno normalmente es seco y el trigo se mostré más resistente al frío que la avena y la cebada. En junio-julio habían heladas de -10° C. Durante el macollaje, que coincide con el período de mayor escasez de forraje verde, se pasteaban los campos con ganado vacuno. Luego las lluvias y temperaturas de primavera-verano completaban el total del ciclo que en esta forma, hasta cosecha del grano en abril, tomó 375 días. Este método, que podría ser generalizado, tiene múltiples implicaciones, tanto en la producción de carne como en la de granos.

El trigo de secano se cultiva principalmente a altitudes entre 2400 y 3400 m, con un ciclo de crecimiento respectivamente entre 130 y 180 días. Según la altitud, hay una gran variación en la superficie de las hojas, la época de floración y la forma del grano.

Las épocas de siembra y los períodos vegetativos habituales son:

Altiplano	3800-4000 m	Septiembre	180 días
Potosí	2900 m	Noviembre	150 días
Puna	3400 m	Noviembre-diciembre	135 días
Sucre	2750 m	Enero	100 días
Cochabamba	2550 m	Diciembre	120 días
Tarija	1900 m	Noviembre-diciembre	130 días

Para estas ubicaciones, la cosecha se efectúa generalmente a fines de marzo. Cuando la duración del ciclo de crecimiento lo permite, resulta que, en consecuencia, las fechas de siembra se retardan lo más posible para evitar la variabilidad en el inicio de las lluvias, y mantener al mismo tiempo un margen de seguridad suficiente para evitar un período demasiado seco en la proximidad del tiempo de la cosecha.

4. Otros aspectos de la ecología del cultivo de trigo

Las respuestas del trigo al ambiente colombiano aparecen como resultado de esta labor realizada en las estaciones experimentales, junto a observaciones complementarias que a continuación se dan: altitud y luminosidad. La altura óptima de cultivo está entre los 2300 y 2800 m y en estos pisos fríos se obtienen altos rendimientos entre los agricultores. Por ejemplo, en la sabana de Bogotá los rendimientos comerciales son de 3 ton/ha mientras los semicomerciales, como en Tibaitatá, fluctúan entre 4 y 6 ton/ha.

En el cuadro de variedades y su adaptación altitudinal, vemos que las altitudes fluctúan entre 2200 a 2800 m. Es en estas fajas donde se concentra el gran volumen productivo del trigo en Colombia.

Las alturas máximas están entre los 2900 y 3000 m. En el departamento de norte de Santander, en Pamplona por ejemplo, se ven pequeños cultivos a 3100 m, como en el páramo de Berlin, que sería el nivel máximo a que llega el trigo. Son cultivos marginales, en pendientes bastante pronunciadas, que recuerdan a las observadas en Mérida, Venezuela. En Pamplona el trigo aparece en los lugares de mayor luminosidad donde se dice que no falla su cultivo. O sea que habría una relación directa entre la precocidad del

trigo y el período breve de luminosidad en los altos páramos de esta parte del país. En el trayecto de Pamplona a Bucaramanga, a medida que se asciende hay menor luminosidad y se estiman en ocho las horas luz. Las nieblas se presentan en tres frentes en el tramo de Pamplona al páramo de Fontibon. En estas partes altas de suelos ácidos, a medida que decrece la luminosidad y aumenta la humedad relativa hay mayor incidencia de royas y alteraciones en la fructificación. Por ejemplo, es común ver granos chupados como efecto de estos y otros factores. En este sentido, aunque la adaptabilidad del trigo al fotoperíodo es notable, parece que la incidencia de éste y otros factores en ambos lados del ecuador no está del todo determinada dentro de una concepción de trabajo multinacional.

En cuanto a las alturas mínimas, se tienen observaciones preliminares de experimentos realizados en la costa; y en Palmira, a 1000 m, inicialmente se obtuvieron rendimientos de 700 kg, que se elevaron hasta 2000 kg/ha. En zonas de alta humedad relativa como en el límite de la zona cafetera, a 1800 m, se mencionan cultivos semicomerciales de trigo. En estos casos, las altas temperaturas y humedad relativa ocasionarían vaneamiento del grano. Igualmente, ambos fenómenos favorecen el ataque de royas en variedades de trigo propias de zonas frías.

En las zonas frías de Colombia, a las alturas donde es predominante el cultivo del trigo, las temperaturas promedio son de 12° C a 17° C, con una precipitación anual de 600 a 1000 mm (Zapata, Lopez y Varela, 1972). Los mejores resultados se obtienen con precipitaciones de 600 a 800 mm bien distribuídos, es decir, con lluvias inferiores a 150 mm por mes en la fase de espigamiento a madurez completa.

Par zonas donde la precipitación es escasa y concentrada en pocas semanas, hay variedades recomendadas como, por ejemplo, Miramar 64.

En Nariño, donde se concentra el mayor volumen productivo, se esperaba en 1972 (Min. de Agricultura, 1972) un rendimiento de 1300 kg/ha. Solo se obtuvieron 1100 kg/ha debido a las condiciones ambientales adversas durante la floración y la maduración del grano, a lluvias imprevistas y continuas y a fuertes cambios de temperatura que causaron vaneamiento. Además, en algunas zonas se presentaron fuertes ataques de amarillamiento viroso, pudrición radicular y manchas de la espiga.

En Cundinamarca y Boyacá también se presentaron condiciones meteorológicas adversas, tales como heladas y lluvias excesivamente fuertes durante el primer semestre. Durante el segundo semestre se siembra poco trigo en estos dos departamentos. Las condiciones fitosanitarias fueron regulares, si bien siguen incidiendo significativamente los ataques de pudrición radicular, especialmente en Cundinamarca.

En sitios como en Tibaitatá, Cundinamarca, se tiene un ambiente relativamente tibio. Aquí la germinación del grano con una buena humedad del suelo, toma de siete a ocho días, y se atrasa unos dos días más en las partes más frías.

El promedio de temperatura ambiente para Cundinamarca y Boyacá es alrededor de 13.5° C. En la parte norte de la sabana de Bogotá durante la antesis, si hay vientos calientes se produce el vaneamiento del grano. Por otra parte las variedades Bonza 63, Miramar 64 y Tiba 63, cultivadas desde 2200 m a 2800 m, tienen resistencia al vaneamiento. En conexión con estos estudios, sería interesante establecer el grado de resistencia varietal independiente de otros caracteres, como precocidad, por ejemplo.

En los altos páramos colombianos no se presentarían granizadas a la misma elevación, tal como ocurre en el altiplano peruano y boliviano, que son un serio riesgo para los pequeños cereales.

El trigo tiene dos épocas de siembra. La principal es en el primer semestre del año. En esta época se siembra casi el 80% del total cultivado. Por no presentarse heladas, los rendimientos de esta primera época son los mejores por la cantidad y calidad de grano cosechado. Esta primera se llama de "año grande". En suelos sueltos se recomienda sembrar en la primera semana de marzo, antes de iniciarse el período lluvioso o cuando hayan caído las primeras lluvias. En cambio, en suelos pesados la siembra debe hacerse antes de iniciarse las lluvias para facilitar las labores de la siembra. La siembra de marzo corresponde a la recomendación óptima. Sin embargo puede adelantarse o retrasarse esta fecha, sea a febrero o abril según los lugares.

La siembra del segundo semestre, o "mitaca", se hace a fines de agosto o principios de septiembre. En esta segunda época se corre el riesgo de que el trigo sea afectado por las heladas de diciembre y enero, que afectan los rendimientos tanto en peso como en calidad. La helada de febrero de 1972 fue de -4° C y en 1973 la más fuerte llegó hasta -7° C. Estas heladas afectan a los granos en mayor o menor medida, de acuerdo al estado en que encuentren, sea el estado lechoso o el pastoso: en estos casos se dice que el grano se "chupa".

Hay sitios en que no se presentan estas heladas durante el segundo semestre, si se hace la siembra de "mitaca" se recomiendan las variedades precoces Tiba, Tota y Miramar, cuyos ciclos productivos fluctúan entre 145 y 155 días.

En zonas altas del norte de Santander, en Fontibon, El Tirrayo, a 3100 m, hay trigos que se siembran en julio-agosto y se cosechan a los seis meses, en diciembre-enero.

La cosecha de lo sembrado en el "año grande" se hace a mediados de agosto.

Las pudriciones de grano se presentan cuando el grano se cosechó con más del 18% de humedad y mezclado con malezas verdes. Por lo tanto, los lotes en esas condiciones deben beneficiarse el mismo día. Las mejores recolecciones del grano corresponden a los días asoleados, en que los granos tienen un 14% de humedad y están libres de malezas. Sin embargo, las normas de comercialización de IDEMA en 1972 se ajustan a los requerimientos que aparecen en la primera fila y las tolerancias de recibo están dadas en la segunda fila.

$/ton	Puntaje	% Humedad	% Impurezas
2400	71	15	3
-	67	22	15

Si la humedad es mayor a 18%, el IDEMA acepta trigos hasta de 65 puntos.

La cosecha de lo sembrado en el segundo semestre se hace en marzo. En algunos sitios de Pasto esta cosecha de marzo corresponde a siembras tardías del segundo semestre, o sea a octubre.

En Ecuador, Escobar (1972) hace un análisis de los factores meteorológicos como lluvia, temperatura, horas luz y humedad relativa y su relación con el cultivo del trigo. En este análisis se comparan los datos promedios de estos elementos con los correspondientes a 1971, que son considerados "anormales" en la estación experimental de Santa Catalina a 3058 m, principal centro de investigaciones en trigo en el país.

De este estudio, se han extraído algunos valores y comentarios y se los ha combinado con otros datos que muestren, para Santa Catalina y otras zonas de cultivo de trigo, las "combinaciones" de factores meteorológicos que influyen el crecimiento y la producción del trigo.

En la tabla 130 se presentan los datos sobre lluvias en la Estación Experimental Santa Catalina desde enero hasta julio.

Valores promedios 1962-70

	$\bar{P}$	$\bar{n}$	$\bar{T}$	$\overline{Tx}$	$\overline{Tn}$	$\overline{ET}$
E	127	178	11.7	18.1	5.8	85
F	167	139	11.4	17.5	6.4	80
M	164	133	11.3	17.3	6.2	88
A	189	115	11.4	17.2	6.2	79
M	133	161	11.9	18.0	6.0	80
J	72	161	11.0	17.6	5.1	77
J	24	189	11.6	18.3	4.8	88
Suma/ promedio	876	1076	11.5	17.7	5.8	477

Valores por 1971

	P	n	T	Tx	Tn	ET	Tn abs.
E	224	153	10.8	17.7	5.9	71	2.7
F	302	108	10.1	17.1	6.6	62	3.5
M	287	96	10.5	15.9	6.9	68	3.8
A	111	140	10.4	17.3	5.1	74	2.9
M	108	150	10.5	17.1	6.1	71	3.0
J	154	162	10.3	17.1	5.2	68	2.9
J	5	215	10.5	18.2	4.4	81	1.8
Suma/ promedio	1191	1024	10.4	17.2	5.7	495	

Figura 130 Datos meteorológicos de Santa Catalina (Ecuador).

Resumiendo, se puede apreciar que en la Estación Experimental Santa Catalina llueve "normalmente" 876 mm.

Por lo general, en nuestro medio, el cultivo de trigo se realiza en la época de lluvia. Esto quiere decir que las mejores cosechas se obtendrán cuando la cantidad de humedad esté convenientemente distribuida durante el ciclo vegetativo, en el supuesto de que los otros factores climáticos hayan sido los óptimos para el desarrollo de la planta.

Las plantas de trigo requieren, desde la siembra hasta la floración, unos 350 mm más o menos.

Por otro lado, desde la siembra hasta la cosecha el cultivo requiere de 650 mm ± 50 mm de agua.

Es importante comprender cómo se usa esta agua en la producción de la planta. Si se supone una plantación de trigo con un ciclo de 180 días, la evapotranspiración actual Ea aumenta de un 25% aproximadamente de la ET después de la siembra, hasta una ET completa en la etapa de retoño, que llega a los 40-60 días. Se mantiene al 100% aproximadamente durante el brote y la floración, hasta que declina durante la etapa de maduración. Si se calcula Ea sobre períodos de diez días utilizando valores promedio de ET, se llega a una estimación de 370 mm para Ea. De este modo, alrededor del 60% del agua requerida (650 mm) se traspira y el resto se evapora directamente por el suelo y/o se filtra más allá de la zona de las raíces que, durante la etapa del desarrollo, tiene una profundidad limitada (gráfico131).

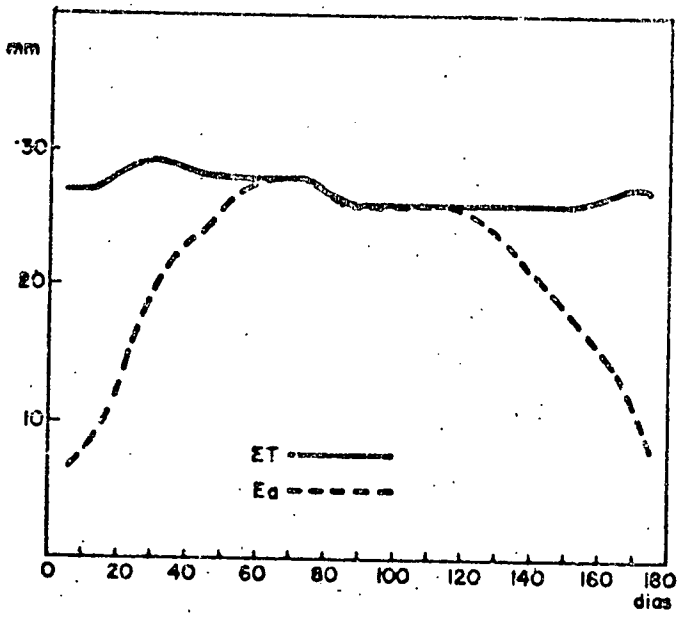


Figura 131 Evapotranspiracion potencial y actual de trigo.

En 1971 la cantidad total de lluvia para la estación cultural fue de 1190 mm, con un exceso de 540 mm sobre lo que la planta necesita.

Como una consecuencia del exceso de precipitación y la deficiente distribución de las lluvias durante el ciclo de la planta, los suelos no pueden ser bien preparados. Se producen empozamientos en terrenos planos o erosión en terrenos inclinados, los fertilizantes aplicados se lixivian, los herbicidas se lavan, las plantas se vuelven cloróticas, hay proliferación de malas hierbas, poco macollamiento, presencia de enfermedades, dificultad en la cosecha, granos de baja calidad; todo lo cual repercute en malos rendimientos. Además, el exceso de lluvias especialmente en el período crítico de la floración, dificulta la normal polinización, ocasionando una disminución de los rendimientos por efecto del vaneamiento.

Entre la precipitación y el número de horas de sol existe una relación inversa; es decir, que a mayor duración de las precipitaciones corresponden menos horas de sol.

En la tabla 130 también se presentan las horas de sol que ocurren en forma "normal".

Desde el punto de vista del cultivo, el trigo necesita de unas 1050 horas de sol aproximadamente para completar su ciclo. Cuando hay un déficit de horas, aunque sea en cantidad pequeña, la planta alarga su ciclo vegetativo, y si esta deficiencia diaria es marcada, la planta permanece en "estado de hierba" sin alcanzar la floración, o si llega a florecer, la polinización es deficiente, ocasionando la presencia de vaneamiento en las espigas.

Por otra parte, la incidencia de enfermedades es mayor cuando el trigo es cultivado bajo cielos nublados, los rendimientos son deficientes y la calidad del grano es baja.

Los dos factores mencionados anteriormente, precipitación (lluvia) y heliofanía (horas de sol), están íntimamente relacionados con la temperatura.

En la tabla130 se presentan los datos sobre temperatura, en grados centígrados, para la "normal" y para 1971. Además, las temperaturas promedios para máxima, mínima y la mínima absoluta para 1971.

En términos generales, se observa que se produjeron diferencias negativas entre la temperatura "normal" y la temperatura de 1971 para todos los meses, causadas principalmente por temperaturas máximas más bajas. La oscilación entre la máxima y la mínima es bastante amplia; va desde 10° hasta 14° C.

Uno de los fenómenos que más perjudican al cultivo de trigo, especialmente en la época de floración, es el cambio brusco de temperatura. Según la tabla130, la temperatura mínima fue de 5° C y la máxima de 18° C, en promedio, existiendo una fluctuación de 12° C. Si a esto se añade la presencia de temperaturas tan bajas como las que se registran en la columna "Mínima Absoluta", se pueden comprender los problemas que se presentan para la fecundación de las flores y por lo tanto, la presencia de espigas vanas, lo cual repercute en una disminución de los rendimientos.

En la tabla 132se da el número de unidades de calor que requieren las seis variedades comerciales, desde la siembra hasta la floración, de la floración a la madurez, y la suma total desde la siembra hasta la cosecha. Las unidades de calor son calculadas como días del ciclo multiplicados por las temperaturas respectivas.

Unidades de Calor

	Siembra-Florac.			Florac-Madur.			Siembra-Cosecha		
	"Normal"	1971	Difer.	"Normal"	1971	Difer.	"Normal"	1971	Difer.
Bonza	1012	915	-97	1196	1082	-114	2208	1997	-211
Crespo	1001	905	-96	1231	1113	-118	2232	2018	-214
Napo	920	832	-88	1185	1051	-134	2105	1883	-222
Atacazo	1122	1019	-103	1231	1113	-118	2353	2132	-221
Rumiñahui	1012	915	-97	1231	1113	-118	2243	2028	-215
Amazoans	966	874	-92	1265	1144	-121	2231	2018	-213

Figura 132. Unidades de calor requiridas por 6 variedades de trigo.

Si establecemos la diferencia del número de unidades de calor que existe entre la "normal" y 1971 - de la siembra a la floración - encontramos que para la variedad Bonza se presentó un déficit de 97 unidades, para Crespo 96, para Napo 88, para Atacazo 103, para Rumiñahui 97 y para Amazonas 92 unidades de calor.

Asimismo, si relacionamos el número de unidades de calor entre la "normal" y 1971, para el período de floración a la madurez comercial, observamos que Bonza ha recibido menos 114 unidades, Crespo menos 118, Napo menos 134, Atacazo menos 118, Rumiñahui menos 118 y Amazonas menos 121 unidades de calor.

Es decir que para ambas fases del cultivo hubo una manifiesta deficiencia en el número de unidades de calor que requiere el trigo para su normal desarrollo. Totalizando los déficits, vemos que Bonza tuvo 211 unidades menos que la "normal", Crespo 214, Napo 222, Atacazo 221, Rumiñahui 215 y Amazonas 213 unidades menos que la "normal".

¿Qué efecto tiene sobre el cultivo esta deficiencia del número de unidades de calor? El trigo necesita más o menos unas 2200 unidades (tabla 132), que se distribuyen de la siguiente manera: desde la siembra hasta la floración, aproximadamente 1000 unidades: este valor lo consigue en unos 90 días en promedio en la altitud de Santa Catalina (3058 m). Cuando se presenta una deficiencia en el número de unidades que le son necesarias, la planta alarga el período y queda expuesta a todos los factores ambientales adversos: exceso de lluvias, cambios bruscos de temperatura, heladas, granizadas, nubosidad, etc., que afectan a la fecundación de las flores.

Desde la floración a la madurez requiere 1200 unidades de calor. Como también se presentó un déficit para este período del cultivo, su completa madurez lo alcanzó en mayor tiempo que el normal, incidiendo nuevamente los factores desfavorables arriba mencionados.

Considerando que la cantidad de calor requerida sea aproximadamente constante en el rango de altitud de 2500-3000 m, se encontrará una gradiente de 0.3-0.4 unidades por día por cada 100 m de altitud, en comparación con una gradiente de temperatura de 0.5-0.6° C/100 m. En consecuencia, puede estimarse la prolongación del ciclo de crecimiento en 4-5 días/100 m. Sin embargo, los efectos de un aumento de altitud de 100 m, relativamente pequeño, pueden ser compensados, por ejemplo, por una exposición más favorable.

Hay que tener en cuenta, además, que el cero de la escala de temperatura biológica del trigo se encuentra a una temperatura media de 5-6°, por debajo de la cual no hay ningún crecimiento. El límite superior puede encontrarse por encima de los 28° C, cuando la planta puede aun crecer en forma satisfactoria, pero los grados en exceso de este valor no contribuirán, o lo harán sólo en parte, a la suma de calor.

También es interesante considerar el valor normal de precipitación para otras zonas de cultivo del trigo en la sierra ecuatoriana durante la temporada de cultivo de este cereal (tabla133).

Como puede verse, aunque el modelo de la distribución general de la precipitación pluvial mensual media sigue siendo más o menos el mismo en todas las zonas, la cantidad total de lluvia recibida puede variar muchísimo según las diferentes partes del país. Esto, a su vez, influirá fuertemente los potenciales de rendimiento, como ya se ha mencionado en el capítulo que trata de las variedades.

Estación	Enero	Feb.	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Total	Alt.
Tulcan	71	69	80	94	76	50	440	2950
El Angel	80	66	76	85	44	53	404	3055
San Gabriel	94	86	86	93	71	61	491	2860
Ibarra	46	49	63	110	73	41	382	2228
Santa Catalina	127	167	164	189	133	72	852	3058
Machachi	77	101	102	114	67	55	516	2950
Cotopaxi	87	100	141	163	121	74	686	3560
Latacunga	33	47	54	68	40	31	273	2809
Ambato	40	43	51	62	50	35	281	2540
Riobamba	26	40	47	54	32	33	232	2796
Cañar	49	63	67	68	31	39	317	3104
Cuenca	72	78	85	101	66	52	454	2562
Loja	83	84	100	86	50	59	462	2135

Figura 133 Datos de precipitacion para las zonas de cultivo de trigo en Ecuador.

Al sur de 1° latitud S, la mera precipitación pluvial puede no ser suficiente para cubrir la demanda efectiva de agua del trigo y el cultivo depende muchísimo de las condiciones locales, tales como el relieve y el manto del suelo, que pueden favorecer la acumulación de agua en la superficie.

Como en Ecuador se produce la transición de la zona de precipitación ecuatorial a la tropical, es interesante resumir los datos ofrecidos. Esto se registra en la figura , que da la distribución de la precipitación pluvial para las estaciones de montaña por encima de los 2200 m de altitud, basada en gráficos preparados por Schroeder (1965). La parte sombreada representa el período en que la precipitación pluvial mensual supera 1/12 del valor anual, que en el sur se reduce a 120-150 días. En el INIAP se han preparado mapas que muestran más detalladamente las zonas favorables para el cultivo del trigo en términos de temperatura y precipitación pluvial.

Es innecesario decir que la variación de la precipitación mensual o estacional de un año a otro tiene gran importancia, y culmina en la distribución de la lluvia durante los meses respectivos de la temporada de crecimiento. El papel de la capacidad de acumulación superficial de agua del suelo, esencial para cubrir los períodos secos, se ilustra en los gráficos que muestran los balances hídricos para períodos de diez días del año "seco" 1967 y el año "húmedo" 1971 para Izobamba-Santa Catalina (figura 134). El aumento en la exactitud con el uso de períodos de diez días se demuestra claramente cuando se compara estos balances con los de períodos mensuales que se muestran para los mismos años. Desgraciadamente se carecía de datos igualmente detallados para lugares que representan una zona más seca en el sur del país.

En Perú, la altitud óptima para el cultivo del trigo está en la Sierra Media, entre 2000 y 3200 m; las altitudes máximas van hasta los 3500 m. No se dispone de observaciones sobre la acción de la radiación solar ni de la exposición. En cuanto a heladas, éstas son más frecuentes en las partes planas y no tanto en las laderas de los cerros. El período más crítico es durante la espigazón, especialmente en la antesis en que se ocasionan fallas en la fecundación y durante la maduración del grano.

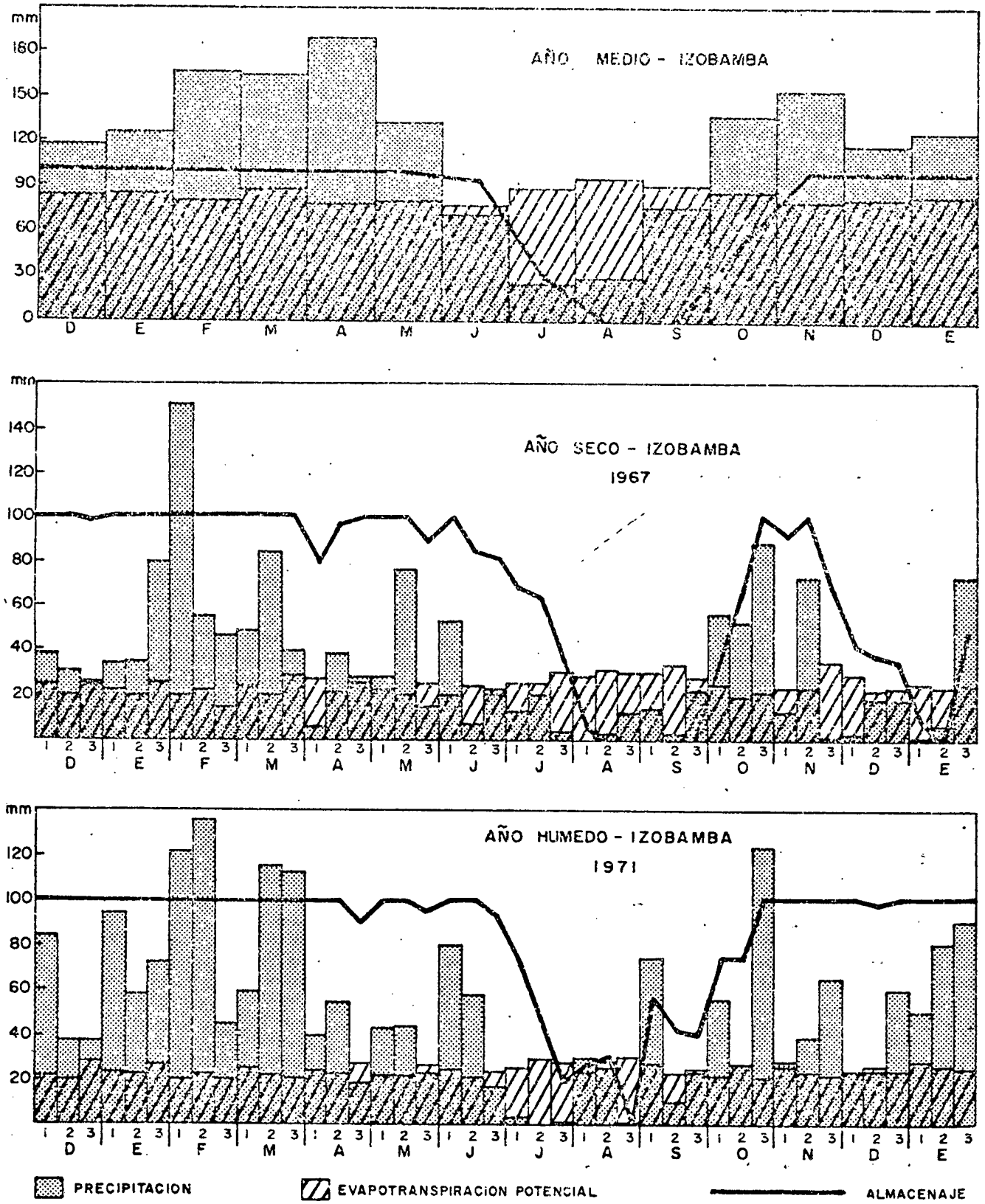


Figura 134 *Balances hídricos para Izobamba (Santa Catalina).*

Hay relación de épocas de siembra y cosecha con el sistema de cultivo que se haga, o sea el de secano, que es generalizado, y bajo riego, y el tercero que es una combinación de ambos. En el sistema combinado, parte del ciclo productivo se efectúa con lluvia y se complementa con riego hasta la cosecha.

Con una sola temporada lluviosa en Perú y Bolivia, que a veces se limita a menos de cuatro meses de duración, el tiempo de la siembra depende mucho más del inicio de las lluvias. En una serie de casos, de las tablas de las estaciones de referencia puede notarse que los meses que siguen al primer mes de la temporada de lluvias reciben menos lluvia. Los gráficos para Huancayo que se presentan en el capítulo sobre maíz ilustran esta variabilidad, pero hay que tener presente que, al tener un coeficiente anual de variabilidad notablemente bajo, esta estación no es muy representativa. En consecuencia, se puede esperar que la variación en las fechas de siembra sea también bastante amplia.

Transcribimos de Villanueva (1971) los detalles pertinentes: cuando el cultivo se realiza bajo lluvia o cultivo de secano, la siembra se hace en septiembre y octubre en Puno; en octubre o diciembre en Ancash, Junín, Huancavelica, Apurímac, Cuzco y Arequipa; en noviembre y diciembre en Cajamarca, La Libertad, Huánuco, Pasco, Lima, Ayacucho y Maquegua; en enero, febrero y marzo en Piura, Cajamarca, Amazonas, La Libertad, Ancash, Huánuco, Lima, Huancavelica, Ica, Ayacucho y Apurímac. Este amplio rango de siembra en la sierra, trae como consecuencia que la cosecha se realice desde mayo hasta septiembre (figural35).

Cuando el cultivo se efectúa con riego y lluvia, la siembra se efectúa en marzo y abril, obteniéndose cosechas en agosto, septiembre u octubre, como sucede en Cajamarca, Ancash y Arequipa.

Cuando el cultivo se efectúa sólo con riego, la siembra se puede realizar en abril, mayo, junio o julio, obteniéndose cosechas en octubre, noviembre, diciembre o enero, como sucede en Cajamarca, Ancash, Huánuco, Ica, Arequipa, Ayacucho, Apurímac, Moquegua, Cuzco y Tacna.

Cuando el trigo se siembra bajo riego, el número y la frecuencia de los riegos depende en primer lugar de las condiciones del terreno bajo cultivo. Así, por ejemplo, si se trata de terrenos sueltos y poco retentivos, la frecuencia de los riegos será mayor que en los terrenos arcillosos. Se recomienda que los riegos sean cortos, con poco volumen de agua, o sea, ligeros, ya que los riegos pesados con excesos de humedad son perjudiciales para el trigo. Para terrenos ligeros un buen intervalo entre riego y riego es de 15 días y, para terrenos pesados, de 20 días.

En las condiciones bolivianas, el resultado de la cosecha depende en gran medida de la precipitación pluvial. La precipitación durante los primeros tres meses es decisiva. Después del arado y de la siembra, se necesitan alrededor de dos meses para que la cosecha alcance su altura definitiva, poco antes de lo cual se produce la floración. Una sequía en este período puede provocar un serio fracaso en el desarrollo.

De las tablas que dan las probabilidades de lluvia para las estaciones de referencia, se puede concluir que uno de cada tres a cinco años puede llevar a un fracaso parcial o completo de la cosecha debido a cantidades totales bajas o a un serio intervalo de sequía durante el ciclo.

Departamentos	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
a) Siembra y cosecha de trigo en la Sierra (con riego)												
Sierra Norte												
Cajamarca				x	x	x			o	o	o	o
Ancash				x	x				o	o		
Sierra Central												
Huánuco	o			x	x	x	x		o	o	o	o
Ica				x	x				o	o	o	
Ayacucho	o			x	x	x	x		o	o	o	o
Sierra Sur												
Apurímac				x	x	x			o	o	o	o
Moquegua				x	x	x			o	o	o	o
Tacna				x	x	x			o	o	o	o
Cuzco					x	x				o	o	
Arequipa	o			x	x	x	x		o	o	o	o
b) Siembra y cosecha de trigo en la Sierra (con lluvia y riego)												
Sierra Norte			x	x				o	o	o		
Cajamarca			x	x				o	o	o		
Ancash			x	x				o	o	o		
Sierra Sur												
Arequipa			x	x				o	o	o		
c) Siembra y cosecha de trigo en la Sierra (con lluvia)												
Sierra Norte												
Piura	x	x	x			o	o	o				
Cajamarca	x	x	x		o	o	o	o			x	x
Amazonas	x	x	x			o	o	o				
La Libertad	x	x			o	o	o				x	x
Ancash	x	x	x		o	o	o	o		x	x	x
Sierra Central												
Huánuco	x	x	x		o	o	o	o			x	x
Pasco					o	o	o			x	x	x
Junín					o	o	o			x	x	x
Lima	x	x	x		o	o	o	o			x	x
Huancavelica	x	x			o	o	o			x	x	x
Ica	x	x	x			o	o	o				
Ayacucho	x	x	x		o	o	o	o			x	x
Sierra Sur												
Apurímac	x				o	o	o			x	x	x
Cuzco					o	o				x	x	x
Puno					o	o			x	x		
Arequipa				o	o	o				x	x	x
Moquegua					o	o					x	x
d) Siembra y cosecha de trigo en la Costa (con riego)												
Zona:												
Norte				x	x			o	o			
Central					x	x	x		o	o	o	
Sur					x	x	x		o	o	o	

x = Fecha de siembra o = Fecha de cosecha

Fuente: Villanueva

Figura 135 Fechas de siembra y cosecha en Perú.

Otro riesgo, aparte de la precipitación insuficiente, son los chubascos intensos combinados con granizo, mientras que en más elevadas altitudes pueden presentarse temperaturas bajas y heladas incluso en medio de la temporada de crecimiento.

Con variedades mejoradas se obtienen rendimientos superiores aun en condiciones desfavorables. En la Estación Experimental Agrícola Chinoli, a 3400 m de altitud, se realizaron experimentos con seis variedades mejoradas. A continuación se consignan los resultados para la temperada 1966-67, que fue más bien seca (estación de referencia: Puna).

	Promedio	Mínimo	Máximo
Ciclo de crecimiento, días	134	123	139
Altura de las plantas, cm	54	40	72
Rendimiento, kg/ha	930	687	1227

A pesar de la baja precipitación pluvial a través de la temporada, el rendimiento obtenido fue aun alrededor de un 25% más elevado que la media nacional. Durante la misma temporada se efectuaron experimentos con seis variedades internacion les en La Tamborada, a 2750 m de altitud (estación de referencia: Cochabamba). En este caso el mes de enero fue particularmente seco, pero seguramente había cierta cantidad de agua almacenada durante diciembre. Los resultados fueron los siguientes:

	Promedio	Mínimo	Máximo
Ciclo de crecimiento, días	134	128	138
Altura de las plantas, cm	57	44	82
Rendimiento, kg/ha	2017	1533	2433

Estos resultados indican tanto los efectos de las variedades mejoradas como la diferencia de altitud entre las dos estaciones de investigación, mientras no se observa diferencia en la duración del ciclo vegetativo. Algunos datos correspondientes estimados para el período del 20 de noviembre al 10 de abril son:

	$\overline{T}$	$\overline{Tx}$	$\overline{Tn}$	Eact	Unidades de calor
Chinoli	13.9	20.4	7.5	370	1870
La Tamborada	18.5	25.9	11.1	400	2470

Aunque se refiere únicamente a un solo período y a diferentes conjuntos de variedades, se puede concluir que las variedades mejoradas localmente tienen un ciclo notablemente corto en la medida en que la suma de calor en tal período está considerablemente por debajo del promedio. La evapotraspiración efectiva estimada es aproximadamente la misma que para las variedades de 180 días a 3000 m en Ecuador, cultivadas a temperaturas algo más bajas así como a niveles de radiación más bajos.

Para resumir este capítulo, hemos reunido la mayor cantidad posible de información sobre la duración del ciclo de crecimiento en relación con la altitud. Para indicar en líneas generales las condiciones climáticas prevalecientes, la información está relacionada también con las altitudes, tal como lo sugiere Trojer (información personal), figura 136. Existe una considerable diferencia en la duración del ciclo, debida tanto a la variedad como a la altitud. Aquí, un punto importante es que las etapas de

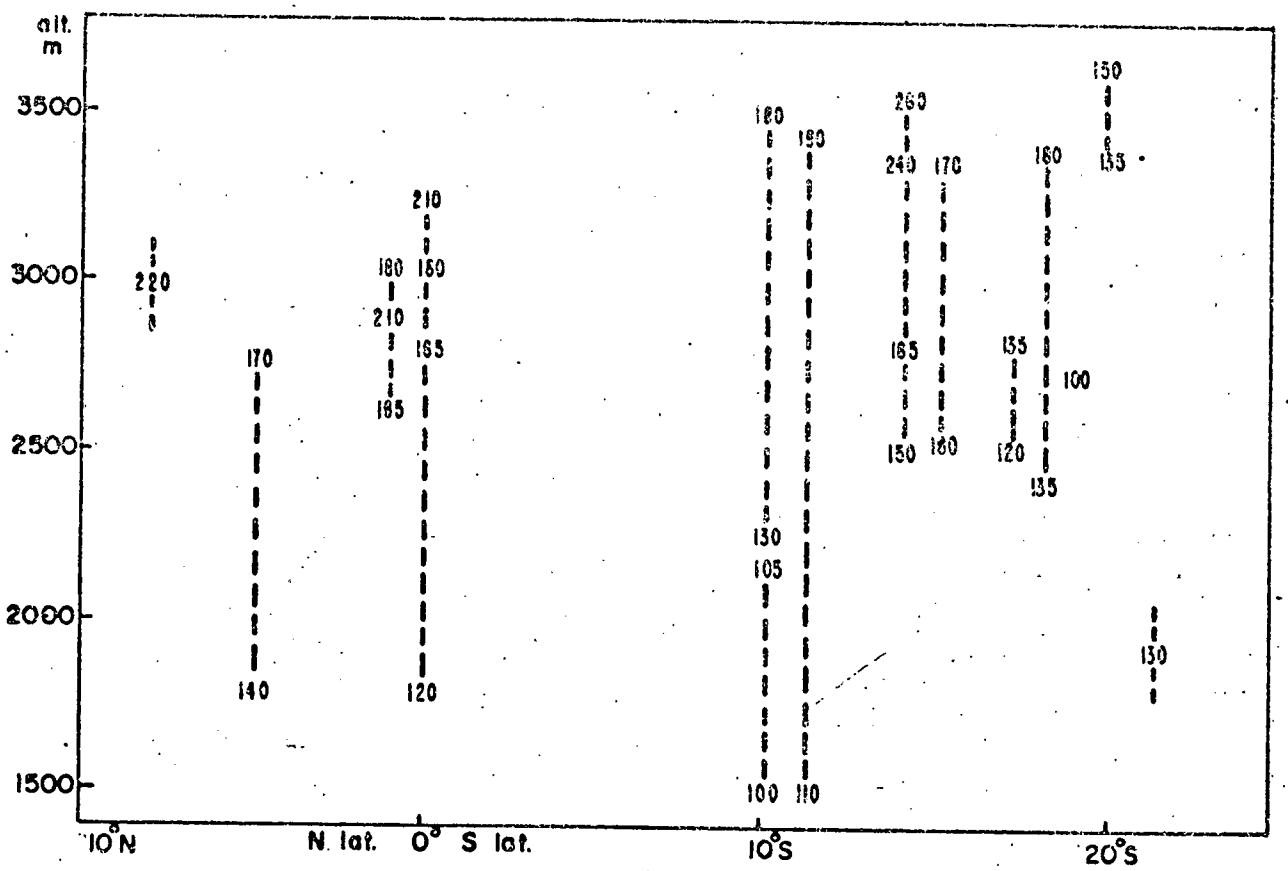


Figura 136 *Duracion del ciclo vegetativo de trigo.*

desarrollo durante el ciclo no tienen la misma duración cuando la misma variedad se cultiva a una altitud diferente. La más decisiva, de la germinación hasta la floración, difiere con la longitud total del ciclo. La introducción necesaria de nuevas variedades, así como el mejoramiento de variedades locales, necesita atención particular con respecto a la adaptación a diferentes altitudes dado que influye sobre la composición relativa del complejo de su medio ambiente.

5. Enfermedades y plagas de la planta

El trigo no es afectado por muchas enfermedades en las montañas andinas, excepto por las diferentes variedades de roya, que en particular durante los períodos anormalmente húmedos pueden tener gran importancia, en escala local, en los rendimientos.

En Colombia, en el cuadro 126, en que se presentan las características varietales, aparecen la mayor parte de las variedades desarrolladas en el ICA como resistentes a Puccinia glumarum. En cambio no se tienen variedades resistentes a las pudriciones de raíz y espiga, aunque hay tres con cierta tolerancia: Tiba, Tota y Samacá.

En Fontiban, norte de Santander, a 3100 m, se observaron ataques de carbón y mildew.

Como factor limitativo de la producción, se considera las plagas de poca importancia.

En Ecuador, las royas son el factor limitativo de mayor importancia entre las enfermedades. Existe una correlación entre altitud, latitud y la clase de roya predominante. Dentro de las fajas altitudinales en que aparece el trigo se mencionan (Montoya, H., 1973, inf. pers.) al N y S del nudo de Azuay dos zonas de cultivo,una "alta" y otra "baja". Así P. glumarum es más grave en la zona alta sobre los 2800 m al norte del nudo y sobre 2200 m al sur del nudo. P. graminis en la zona "baja", debajo de los 2800 m al norte del nudo y debajo de los 2200 m al sur de tal nudo. En todo este callejón interandino anualmente se establecen veinte ensayos regionales que dan información sobre la zonificación varietal en lo referente a su ratificación, discontinuación y sustitución en los cultivos.

Durante el cuatrienio 1966-69 se han conducido estos ensayos regionales en el callejón interandino en forma contínua. Los resultados sobre las seis variedades comerciales de trigo en lo referente a resistencia a royas, rendimiento unitario y la zonificación aparece en el cuadro sobre royas y los gráficos complementarios sobre variedades, provincias recomendadas para cada variedad y las altitudes óptimas de cultivo.

En cuanto a royas y zonificación, se concluye en las siguientes recomendaciones:

En la zona "baja" de cultivo no deben sembrarse:

Variedad	Provincia excluída
Amazonas	Carchi, Imbabura, Pichincha
Atacazo	Carchi, Cañar
Crespo	Carchi, Imbabura, Pichincha, Cotopaxi, Tungurahua
Napo	Carchi

En la zona "alta" de cultivo, Bonza se excluye de toda la zona, y Amazonas se la restringe a Bolivar. Para las otras variedades se recomienda lo siguiente:

Variedad	Provincia excluída
Atacazo	Loja
Crespo	Carchi, Imbabura, Pichincha, Cotopaxi, Tungurahua, Chimborazo

Crespo a pesar de ser susceptible a royas se la mantiene por sus rendimientos.

En cuanto a latitud, en las provincias del sur como Cañar, Azuay y Loja hay variedades cuyo cultivo se recomienda hasta una altura de 1400 m. Esta altura, para la Sierra de Ecuador, sería lo mismo recomendada en el cultivo comercial de trigo.

En cuanto al comportamiento de las variedades colombianas en las condiciones de Santa Catalina, ellas se muestran muy susceptibles a P. glumarum o roya de las glumas y P. recondita o roya de las hojas.

La roya negra es una de las más virulentas. Destruye el 80% del cultivo en ataques severos y ataca desde la Costa hasta la Sierra a alturas de 2500-3000 m.

La roya de las glumas es la roya de altura y ataca desde los 2000 m a los 3400 m. En ataques severos afecta del 80 al 100% del cultivo. En los últimos años se observó el endosperma destruído por efecto de este ataque. Para ambas royas existen variedades mejoradas resistentes.

La roya de la hoja va desde la Costa a los 2000 m. En ataques fuertes afectan del 10 al 20% de los cultivos. Sus daños se manifiestan en la interrupción de la fotosíntesis.

La experimentación conducida en años consecutivos en las principales zonas de producción data de hace 15 años. Se presenta esta información a continuación, transcrita de Villanueva (1970), donde aparece el grado de infección observado en cada una de las royas.

En Quispampa, Huancabamba, Piura, las infecciones de roya del tallo varían entre muy fuertes y moderadas; la roya de las glumas es nula y en algunos años se presenta la roya de las hojas.

En el departamento de Cajamarca, en las provincias San Marcos, San Miguel, Cajamarca, Santa Cruz y Cajabamba, en roya del tallo hay predominio de infecciones fuertes y muy fuertes; en roya de la gluma predominan las infecciones ligeras y nulas y en roya de las hojas hay infecciones fuertes y ligeras en las zonas bajas, no presentándose infecciones en la mayoría de años.

En Ancash hay correspondencia de severidad entre las royas del tallo y de las glumas en tres años: 1959, 1960 y 1961, y en 1966 en altitudes entre 3000 y 3500 m. Pero en altitudes menores de 2300 m predominan las infecciones fuertes de roya del tallo y ligeras o nulas de roya de la gluma. En algunos años hay infecciones ligeras y fuertes de roya de las hojas especialmente en zonas bajas, 2280 m, siendo nula la infección de esta roya en la mayoría de los años.

En Andahuaylas hay correspondencia en las infecciones de las royas del tallo y de las glumas durante once años, con excepción de 1966 en que hubo una infección muy fuerte de roya del tallo y nula de roya de las glumas. La infección de roya de las hojas ha sido siempre nula.

En Cuzco, los sitios donde se hicieron los estudios no sólo difieren en altitud sino que aquí, a diferencia de Junín, hay una serie de microclimas. Aquí hay correspondencia en las infecciones de las royas del tallo y de la gluma durante diez años, con excepción de 1958 y 1960, en que las infecciones de la roya del tallo fueron nulas y muy fuertes las de la gluma. La roya de la hoja fue nula en los doce años.

En Huánuco los ataques de roya del tallo son fuertes o moderados a altitudes entre 1850 y 2040 m. En estas mismas altitudes la infección de roya amarilla es nula o ligera y la roya de las hojas son fuertes, moderadas o ligeras. Cuando la altitud es de 3000 m, la roya de la gluma es fuerte y nula la del tallo y de la hoja.

En Ayacucho, la roya del tallo es muy fuerte, la de la gluma es moderada, ligera o nula. No se tienen datos sobre roya de la hoja.

En base a esta información se presenta en el gráfico 137 la distribución altitudinal de las royas en Perú, que en su forma general es válida para la mayor parte de la región.

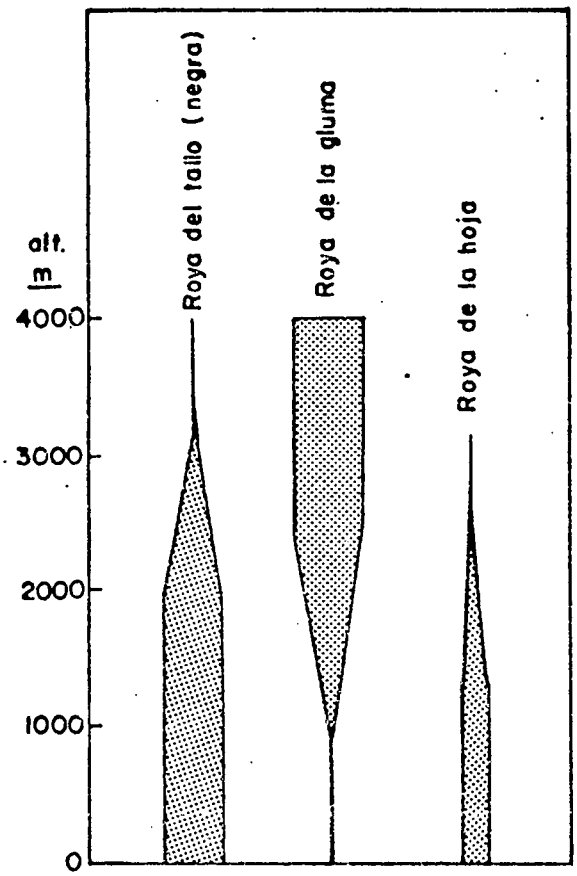


Figura 137 Distribucion altitudinal de las royas.

Por otra parte Villanueva informa que los trigos peruanos han sido incluídos desde 1953 y 1958 en el International Spring Wheat Rust Nursery y han sido probadas en sesenta y dos localidades de treinta y tres países de los cinco continentes, habiendo demostrado resistencia especialmente a roya negra.

El mismo autor informa sobre los ensayos regionales de rendimiento en Perú, realizados en años consecutivos desde 1965 a 1967 en ocho departamentos de la Sierra: Piura, Cajamarca, Ancash, Huánuco, Junín, Ayacucho, Apurímac y Cuzco. En promedio intervienen nueve variedades y los rendimientos experimentales promedios para los tres años son superiores para las variedades mejoradas. Estos ensayos alcanzaron los pisos más bajos en Huánuco, 1850 m, Quispampa, Piura, 1900 m, y los más altos en Cuzco, 3400 m.

En lo relacionado con las variedades mejoradas resistentes a royas, de las diecisiete recomendades para el país, una decena corresponden a la Sierra, estando incluídas entre éstas cinco creadas especialmente para determinadas regiones como Piura, Cajamarca, Ancash y Cuzco. La adaptación altitudinal de estas variedades se da en el cuadro en que aparece el ciclo productivo de cada una de ellas y donde se registra su comportamiento frente las razas de royas prevalecientes en cada zona triguera.

En la Sierra del Perú existe una incidencia casi paralela en grado de ataque de las dos principales enfermedades del trigo, como son las royas del tallo o negra de las glumas. Aquí se presentaría una situación de excepción en relación con los otros países andinos, donde la roya de las glumas es un problema comun en sus partes altas. Indudablemente, no disponemos de toda la información pertinente sobre estas royas, como sería la evaluación del germoplasma internacional de trigo referente a esta enfermedad. Pero la impresión de tipo general que tenemos nos hace pensar que en las condiciones de la Sierra peruana existe una ecología muy particular para poder evaluar las variedades que se vienen creando en las estaciones experimentales establecidas a lo largo de la Cordillera de los Andes, desde Mucuchíes en Venezuela hasta Tarija en Bolivia, que sin embargo, en términos de una investigación "nacional", es bastante restringida si se considera los actuales problemas de alimentación que se tienen dentro del ámbito andino. La superación de esta acción restringida mediante proyectos cooperativos internacionales podría tener importantes proyecciones para los países andinos.

Las plagas más importantes son los insectos que atacan a los granos almacenados. Las principales son dos: Calandria granaria y Sitotroga cerealera. Para el segundo, se da su ciclo biológico para la Costa central.

Los áfidos, posiblemente Rhophalosiphum maydis, en algunos años como 1964-65, se presentaron en la Sierra con graves ataques y las variedades Gloriabamba y Helvia Ken parecen ser las más resistentes.

En Bolivia, se informa de ataques de roya negra del tallo y a altitudes mayores de roya amarilla de la gluma en enero y febrero, mientras que las plagas están prácticamente ausentes.

6. Conclusiones y recomendaciones

Parte de las recomendaciones pueden ser válidas para la cebada y algunas que se dan para el maíz se pueden aplicar a los pequeños cereales.

Los investigadores agrícolas constituyen una élite dentro de la profesión, tanto por la naturaleza de sus actividades como por los grados académicos alcanzados. Por tanto, se debe esperar de ellos una acción creadora que se proyecte fuera de los límites nacionales.

Es mejor si tal acción se inicia por iniciativa propia antes que por patrocinio internacional. Hay necesidad de formar una conciencia, no solamente técnica sino también socioeconómica, sobre las necesidades regionales, para que este importante grupo humano se proyecte continentalmente. Una vez que se generan los programas integrados de cooperación andina, los organismos internacionales y regionales tienen la obligación de apoyarlos.

a) El número de investigadores en trigo de los países andinos llega a treinta y seis en 1973. Un 80% de ellos está comprometido en proyectos específicos que se desarrollan a lo largo de la cordillera de los Andes, desde Mucuchíes en Venezuela a Tarija en Bolivia.

b) Estos proyectos específicos tienen un enfoque restringido; se sigue un criterio muy local por falta de relaciones "sobre el terreno" entre investigadores experimentados y jóvenes. Por ejemplo, en lo relacionado a la creación y adaptación de variedades, estudio de royas, ensayos agronómicos, estudios fenológicos, etc.

c) Los proyectos cooperativos internacionales en trigo se refieren mayormente a la colaboración de los programas nacionales de investigación en la evaluación del International Wheat Rust Nursery. Sería deseable que a nivel de países andinos se elaborara un proyecto para el estudio de las principales royas, por ejemplo. Esta posibilidad fue discutida positivamente con varios investigadores.

d) En conexión con el punto anterior habría necesidad de incorporar patólogos, fisiólogos, fenólogos y agrometeorólogos en los equipos de investigación.

e) Los ecotipos sobresalientes en rendimiento y precocidad, resistentes a heladas y granizadas que existen al sur de los Andes, especialmente en cebada, no se están aprovechando dentro de un criterio regional de selección. Igualmente, en trigo hay variedades resistentes al "vaneamiento" y a granizadas en el norte del Ecuador.

f) Hay coincidencia de problemas en las partes altas, por ejemplo en Puccinia glumarum. Esto se informa continuamente en las reuniones de ALAF, pero no se avanza más allá del marco investigativo y académico.

g) Hay necesidad de cooperación técnica e institucional a nivel de países andinos para respaldar algunos esfuerzos nacionales en la expansión del cultivo de trigo, tanto en la Sierra como en las partes bajas.

h) En cebada, se dan pautas para conformar los registros fenológicos, sobre la base de algunas experiencias nacionales.

j) Los informes de organismos internacionales que niegan toda capacidad a los pequeños agricultores para aumentar la producción y productividad de cereales, conviene revisarlos y cotejarlos sobre el terreno.

REFERENCIAS - TRIGO

Bejarano, W. y Schwartz, M. 1972 — Fertilización de papa, maíz y trigo y costos de producción.

Brandolini, A. 1963 — En: Italconsult, Elementos para la programación agropecuaria del Ecuador. Min. de Fomento, Quito.

El Peruano 1973 — Aprobación de importaciones agropecuarias para 1974. Nov. 8

Escobar, R. 1972 — El cultivo de trigo y su relación con el clima. Inst. Nac. de Investigaciones Agropecuarias, Boletín Divulgativo S C/72 no.1

Italconsult 1963 — Elementos para la programación agropecuaria del Ecuador. I Desarrollo de Cereales. O.E.A. Junta Nacional de Planificación y Coordinación Económica. Min. de Fomento, Quito.

Lizarraga, R. 1970 — Comentario sobre la industrializacion del trigo en el Perú. En Anales de la I Convención Nac. del Trigo.

Ministerio de Agricultura 1972 — Programas agrícolas. Evaluación 1971-72. Programación 1973. Proyecciones 1974-75. Oficina de Planeamiento del Sector Agrícola, Bogotá

Mittelholzer, A.S. 1966 — Resultados de ensayos de trigo y cebada realizados por la estación experimental de Mucuchíes en 1964. "Agronomía Tropical", Vol. XVI no.4

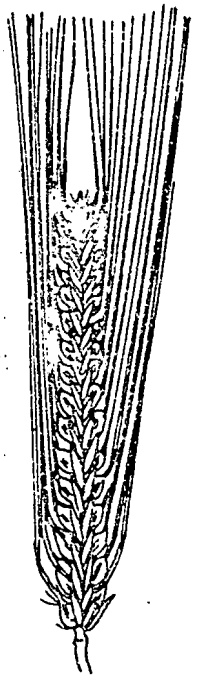
Programa Nacional de Granos 1973 — Encuesta nacional de producción de trigo año agrícola 1972-73 (estimado). Quito.

Schroeder, E. 1965 — Estudios sobre los recursos hidráulicos del Ecuador.

Villanueva, R. 1970 — La investigación del trigo en el Perú: sus problemas y soluciones. En Anales de la I Convención Nac. de trigo

Villanueva, R. 1971 — Cultivo de trigo. Min. de Agricultura. Boletín 15

Zapata, M., Lopez, R y Varela, D. 1972 — El cultivo del trigo en Colombia. En: Inst. Colombiano Agropecuario, Programa Nac. de Trigo. Tibaitatá



XV. CEBADA

1. Introducción

Cebada y trigo conviven en las tierras altoandinas desde la Conquista española. Durante la época colonial se introdujeron las variedades de España, que han desaparecido, pues ha habido una introducción y selección continua, que ha cambiado varias veces la composición varietal.

Los cultivos de cebada en los países andinos se han establecido principalmente para suplir la industria cervecera. La utilización de la cebada en la alimentación humana, en la cervecería y como forraje han extendido su cultivo en los niveles más altos de las tierras frías.

En pocos lugares de Bolivia y Perú la cebada se usa en la alimentación local. En Perú se destina el 85% de la producción para ese fin. En Ecuador, en cambio, tiene un papel más importante y se consume casi en el mismo volumen que el maíz. En Colombia cerca del 20% de la producción es para tal uso y el resto para cervecería, y en Venezuela la escasa producción de grano se destina a consumo humano y el total de las importaciones es para cerveza.

Los cultivos de cebada cuentan con mejores facilidades de crédito y asistencia técnica que los de trigo. Ambos, sin embargo, requieren en los Andes de fuertes insumos: fertilizantes, semillas mejoradas, pesticidas, que no están al alcance del pequeño agricultor. Por eso hay la tendencia a producirla en haciendas grandes, en que es factible el cultivo mecanizado y el control químico de enfermedades y plagas.

2. Producción, rendimientos e importaciones

La superficie cultivada, producción, rendimiento e importaciones de cebada por países es como se da en el cuadro138.

Las importaciones de Venezuela corresponden a malta, harina y extracto de malta y a cebada cruda, en ese orden. En cebada cruda se incluye cebada tostada cuyas cantidades son ínfimas (suma 43 ton en los 6 años). El valor promedio de las importaciones en el trienio 1968-70 es de alrededor de 9 millones de dólares anuales.

Por las cifras de producción e importación la cebada es un rubro deficitario en los países andinos, con la excepción de Bolivia que se autoabastece. En algunos años empeora esta situación por influencia de factores meteorológicos; así en Colombia, por la sequía de octubre 1972 a febrero 1973 se perdieron cultivos de cebada valorados en dos y medio millones de dólares.

	Superficie (miles ha)	Producción (miles ton)	Rendimiento (kg/ha)	Importación (miles ton)
COLOMBIA				
1967	61.0	95.2	1560	6.1
1968	47.0	74.8	1600	23.0
1969	49.0	76.5	1560	41.7
1970	52.0	93.6	1800	68.0
1971	65.6	118.1	1800	15.0
1971-72	26.0	39.0	1500	-
1972	38.0	59.0	1026	30.0

Fuente: OPSA - Programación

ECUADOR				
1969	137.4	90.3	658	-
1970	136.7	94.0	688	5.0
1971	136.0	97.9	720	-

Fuente: Ministerio de Agricultura y Banco Nacional de Fomento

PERU				
1969	181.7	163.6	900	18.1
1970	186.3	169.9	912	19.2
1971	182.7	158.8	869	28.4

Fuente: ONEC - Estadística Agraria

BOLIVIA				
1969	92.0	61.0	670	-
1970	78.0	62.0	790	-
1971	81.0	69.0	850	-

Fuente: FAO- Anuario de Producción

VENEZUELA

IMPORTACIONES

Año	Cebada (ton)	Valor cebada (miles bolivares)	Malta (ton)	Extracto y harina malta (ton)	Valor malta, extracto y harina (miles bolivares)	Valor total importaciones (miles bolivares)
1965	376	203	44,676	973	27,633	27,836
1966	431	168	45,315	957	27,996	28,164
1967	521	208	49,871	1110	31,193	31,401
1968	490	194	57,858	1331	36,360	36,554
1969	496	183	57,865	1184	33,794	33,977
1970	505	187	68,773	1207	38,565	38,752

Fuente: Anuario Estadístico Agropecuario 1970

Figura 138 Cebada; datos estadísticos.

En Venezuela la producción es insignificante y se estima que se mantiene más o menos constante el cultivo de unas 500 ha anuales en las partes altas de Trujillo y Mérida. Como consecuencia, Venezuela seguirá dependiendo de las importaciones de cebada y malta para la elaboración de cerveza.

En Colombia la producción está concentrada en tres departamentos, y en 1973 se cultivaban aproximadamente las siguientes superficies: Cundinamarca, Sabana de Bogotá, 40 000 ha, Boyacá, 25 000 ha y Nariño, 6000 ha. En Cundinamarca y Boyacá el cultivo está altamente tecnificado en fincas entre 35 y 640 ha. En cambio en Nariño predominan los pequeños agricultores y el cultivo se hace con métodos tradicionales.

3. Ecología del cultivo de cebada

3.1 Altitud

En Colombia la altura óptima de cultivo va de 2300 a 2600 m, donde se obtienen los rendimientos más altos y granos de óptima calidad. También hay rendimientos aceptables de 1800 hasta 3200 m. El límite máximo se considera 3400 m, independiente de la latitud, así sea en Pamplona al norte o en Nariño al sur. El límite inferior está a 1800 m. Experimentalmente se bajó hasta los 1000 m. Dada la inadaptación de las variedades ensayadas, se descarta la posibilidad del cultivo en climas calientes. El desarrollo de las variedades colombianas responde a esta realidad y aún no se tienen las variedades apropiadas para superar los 2800 m en forma ventajosa. Sin embargo, el Programa de Cebada del ICA no descarta las posibilidades de seleccionar los tipos adecuados para los páramos altos, como serían las cebadas precoces que lleguan a alternar en las rotaciones culturales de estas zonas. En este sentido, las expectativas son de expansión y están planteadas las medidas para llegar al autoabastecimiento y para poder generar excedentes exportables.

En Ecuador se cultiva en las partes altas de las diez provincias interandinas entre 2500 y 3600 m. La altitud óptima está entre 2800 y 3000 m. La mínima es de 2500 m y la máxima 3700 m, como en Carchi y Chimborazo, siempre que la luminosidad sea favorable.

Las provincias con mayores superficies son Cotopaxi, Tungurahua y Chimborazo, con rendimientos unitarios bajos, cuyos promedios nacionales aparecen en el cuadro respectivo. En estas provincias los que mayormente producen cebada son los pequeños agricultores, presentándose una situación algo similar a la del trigo. En las provincias Carchi, Pichincha y Bolivar los cultivos abarcan extensiones mayores, muchos están mecanizados y los rendimientos son más altos. Por ejemplo en Carchi, en la Hacienda Chitan, Montufar, a 3000 m con la variedad Galera en 40 ha se obtenía 1700 kg/ha sin fertilización. El 90% de la producción de Carchi se exporta a Colombia. En el trayecto de Riobamba (Chimborazo) a Cuenca (Azuay), a altitudes entre 3200 y 3400 m, en 1973 vimos los cultivos más extensos con cebada de 6 hileras en terrenos pobres, erosionados, con plantas de desarrollo limitado y bajo ataque intenso de un "carbón". La extensión longitudinal de estos cultivos iba desde las vecindades de Riobamba a Guamote en unos 50 km.

En Perú el cultivo de la cebada va a mayores alturas que en Colombia y Ecuador. Los departamentos de la Sierra que tienen las mayores superficies - datos para 1967 - son: Ancash, Ayacucho, Huancavelica, La Libertad, Cajamarca, Puno, Cuzco y Junín. Los cultivos son principalmente de secano.

Hay algo de riego, pero las diferencias en rendimiento por hectárea no son apreciables para ese año entre ambos sistemas. Los rendimientos de la Costa bajo riego sí son el doble del promedio nacional. Entre los departamentos citados los que tienen rendimientos más altos son dos: Junín, 1240 kg/ha a una altitud promedio de 3200 m, y Cuzco, 1110 kg/ha. En Ancash se tiene 935 kg/ha y el más bajo lo tiene Ayacucho con 700 kg/ha. Parece existir una relación más directa entre rendimiento y suelo. Entre Huancayo y Ayacucho a alturas de 3700 m, la cebada se asocia con habas.

En Bolivia los cultivos de cebada están por encima de los 1860 m. Las alturas más adecuadas deben estar desde 3000 m hasta 3900 m aproximadamente. En cuanto a superficie cultivada tradicionalmente, ocupa el primer lugar entre los cultivos de los valles y altiplano. En el altiplano, igual que en Perú, se cultiva tanto para grano como para forraje, y a medida que se asciende en altitud hacia la precordillera y la puna, se tienen microclimas hasta a 4200-4300 m. En estas condiciones, los cultivos que no alcanzan a dar grano quedan para heno. Sin embargo, los cultivos más defundidos en condiciones marginales son los de "berza" o sea para heno. Los departamentos que tienen las superficies más extensas con cebada son Potosí, La Paz, Oruro, Cochabamba y Chuquisaca. En una superficie bastante plana, como es el altiplano perú-boliviano, que se extiende aproximadamente desde la latitud 15° S hasta los 22° S con alturas que fluctúan entre 3700 y 3900 m, se encuentran los cultivos más extensos de cebada alternando con papa o quinua principalmente.

Esta situac ón que se presenta en Bolivia y Perú, o sea la de la marginalidad del cultivo de cebada en alturas mayores a 3900 m, coincide en cierta forma con la de los Andes en Venezuela. Aquí en 1973, por ejemplo en Mérida, en La Ovejera, a 3430 m, observamos los cultivos más altos de ese estado. Son microparcelas de cebada que alternan con las de papa y avena en pendientes pronunciadas con rendimientos bajos. Se estimaba alrededor de 1964 que entre Trujillo y Mérida se cultivarían unas 500 ha. Estos cultivos se mantienen mientras sean parte del sustento de los agricultores andinos. Pero la diferencia con el altiplano sur es que en Venezuela no hubo selección de ecotipos, como ocurre entre los agricultores del altiplano de Bolivia, por ejemplo. En las condiciones de Venezuela, en Mérida se observó el cultivo de cebada de 6 hileras con un ciclo productivo de 330 días en La Ovejera, que está en el trayecto de descenso de Pico de Aguila. Si comparamos este ciclo con los presentados para Bolivia, se concluye que el fotoperíodo por efectos de latitud juega un rol importante en la adaptación de ecotipos de cebada a lo largo de la cordillera de los Andes.

3.2 Precipitación

Tanto las lluvias abundantes como las sequías persistentes afectan a la cebada, pero en general la cebada es más resistente a la sequía que el trigo y la avena en las condiciones del altiplano. Los períodos críticos en que requiere agua son: germinación, macollaje, encañazón, espigazón y formación del grano.

En Colombia las zonas con lluvias de 800 a 1250 mm al año son las más apropiadas para su cultivo. La sabana de Bogotá tiene condiciones óptimas y se han obtenido rendimientos de 4 a 5 ton/ha. Estos rendimientos aparecen en los cuadros comparativos por países y Colombia tiene los más altos en que se reflejan la suma de factores ambientales y también las variedades. Durante el ciclo productivo caen unos 600 mm con lluvias que se inician en

Río TORITO en PASO LAS MANGAS

MES	AÑOS CLIMATICOS											Para el Período
	1940-41	41-42	42-43	43-44	44-45	45-46	46-47	47-48	48-49	49-50	1950-51	
GASTO MEDIO en m3/seg.												
Abr									0,28 +	0,26		0,27
May									0,31 *	0,27		0,29
Jun									0,54 *	0,30		0,42
Jul									1,18 *	0,56		0,87
Ago									1,55 *	0,70		1,13
Set									0,73 *	0,57		0,68
Oct									0,68	1,25		0,97
Nov									0,52	1,15		0,83
Dic									0,41	0,56		0,48
Ene									0,35	0,37		0,37
Feb									0,43	0,34		0,38
Mar									0,30	0,28		0,29
Año									0,61	0,55		0,58
VOLUMEN ESCURRIDO EN MILLONES de m3												
Abr									0,726	0,685		0,706
May									0,830	0,709		0,770
Jun									1,400	0,776		1,088
Jul									3,161	1,505		2,333
Ago									4,154	1,876		3,015
Set									2,027	1,489		1,758
Oct									1,820	3,356		2,588
Nov									1,356	2,970		2,163
Dic									1,093	1,500		1,296
Ene									0,965	0,983		0,974
Feb									1,037	0,839		0,938
Mar									0,803	0,739		0,771
Año									19,372	17,427		18,400
GASTO MAXIMO en m3/seg.												
Abr									-	0,45		0,45))
May									-	17,3		17,3))
Jun									-	9,95		9,95))
Jul									-	10,3		10,3))
Ago									-	31,2		31,2))
Set									1,17	15,2		15,2
Oct									2,10	41,9		41,9
Nov									0,85	11,5		11,5
Dic									0,48	4,79		4,79
Ene									0,57	2,23		2,23
Feb									0,66	1,05		1,05
Mar									0,57	0,78		0,78
Año									2,45))	41,9		41,9))
GASTO MINIMO en m3/seg.												
Abr									-	0,10		0,10))
May									-	0,08		0,08))
Jun									-	0,08		0,08))
Jul									-	0,20		0,20))
Ago									-	0,31		0,31))
Set									0,65	0,33		0,33
Oct									0,50	0,40		0,40
Nov									0,43	0,58		0,43
Dic									0,27	0,38		0,27
Ene									0,21	0,22		0,21
Feb									0,23	0,20		0,20
Mar									0,18	0,15		0,15
Año									0,18))	0,08		0,08))

febrero, marzo, abril y mayo y en junio un poco. La distribución de estas precipitaciones sería al azar. En otras zonas con precipitación menor, o sea en condiciones más secas, y en aquellas con mayor precipitación que la sabana pero bien distribuídas, se obtienen rendimientos y calidad de grano satisfactorios con la variedad adecuada a la zona. En el páramo, sobre los 3000 m, la concentración de lluvias en determinado período afecta irreparablemente los cultivos.

En Ecuador la demanda necesaria sería entre los 550-600 mm durante el ciclo, pero en las fajas cebaderas es mayor: de 900 a 1000 mm. El exceso de lluvias "achuza" el grano ("pumpless"). En zonas lluviosas arriba de los 3000 m, cuando la concentración de lluvias es de octubre a febrero, se recomienda hacer las siembras a fines de febrero. En Carchi, en San Gabriel, varía esta época porque la estación lluviosa es diferente: va de mayo a julio (ver gráfico de distribución de lluvia en maíz-Ecuador).

En Colombia se mencionan los riegos complementarios en períodos críticos de la planta, aunque sin cuantificarse. Por la fuerte evaporación sólo se aprovecharía la mitad del agua de riego. Se recomienda regar al atardecer, por la noche o por la mañana.

3.3 Temperaturas

En Colombia, en la zona óptima que está en Cundinamarca y Boyacá, el promedio de temperatura es de 14° C durante el ciclo vegetativo. En Nariño es de 12 a 13° C para alturas de 2600 m. En zonas donde varían estas temperaturas entre los 11° C y los 18° C se dan buenas cosechas. En veranos prolongados, o sea en sequía prolongada con altas temperaturas diurnas, hay un aceleramiento de la espigazón y la maduración que afectan los rendimientos. Por otra parte, temperaturas muy bajas o vientos muy fríos y secos producen el vaneamiento. Estos cambios bruscos de temperatura que se presentan en antesis, no alcanzan a formar grano por muerte del ovario y polen, quedando sólo las glumas. El vaneamiento es frecuente al norte de la sabana de Cundinamarca, en Sesquilé, Guasca, Gachancipá y Sopó. No se tienen variedades resistentes y con épocas de siembra tampoco se controlan sus efectos (R. Contreras et al, 1972).

Durante la maduración del grano las heladas o temperaturas inferiores a 0° C dañan tanto el aspecto físico como la calidad industrial del grano. Por este motivo, por encima de los 2900 m solo se siembra en el primer semestre, porque en la siembra del segundo semestre las heladas limitan la producción. De 2900 m para abajo se siembra en las dos épocas del año. Los agricultores tratan de controlar las heladas mediante el riego, la aplicación de abonos potásicos y el uso de fogatas. También se menciona que las plantas sufren más las heladas en suelos de alta fertilidad (Contreras, loc. cit).

En Ecuador la temperatura mínima es de 8° C y la máxima de 18° C, o sea que la cebada se cultiva entre estos rangos. La óptima varía de 12 a 15° C. La diferencia con Colombia estaría en la temperatura mínima. En algunas publicaciones la mínima la dan hasta 6° C en Ecuador (INIAP, 1972).

Al sur de los Andes, en Perú y Bolivia, hay regiones que tienen una fisonomía bastante semejante a las de Tibet y Nepal. En este "centro de adopción" la cebada parece comportarse como en su habitat original. La cebada crece más alto que el trigo, y en Bolivia y Perú es donde más se manifiesta esta rusticidad en comparación al trigo. La cebada no es tan

exigente como el trigo: tolera más la sequía, las bajas temperaturas, se adapta a los suelos pobres y los cultivos de cebada alternan bien con vegetación natural donde aparecen algunos Hordeum halófilos. En suma, las cebadas que se adaptaron a una agricultura de grandes riesgos como la que se practica en altitudes por encima de los 3800 m hasta unos 4300 m como máximo, tienen como atributo principal su precocidad en las condiciones ambientales del sur andino. Esta su precocidad en períodos críticos como la espigazón, antesis y formación de grano, le permite superar los efectos de las bajas temperaturas que no se presentan en períodos relativamente cortos. En este caso, no sería precisamente una "resistencia intrínseca" al frío, porque experimentos de cultivos de invierno en el altiplano de Bolivia (tal como aparece en trigo y dry-farming), que no son una práctica corriente, con variedades extrajeras de trigo de invierno, centeno, avena y cebada, dieron como resultado que la cebada era la más susceptible al frío en macollaje y que esta fase coincidía con las heladas más fuertes del invierno de esos lugares: estación experimental Belén, 3820 m, y Centro Rehabilitación Campesina, Pillapi, 3800 m.

La cebada, en el altiplano de Perú y Bolivia, principalmente desde Cuzco a Potosí, alcanza sus alturas máximas con cultivos para forraje. En tales condiciones los ciclos productivos se detienen en espigazón por efecto de heladas y sequía y como consecuencia no se obtiene grano. En muchos de estos parajes, a alturas menores, existen ecotipos cuyas características superiores han sobresalido en colecciones mundiales evaluadas en Beltsville por ejemplo; así recordamos el ecotipo desnudo Warisata y el de 6 hileras Sel. Bolivia. Sobre la utilización de todo este interesante material en los programas de mejoramiento genético se hacen recomendaciones en el capítulo de trigo.

En estos parajes las granizadas son un serio riesgo para el cultivo de la cebada para grano. En Belén, Pillapi y regiones vecinas nos tocó medir la frecuencia e intensidad de las granizadas y su efecto en las cebadas. En los ensayos exploratorios que se conducían en medio de los cultivos grandes, era notoria la resistencia al granizo de cierta intensidad de las variedades de dos hileras (H. distichum) como Campana procedente del sur de Brasil. La intensidad de estas granizadas afectaba a las cebadas de seis hileras más severamente que a Campana.

Finalmente, en estos parajes, por ejemplo en Perú, se han conducido importantes trabajos de preparación de raciones para engorde de ovinos y bovinos a base de paja de cebada en condiciones económicas. P. Rizzo y colaboradores (1967) reportan los resultados obtenidos en el frigorífico de Cabanillas, Puno, 3900 m.

En Catac, Ancash, aproximadamente a 4000 m de altitud, en 1973 se inician los estudios de resistencia al frío. Ahí se concentró la evaluación de unas 9400 entradas del germoplasma internacional, correspondiendo a Perú unas 1000 entradas. El Programa de Cereales de la Universidad Agraria La Molina actúa también en otros lugares, como Cuzco y Cabanillas, Puno (Montenegro, 1973, inf. pers.).

Con relación a la resistencia de la cebada a las heladas y a la frecuencia de las heladas en el altiplano boliviano, se señala que El Belen está fuertemente bajo la influencia de la masa de agua fría del lago Titicaca. Con la información contenida en el capítulo sobre temperaturas, es posible determinar, usando la relación entre temperaturas mínimas y días de helada, el riesgo medio de helada en cada mes. Aunque la frecuencia de

las heladas durante enero y febrero es baja, se producen en el período en que la planta es más susceptible. Surge además de los datos, que existe una cierta relación inversamente proporcional entre la cantidad de días de lluvia y la cantidad de días de helada, más pronunciada en aquellos meses en que la temperatura mínima promedio está por debajo de los 4° C aproximadamente. En ciertas condiciones puede existir una combinación de escasez de agua y heladas, que puede ser un factor limitativo más severo para el trigo que para la cebada.

La planta, como tiene un ciclo de crecimiento más corto y una resistencia superior a la sequía, sobrevivirá más fácilmente a un período de escasez de agua. También estará en mejores condiciones para soportar la helada durante tal período de escasez, aun cuando en otras circunstancias también puede ser afectada por la sola helada. Las heladas en la región septentrional de las montañas se analizarán en el capítulo sobre la papa.

Debe recordarse que siempre hay cierta diferencia de temperatura entre la altura de la caja termométrica y la altura de la planta. Aunque no se dispone de resultados de investigaciones sistemáticas, algunas mediciones indican que esta diferencia puede ascender hasta 3-4° C. Esto significa que a 4° C en la caja y sin que se registre helada a ese nivel, puede ser que haya helada al nivel preciso del suelo. Por supuesto, esto depende mucho de la exposición local.

3.4 Iluminación

La cebada responde positivamente a la mayor iluminación, que involucra mayor fotosíntesis. Naturalmente que este factor no actúa aisladamente, sino que concurren también otros, que se van analizando.

El ciclo productivo se prolonga en Colombia cuando una cebada de la zona óptima se lleva por encima de los 3000 m por ser la iluminación menor. Los páramos son más nublados y además para el alargamiento del ciclo influyen también las bajas temperaturas. La luminosidad en Nariño es mayor que en Cundinamarca y Boyacá. No existen estudios sobre fotoperíodo en cebada para Colombia.

3.5 Vientos

El vuelco debido al viento baja los rendimientos y deprecia el grano. Los mayores daños se producen en el período de encañazón. Si a los vientos se asocian las lluvias, los daños se acentúan. Los vientos secos y calientes pueden acelerar la maduración del grano durante su formación y los granos se "achuzan" y decoloran.

En Colombia, por este motivo, no se recomienda cultivar la cebada en faldas montañosas. En cambio se recomienda para los cultivos de trigo. Por otra parte, la excesiva preparación del suelo que no da un buen anclaje a la planta y las densidades altas de siembra, con retención excesiva de agua en el suelo, causan también el vuelco.

En Ecuador el vuelco afecta más a la cebada que al trigo. En las variedades mejoradas la altura óptima de planta de cebada es de 90 cm y la máxima de 100 a 110 cm.

4. Epocas de siembra y ciclo productivo

En Venezuela, en Mérida, La Ovejera, 3430 m, las cebadas criollas se siembran en la primera semana de marzo y tienen un largo ciclo de 330 días, que se completa en enero. Los rendimientos unitarios son bajos.

Las condiciones climáticas de cada región en Colombia son las que determinan las épocas de siembra. Por lo tanto, no se pueden establecer de manera precisa. A pesar de ello las siembras deben coincidir con las épocas de lluvias, pero teniendo en cuenta que la cosecha coincida asimismo con las épocas secas (Contreras, 1972).

Los agricultores han adoptado la costumbre de sembrar sólo cuando se inician firmemente las primeras lluvias, ya que las épocas de siembra recomendadas anteriormente no parecen corresponder al estado del tiempo en los últimos años. No han sido pocos los agricultores que se han visto precisados a resembrar debido a la falta de lluvias en las épocas tradicionales.

Valvuena, Contreros, Castiblanco y Rico (ICA, 1972) dicen que no obstante, en términos generales, las fechas más aconsejables en las diferentes regiones cebaderas de Colombia podrían ser las siguientes:

Departamento	Altitud	Fechas año grande
Cundinamarca, Boyacá	<2800 m	fines febrero-fines marzo
(Chocontá, Villapinzón, etc.)	>3000 m	fines mayo-principio junio
Nariño		
El Tambo, Briceño, Las Mesas	2000-2500	abril-mayo
Pasto, Yacuanquer, La Cruz	2500-2800	febrero-marzo
Túquerres, Ipiales	>2800	fines diciembre-enero
		Fechas mitaca
Cundinamarca, Boyacá	<2800	mediados de agosto
Nariño	2000-2500	septiembre-octubre
	2500-2800	agosto
	>2800	julio

Figura 139 *Fechas de siembra de cebada en Colombia.*

No es aconsejable sembrar mitaca o "depósito" en Las Mesas y La Cruz. Cuando hay facilidad de aplicar riego, las siembras pueden adelantarse.

En Ecuador la época de siembra varía igualmente según las zonas y las variedades, tal como se explicó en la parte de precipitaciones. En Pichincha las siembras se hacen en marzo. En Carchi, en Montufar la variedad Galera se siembra en diciembre. Sembrada el 1° de diciembre, florece los 90 días, o sea a fines de febrero y completa su ciclo a mediados de mayo dando un rendimiento de 1700 kg/ha. En Cañar se siembra igual que el trigo en enero-febrero, y se cosecha en julio. En cuanto a variedades hay una experiencia importante con Dorada: debido al ataque bastante severo, hasta de un 100%, por un cicadélido en Cotopaxi, se pensó en eliminar la variedad. Con siembras adelantadas o retrasadas, el ataque de este insecto producía el enanismo de Dorada. Pero la solución se encontró con la siembra oportuna de esta variedad.

En Ecuador, dentro del convenio entre INIAP y el Servicio de Meteorología e Hidrología, en la Sección Agrometeorología de este último se confeccionaron registros fenológicos para trigo y cebada.

El ciclo promedio para alturas de 2800 a 3200 m es de cinco y medio a seis meses; en Santa Catalina, 3058 m, es de seis meses. Hay variaciones según las variedades. A 3600 m, las variedades de cinco y medio a seis meses alargan su ciclo hasta los ocho meses.

En el cuadro140 se dan algunos datos de dos estaciones experimentales bolivianas situadas en el altiplano, Belén bajo la influencia del lago Titicaca, y Patacamaya que está en el área de influencia del altiplano sur, separadas por una distancia aproximada de 110 km en línea recta. La diferencia entre ambas estaciones es nítida.

	El Belén	Patacamaya
altitud	3820 m	3790 m
temperatura máxima media	14.5 C	22.0 C
temperatura media	8.4 C	14.0 C
temperatura mínima media	2.6 C	4.8 C
precipitación	400 mm	330 mm
período más lluvioso	dic-feb	dic-feb
radiación	560 cal/cm^2/día	540 cal/cm^2/día
evapotranspiración	535 mm	635 mm
días con heladas	31	10
días con granizo	1	5
siembra-cosecha cebada	set-abr	nov-abr
ciclo vegetativo cebada	210-240 días	150-180 días
grados-días del ciclo	1880	2230

Figura 140 Datos climatológicos para dos estaciones bolivianos (promedios del período noviembre-abril)

Si bien existe información concreta sobre ensayos de adaptación varietal de cebadas en ambas estaciones experimentales, como no disponemos de tal información nos referimos a ecotipos de 6 hileras, que pueden ser cubiertos o desnudos, cultivados por los agricultores de ambas zonas de influencia. El ciclo productivo de estos ecotipos termina al mismo tiempo, pero se inicia en distintas épocas, habiendo una variación de unos 60 días entre ambas zonas de influencia. La precocidad en el área de Patacamaya puede estar dada por los mismos ecotipos, a la cual se sumarían los termo y fotoperíodos. El efecto de las temperaturas más altas de Patacamaya durante el ciclo productivo acelera las distintas fases en el desarrollo de las plantas.

En Perú, por ejemplo en Cuzco, hay una época más o menos fija para la producción de cebada en grano. En cambio para la producción de forraje, heno, hay más de una época. Algunas de estas épocas para producción de grano coinciden con las de trigo, cuyo detalle aparece en un cuadro en este capítulo.

5. Variedades

Para Colombia y Ecuador se da información sobre las variedades que se desarrollaron en las estaciones experimentales. En Colombia se considera que aún no se cuenta con la suficiente cantidad, especialmente para el

páramo, pero que se tienen iniciadas las selecciones masales en cebadas de altura. Se pretende obtener variedades de 120 días de ciclo. Entre el material sueco de adaptación habrían perspectivas en tal sentido. Las características varietales de siete cebadas se dan en el cuadro 141 y su comportamiento a enfermedades se da más adelante.

Variedad y tipo	Ciclo productivo (días)	Rendimiento comercial (kg/ha)	Zona recomendada	Calidad industrial	Altura planta (cm) y resist. vuelco	Resist. al desgrane y descabezamiento
Colombianas						
ICA-Tibana	130 (P)	3000	bastante adapt.	buena	90 R	buena
ICA-Surbatá (6 hileras)	130-140 (P)	3000	Boyacá	buena	90-100 R	---
124	145	2600	restringida	regular	100-110 R	buena
Funza	135 (P)	1600	Varias, menos páramo	buena	100-130 S	susceptible
Galeras	135	aceptable	Nariño	regular	100-120	---
Boyacá	(T)	2-3000	Boyacá	---	S	---
Ecuatorianas						
Dorada (6 hileras)	150	2500	2500 a 3600 m	regular	110 R	Selección de CI 9650

P = precoz, T = tardía, R = resistente, S = susceptible

Figura 141 Características de variedades colombianas y ecuatorianas de cebada.

Fertilización: En Colombia son comunes las aplicaciones del tipo 10-30-10 a razón de 250-350 kg/ha y la misma fórmula se recomienda en Ecuador a razón de 300 kg/ha.

6. Enfermedades y plagas

Para Colombia, como limitativas de la producción, se mencionan las siguientes virosas. Ambas causan pérdidas fuertes (Contreras, 1972).

Enanismo de Nariño, que es trasmitida por Cicadulina pastusae, cuyo ciclo está determinado por condiciones climáticas, con período de incubación de 24-37 días. Ataques intensos en altitudes de 2300 m para arriba. Variedad resistente: Galeras. Las otras variedades se deben sembrar en épocas no propicias para el cicadelido que también es controlado químicamente.

Enanismo amarillo (BYDV) de Cundinamarca y Boyacá, que es trasmitida por áfidos, favorecidos por tiempo veranoso, o sea de altas temperaturas. La variedad Tibana es tolerante al virus.

Enfermedades fungosas: Causan daños menores que las primeras.

U. nuda prevalece en regiones frías y húmedas. Funza es susceptible al carbón. Sus infecciones pueden disminuirse usando semilla de primera clase.

U. nigra: bajo condiciones secas las clamidosporas permanecen viables por largos períodos, lo mismo que las esporas latentes. Las condiciones ambientales durante y luego del espigamiento tienen menos efecto a la infección. Control: tratamiento químico de la semilla.

U. hordei: la temperatura, humedad y fertilidad del suelo favorecen las infecciones. Control: igual que el anterior.

Mohos: granos almacenados con más de 15% de humedad fovorecen la aparición de varios Aspergillus.

Helminthozporiosis (H. sativiun, teres y gramineum): se puede controlar por destrucción de residuos del cultivo como por rotaciones, y con mercuriables. Dorada es resistente.

Rynchosporium secalis: control con variedades resistentes como Dorada.

Insectos: En general en Colombia son poco frecuentes los daños causados por insectos, excepto los relacionados con virus.

Referencias - Cebada

Contrras, R. et al 1972 — Cebada. Inst. Colombiano Agropecuario. Manual de Asistencia Técnica no. 11

Instituto Colombiano Agropecuario, 1972 — Informe anual de labcres del programa avena-cebada

Instututo Nacional de Investigaciones Agropecuarios 1972 — Manual agrícola INIAP

Italconsult 1963 — Elementos para la programación agropecuaria del Ecuador. I. Desarrollo de cereales. O.E.A. Junta Nacional de Planificación y Coordiación Economíca. Min. de Fomento. Quito.

Ministerio de Agricultura 1972 — Programas Agrícolas. Evaluación 1971 72. Programación 1973. Proyecciones 1974-75. Oficina de Planeamiento del Sector Agrícola. Bogotá.

Mittelholzer, A. 1966 — Resultados de ensayos de trigo y cebada realizados por la estación experimental de Mucuchíes en 1964. Agronomía Tropical. Vol.XVI no.4 Maracay

Montenegro, C. 1973 — Información personal. Programa de cereales. Univers. Nac. Agraria. La Molina

Rizzo, P.O. et al 1967-68 — Resultados de preparación de concentrados económicos y engordo de ganado. Convenio Univers. Nac. Agraria La Molina (Facultad de Zootecnia) y Corporación de Desarrollo de Puno

Schwartz, M. 1973 — Cebada y avena, comparación de rendimientos e ingresos en tres niv es técnicos. Inst. Nac. de Investigaciones Agropecuarias. Boletín técnico no.8

Tola, J. 1972 — Dorada nueva variedad de cebada para el Ecuador. Inst. Nac. de Investigaciones Agropecuarias. Estación Experimental Santa Catalina. Boletín Divulgativo no.4



XVI. CHENOPODIUM QUINOA WILLD

1. Introducción

Quinua, Quinca (Ecuador, Perú, Bolivia, Argentina, Chile), Suba (Colombia), Jupha (Aymará).

La quinua y la cañihua (Ch. pallidicaule) son los dos granos indigenas más importantes en los Andes fríos del Perú y Bolivia. Son granos estratégicos por la cantidad y la calidad de sus aminoácidos, que han sido y siguen siendo las principales fuentes de proteínas de las culturas autóctonas y tienen posibilidades muy especiales para su expansión productiva más allá de los límites geográficos actuales. Estos granos de alta proteína, por su alto valor biológico, son comparables a la proteína animal y superan así a otros granos como el arroz, el maíz, el trigo y la cebada, que son de consumo general en el altiplano de Perú y Bolivia. Como fuente de proteína tanto en grano como en broza ofrecen un producto barato que bien puede utilizarse para el balanceo de alimentos para aves. Se puede considerar la posibilidad de usar la quinua en mezclas palatables con alfalfa.

Comparado con otros cultivos altiplánicos prioritarios como las papas, las dos quenopodraceas son más resistentes a factores climáticos adversos, especialmente la cañihua. Otra ventaja que tienen es su halofilia. Los esfuerzos hechos en Europa y Asia para aclimatar e industrializar la quinua hasta ahora han resultado negativos.

El centro de origen de la quinua es aún muy difícil de señalar. No se conoce en estado nativo, pues las plantas llamadas silvestres encontradas en Perú y Bolivia, son más bien escapes del cultivo. Sin embargo la quinua presenta una mayor variación y un cultivo más intenso en el altiplano peruano-boliviano. La presencia de otra especie similar, también domesticada, en el altiplano de Perú y Bolivia, la cañihua, tiende a dar soporte a la idea de que la domesticación de la quinua pudo hacerse en esa área. Restos arqueológicos de quinua, especialmente semillas, se han encontrado en Argentina, Chile y Perú. En este último país se hallan en sitios de la costa que pertenecen al "período formativo" junto con otros productos provenientes de la sierra. En tiempos pre-hispánicos su cultivo se extendía por todo el dominio incaico, y aún más al norte, hasta Colombia. En ese país y en Ecuador el cultivo no alcanza la importancia que tiene en Perú y Bolivia.

Desde que Vavilov estableció que el centro de origen de una planta cultivada es aquella región con la mayor diversidad de tipo, todos los autores que han escrito sobre este tema, están de acuerdo en que la quinua es originaria de los Andes. Bukasov considera que su cultivo en los Andes

del Perú y Bolivia es muy antiguo y que de aquí fué llevada hacia el norte hasta Colombia y hacia el sur hasta Chile. Cárdenas (1969) sostiene que la quinua es originaria de los Andes de Perú y Bolivia donde se encuentra la mayor variación y utilización del grano. Este autor encontró la variación más grande y la producción más notable entre Ayaviri y Sicuani en el Perú. La mayor variación de quinuas cultivadas se encuentra entre Cuzco y Potosí, de acuerdo a una clasificación de material coleccionado en el Ecuador, Perú y Bolivia. En el departamento del Cuzco se encontraron tres razas, en la cuenca del lago Titicaca cuatro, en la parte sud del altiplano tres y en Potosí dos razas. Algunas razas son comunes a los dos países, porque en alguna época de la historia hubo intercambio de semillas. Se evidencia que la mayor variación efectivamente se halla alrededor del lago Titicaca.

La quinua es una hierba alta, con el eje central poco ramificado. La raíz pivotante, cónica, llega hasta unos 15 centímetros de profundidad, y tiene numerosas raicillas laterales. El tallo es cilíndrico en la parte inferior, aristado hacia arriba, especialmente en la inserción de las hojas. Las flores son sésiles o tienen pedicelos cortos, aunque en ciertas variedades de Bolivia el pedicelo llega a medir hasta 1 cm de largo. Las flores agrupadas en un glomérulo son de dos clases, hermafroditas o pistiladas. El número de flores de las dos clases varía mucho; en el cultivar "Morada de Junín", por ejemplo, hay una sola flor hermafrodita terminal, y 10 a 21 pistiladas. La flor hermafrodita está formada por un perigonio de 5 partes, mide de 2 a 5 mm de diámetro, y está recubierta de papilas en el lado externo. El androceo se forma de 5 estambres, de cuyo centro sale el ovario, elipsoidal y con dos o tres ramificaciones estigmáticas muy pequeñas. Las flores pistiladas son ligeramente menores, de 1-2 mm de diámetro.

El fruto de la quinua se forma del perigonio, que recubre una sola semilla, de la cual se desprende con facilidad. La semilla mide de 1 a 1.5 mm de diámetro, es lenticular o elipsoidal y está formada en gran parte por el embrión que se arrolla en círculo y deja al centro el perisperma, más claro, formado de almidón. La semilla está envuelta por una membrana delgada (episperma), rica en saponinas, cubierta de perforaciones o puntos finos. En las variedades blancas el episperma es muy delgado, aunque algunas de ellas son las de mayor contenido en saponinas; en las negras el episperma es grueso y está cubierto de flóculos dorados. El contenido de saponina en la cobertura de las semillas de quinua es de mucha importancia económica, pues dicha sustancia debe eliminarse por lavado o medios mecánicos, antes que el producto esté listo para ser consumido. Las quinuas se han separado en dulces y amargas, según el mayor o menor contenido de saponina.

En los cultivos comerciales el grado de pureza varietal cambia de acuerdo a la proporción de sexos. Estos porcentajes varían según el cultivar y en forma secundaria, con la posición de la cima en las inflorescencias, independientemente del origen geográfico.

2. Producción, rendimientos y utilización

2.1 Datos de producción

Los datos estadísticos sobre superficie, rendimiento y producción se encuentran en el cuadro 142.

Paises y años	Superficie ha	Rendimiento kg/ha	Producción ton
Ecuador			
1969	1,200	630	760
1970	1,200	630	760
1971	1,200	630	760
1972	1,200	740	900
1973	1,200	740	900
Perú			
1969	16,900	440	7,500
1970	16,300	440	7,200
1971	15,000	420	6,400
1972	20,000	390	7,800
1973	20,000	410	8,200
Bolivia			
1969	14,000	680	9,500
1970	14,000	680	10,000
1971	15,000	730	11,000
1972	15,000	720	11,000
1973	16,000	750	12,000

Fuentes: Junta Nacional de Planificación, Estadística Agraria, Ministerio de Agricultura y FAO.

Figura 142 Datos estadisticos de los paises andinos para quinua.

El área actual de extensión abarca Colombia (Nariño); Perú, Andes del norte, centro y sur; altiplano de Bolivia; valles del noreste de Argentina (Jujuy y Salta); localidades aisladas en Chile. En los Andes de Perú y Bolivia se cultiva a más de 3000 m, y en los valles del noreste de Argentina a 2000 m. Se han hecho ensayos, con éxito relativo, de sembrar quinua en la costa de Perú. Las mayores superficies corresponden al Perú y los mayores rendimientos a Bolivia. Así, en el sudoeste boliviano, en Salinas de Garci Mendoza, existe una alta tecnología campesina para este cultivo. Esta área es el origen de la quinua de exportación al Perú y Chile. En Perú, Puno tiene el primer puesto en la producción de quinua con unas 13,000 ha pero con rendimientos bajos, según el cuadro 143.

	Superficie ha	Rendimiento kg/ha	Producción ton
Puno	12,000	370	4300
Ayacucho	900	700	640
Junín	630	530	330
Ancash	400	710	290
Huancavelica	360	730	270

Fuente: ONEC

Figura 143 Producción de quinua y rendimientos de algunos departamentos de Perú en 1971.

2.2 Utilización

Los varios usos que tiene la quinua en la alimentación humana como forraje y sus posibilidades industriales se mencionan varias veces. El valor de la proteína de la quinua y cañihua ha sido mencionado por varios autores. White y otros han mostrado que a iguales niveles de ingestión de proteína (6 a 9%), la proteína de la quinua produce ganancias iguales superiores a las que se obtienen con la proteína de la leche. Este se debe a un adecuado balance de aminoácidos en la proteína de la quinua.

El grano de quinua es extrañamente rico en lisina, un aminoácido que es pobre en la mayoría de los productos de origen vegetal. La quinua contiene más lisina que el propio maíz opaco 2, obtenido con una gran inversión económica (Lopez, 1972). El contenido de lisina puede ser hasta cinco veces más que en el trigo.

Se ha encontrado que la mayoría de granos de quinua contienen saponina y que la cañihua es casi libre de estos glucósidos. Sin embargo existen quinuas naturalmente libres o con bajo contenido de saponina. Una variedad obtenida en la Estación Experimental de Patacamaya, Bolivia, denominada Sajama, presenta, además de características comerciales, un grano blanco, grandes y dulces (bajo contenido de saponina). Es importante mencionar que la variedad Ccoito de granos grises también es casi libre de saponina, Tapia(1975). En el cuadro sobre variedades puede observarse esta variación en contenido de saponinas.

La existencia de estas variedades dulces de quinua es de suma importancia para el proceso industrial. La tecnología debe incidir en la utilización integral de la planta de quinua y cañihua para preparar productos comerciales con demanda local y nacional y en el futuro para el mercado andino. De esta manera se ha pensado en obtener productos de alimentación humana con los granos y hojas, de alimentación animal con los subproductos de la cosecha (quiri, jipi) y subproductos industriales de extracción como proteína, celulosa y enzimas.

En Puno existe un activo mercado de productos elaborados primariamente como la quinua lavada, el maná, o sea el grano tostado y azucarado. En Cuzco existe una industria que absorbió en 1974 unas 400 ton de grano producido en Puno. Los productos elaborados son quinua perlada, harina, sémola y quinua machacada (hojuelas). Los granos son desaponificados en el inicio de su procesamiento. Experimentalmente, a partir de la harina, se han obtenido panes de buena calidad y aceptación en mezclas de harina de quinua y trigo en proporciones de hasta un 40% y 60% respectivamente. Los resultados en fideos y galletas también han sido buenos.

En conclusión, los usos en la alimentación humana más corrientes son para el grano: cocida en sopas y dulces, etc., en bebidas, en la panadería; las hojas se usan en ensaladas y cocidas, para elaboración de cenizas y en la medicina popular. (León, 1964).

3. Ciclo vegetativo y variedades

3.1 Aspectos generales de la ecología de la quinua

El factor más importante para el cultivo de la quinua es la temperatura mínima. Normalmente la quinua es cultivada en la puna entre los 3000 y 4000 m de altura. Esto indica que el riesgo de heladas nocturnas está

presente también durante el período de crecimiento. La quinua se siembra con frecuencia en terrenos aluviales, de drenaje pobre, en que las heladas son más frecuentes, o en las pendientes, de terreno más seco y menos expuesto. En los valles y quebradas se cultiva a veces hasta los 2000 m.

La precipitación en las áreas de cultivación varía mucho, de 500 a 800 mm en la región del lago Titicaca hasta 200-400 mm en las otras regiones de producción importante, más al sur en Bolivia.

Para asegurar la humedad del terreno necesario para la germinación en regiones más secas se efectúa riego suplementario, pero en muchos casos la germinación rápida de la quinua es suficiente para evitar fracasos en esta fase.

La quinua es una planta de día corto. En diversos ensayos se encontró que era necesario un período de 15 días cortos para inducir la antesis. También se determinó que la quinua requiere dos períodos de días cortos, uno para la formación de las flores, y otro para la maduración de los frutos. Se observó también que existe una variación marcada entre fotoperíodo y temperatura; si se aumenta el número de días cortos y se eleva la temperatura se acorta el período entre germinación y antesis.

Fuller encontró en ensayos hechos en Illinois, con semillas de Bolivia, que bajo días de 8, 11, 14 horas e iluminación contínua, la antesis ocurría a los 42, 54 y 62 días respectivamente. No informa si hubo formación de frutos, y aduce que la quinua es en cuanto al fotoperíodo, de carácter indeterminado, aunque los días cortos favorecen la antesis más que los largos.

Cárdenas (1969) informa que semillas de Bolivia sembradas en Cambridge, Inglaterra, durante el verano, produjeron plantas de gran crecimiento vegetativo pero que no florecieron; en cambio si formó frutos una variedad procedente de Chile. En plantas sometidas a luz contínua y luego a días cortos (11 horas) observó que en varias de ellas la antesis fue muy irregular, observándose un alargamiento de los estigmas, que sobresalían del perigonio y que los estambres en estas flores protóginas estaban secos en el momento de salir los estigmas.

Los campos de quinua presentan una variación muy amplia y son muy atrayentes, particularmente por la gran variedad de colores en el follaje y las inflorescencias. Los factores que demostran más la variación son: color de las hojas y del tallo, forma de la inflorescencia, pedicelo del fruto, color de las semillas, resistencia a enfermedades, diferencia en contenido en saponinas y la duración del ciclo (León, 1964).

Las variedades de la quinua son descritas por varios autores, pero las determinaciones usadas no son todavía uniformes. Se reconocen dos grandes grupos: la quinua blanca con hojas verdes y la quinua rosada con hojas verdes o amarillas pero con las vesículas rosadas.

Los tallos pueden ser colorados uniformes o en bandas. En general las Blancas rinden más que las Rosadas y tienen una flexibilidad más grande en la adaptación a ambientes diferentes. En el cuadro 145 se da algunos datos sobre ensayos con tipos seleccionados por rendimiento, precocidad y bajo contenido de saponinas.

Normalmente se siembra la quinua en lotes. En algunas localidades se siembra en surcos, alternando con maíz o como bordes para parcelas de trigo o papas. Se hacen rotaciones con trigo y papas con rendimientos mejores después de papas o de barbecho.

Los suelos en el área son variables en fertilidad y requieren fertilizantes para rendimientos altos. Con 8 kg/ha de semilla mejorada y seleccionada por tamaño de grano y fertilización con formula 80-40-0, la variedad Sajama dió un rendimiento promedio de 2200 kg/ha. La carencia de nitrógeno produce plantas pequeñas y débiles, mientras que el efecto de la carencia de fósforo es más pronunciado, con hojas pequeñas o necróticas y raíces pobres. La carencia de potasio es de menor importancia.

Las granizadas del período lluvioso de diciembre a marzo en Perú y Bolivia causan daños tanto en el follaje como en las panojas. El tamaño del granizo y la duración de la granizada tienen influencia especialmente en el período juvenil de la lámina foliar y en el ángulo de inserción de las láminas. Los daños parecen ser iguales cualquiera sea la edad de la panoja, o sea tanto en estado lechoso como pastoso de los granos. En cambio si están secos se produce el desgrane y esto ocurre generalmente en marzo con el común de las variedades. En consecuencia estas granizadas se consideran como más peligrosas por los agricultores. Una evaluación con siete variedades de Bolivia y Perú, hecha en un campo experimental en Puno, dió como resultados que las variedades tardías tienen un ángulo de inserción largo y láminas delgadas y son las más afectadas. Las otras variedades, que son precoces o intermedias, tienen láminas gruesas con un ángulo menor y son todas menos afectadas o resultan sin daño alguno.

3.2 Colombia

En Colombia la cultivación de la quinua es esporádica. En Tunja, en los páramos sobre los 3000 m, existen microcultivos. No se encuentra la suba en Nariño y tampoco en el tramo de Pamplona a Bucaramanga a altitudes sobre los 3000 m, donde el paisaje es muy similar al altiplano sur del Perú y Bolivia. En vista de que también el clima en el verano tiene características similares, convendría probar algunos cultivares procedentes de Perú y Bolivia. En la Universidad de Pasto se mantienen unas parcelas con el cultivar peruano Rosada de Junín.

3.3 Ecuador

En Ecuador la situación fue relativamente mejor en lo referente a este cultivo: se pueden observar micro-parcelas en diferentes lugares. Existen pocos datos disponibles de fuente campesina, debido a la limitada importancia de este cultivo en el país. Esta situación, que es muy explicable, se mantiene estática en los últimos ocho años.

Las quinuas de Latacunga, Ambato, Carchi, Riobamba y Cuenca son de grano chico y en general son de porte elevado, 1.50 a 2.50 m, y de panoja laxa. Están más cerca de las quinuas peruanas y bolivianas de Valle y Cabecera de Valle, digamos más semejantes al híbrido natural "Blanca" o "Rosada de Junín", o a "Tupiza". Por lo tanto su comportamiento para heladas, granizadas y ciclo productivo en el altiplano de estos dos países (sobre los 3500 m de altitud) será algo semejante a Tupiza en las condiciones de Puno, Perú. El número de lavados para extracción de las saponinas es en general elevado, hasta 10, e indica que algunos de los cultivos son bastante amargos.

En el cuadro 144 se da algunos datos sobre cultivares de quinua en Ecuador, junto con los datos de precipitación y temperaturas máximas y mínimas medias durante el ciclo vegetativo.

Localidad	Alt.m	Ciclo meses	Asociación con	Rotación con	$\bar{P}$	$\overline{Tx}$	$\bar{T}$	$\overline{Tn}$
Carchi	2850	ca 10	maíz o oca	oca	800	17.5	11.6	6.7
Carchi	1750	4-6	sola	cebada y papa	350	24.5	18.5	13.5
Imbabura	2750	10	papa	-	800	18.8	13.0	7.0
Cotopaxi	2700	10	maíz	maíz	450	19.3	13.3	7.5
Riobamba	3150	10-12	sola	-	400	17.8	11.8	6.6
Cuenca	3300	12	habas	cebada	800	16.7	9.8	5.2

Figura 144 Datos de cultivares de quinua en Ecuador.

3.4 Perú

En las condiciones de Puno las siembras son de septiembre y octubre para las variedades locales como Kanccolla que es una de las más cultivadas. Kanccolla es tardía y por tal motivo las siembras de la última semana de octubre pueden ser perdidas o muy afectadas por las heladas de abril, pues los granos estaban en estado semipastoso. Esto ocurrió en el anillo lacustre y en las partes planas el efecto fue más drástico. Por tanto, la fecha más tardía para Kanccolla debería ser 15 de septiembre. Kanccolla es tardía comparada con Sajama, introducida de Bolivia y que se la difunde actualmente en Puno por ser dulce y precoz. La precocidad de Sajama ha permitido siembras de noviembre y diciembre en microclimas del anillo lacustre.

La época oportuna está dada principalmente por la humedad del suelo y el incremento de las temperaturas. El primer factor podría ser superado, en una forma restringida con riego complementario y en una forma más generalizada con prácticas de "dry-farming", que puede servir para cualquier otro grano e incluso para tubérculos. Otro método sería peletizando las semillas, pero en cualquiera de estos tres casos siempre quedará por investigar el efecto de las heladas de primavera, pues existe una relación entre sequía de primavera y efecto de heladas. Esta relación se discute más en detalle en el capítulo sobre cebada. A continuación se presenta un cuadro con resultados de un ensayo exploratorio en que se combinan seis épocas de siembra y tres variedades.

Epocas:	Oct.8	Oct.14	Oct.20	Oct.26	Nov.1	Nov.7
Variedad	Ciclo productivo en días					
Sajama	154	140	149	152	152	145
Blanca de Juli	174	174	176	182	P	L
Kanccolla	179	177	189	P	L	F

La evaluación del estado de grano al 1° de mayo fue:

F: grano en formación
L: grano lechoso
P: grano pastoso

Figura 145 Ciclo productivo de algunas variedades peruanas.

Este ensayo demuestra que el ciclo productivo de Sajama, Blanca de Juli y Kanccolla, en las condiciones del campo experimental de la Ciudad Universitaria de Puno, se cumple en un promedio de 148, 176 y 181 días respectivamente, lo que significa que Sajama es alrededor de un mes más precoz que Kanccolla y que Blanca de Juli. Si bien aún no contamos con los datos de rendimiento en grano, la importancia de estos resultados conduce a las siguientes conclusiones preliminares:

- Sajama confirma su precocidad y como consecuencia que su período de siembra es más amplio que en las otras dos variedades.

- La fecha más tardía para Kanccolla es alrededor del 20 de octubre. Pero aquí conviene aclarar que el ensayo se condujo en un microclima muy ventajoso, muy parecido y cercano a Aziruni. En cambio, lo señalado para Kanccolla, o sea su comportamiento en cultivos extensivos, tanto en orillas abiertas del lago Titicaca como en las planicies, fue a causa de siembras de octubre, probablemente en la segunda quincena. En consecuencia, mientras no se tengan datos más concretos, Kanccolla en estas zonas debería sembrarse alrededor del 15 de septiembre.

Se han realizado trabajos de selección de los tipos nativos, escogiéndolos por rendimiento, precocidad y bajo contenido de saponinas. Algunas características y resultados de ensayos de estas variedades en dos localidades se dan en el cuadro 146.

	Puno, 4200 m		Junín, 3900 m		
Variedad	Ciclo días	Rendimiento kg/ha	Ciclo días	Rendimiento kg/ha	Otras características
Real de Puno	150	2350	150	1650	Resistente al granizo, planta compacta y escasa ramificación
Rosada de Puno	150	1800	120	700	Resistente al granizo, planta compacta y mediana ramificación
Real de Salinas GM	150	1800	-	-	Resist. al granizo, planta compacta y mediana ramificación, exportación
Sajama	150	1800	-	-	Poco afectada por granizos, resist. a heladas
Kanccolla	180	-	-	-	Poco afectada por granizos, planta ramificada
Blanca de Junín	200	2350	170	2200	Afectada por granizos, planta grande y ramificada
Rosada de Junín	195	2050	170	1750	Afectada por granizos, planta grande y ramificada

Figura 146. Características de variedades peruanas y bolivianas.

Heladas de 5°C bajo cero en semilleros de Yocará, Puno, mostraron la resistencia de Sajama y la susceptibilidad de Kanccolla. Esta última, en siembras comerciales, es más afectada en pampas abiertas que en laderas de cerros. El efecto en laderas, según los campesinos, variaría por exposición.

Cuando las plantas están en panoja las heladas afectan a las cimas superiores y las partes inferiores se recuperan. Este efecto en la madurez, en panojas amarantiformes, puede reconocerse por su aspecto de una espiga múltiple de maíces.

El planteamiento del estudios sobre quinua se base en que Puno tiene tres zonas ecológicas bien diferenciadas para la agricultura: el anillo lacustre, la altiplanicie y zonas intermedias que aparecen en el siguiente cuadro 147. Las zonas A B C corresponden a las agrícolas propiamente dichas y la producción de quinua está concentrada en A. La expansión productiva de quinua y cañihua se inició en las empresas campesinas situadas en las otras zonas.

En ambas zonas su cultivo está restringido a las partes protegidas localizadas en hayadas y faldas de cerros y muy excepcionalmente se llega a las planicies abiertas muy azotadas por heladas. Más bien en estas planicies la cañihua se comporta muy bien. Entonces, tanto en el germoplasma como en un lote de selecciones bolivianas de alta proteína (19-22%) se tiene material precoz y microtérmica que se evaluará a lo largo de las tres zonas ecológicas.

Zonas:	A	B	C	D
Elementos	Anillo Lacustre	Orurillo Azángaro Asillo	Chuqinbambilla Ayaviri Altiplano	Alturas Puna
Temp. máximas medias nov-abr.	16.0	15.9	17.9	13.3
Temp. mínimas medias nov-abr.	3.1	4.0	0.3	-1.7
Precipitación media nov-abr.	600	480	680	640
Altura m	3800-3870	3950-4100	3870-4100	más de 4100

Fuente: ONERN

Figura 147 Sub-tipos climaticos de Puno.

Se ve que en el anillo lacustre el ambiente se encuentra bajo la influencia del lago Titicaca, que da temperaturas menos altas en el verano, mientras las temperaturas mínimas medias resultan menos bajas en todo el año. Por eso, la zona A tiene una frecuencia más baja de heladas en el verano.

No se tienen estudios cuyos resultados puedan ser aplicados para asegurar la producción de grano de quinua en relación con edversidades climáticas: heladas, sequía, granizo, exceso de lluvias, etc.

Los extremos de temperatura y lluvia que ocurren durante el ciclo productivo merman la producción de grano y broza, y sus manifestaciones en forma de heladas, granizo, sequía, alta humedad almosférica e inundaciones afectan negativamente la productividad. Esta situación puede agravarse en la introducción de variedades de quinua que se tratan de adaptar en latitudes, fajas altitudinales y suelos diferentes a las de origen como ocurre en la adaptación de variedades del Centro y del Sur de Bolivia en las condiciones de Puno.

Mediante estudios fenológicos se evaluarán las principales variedades en distintas épocas de siembra mediante una red de ensayos que abarque los distintos medios ecológicos del Altiplano de Puno: anillo lacustre, altiplanicie y zonas intermedias.

Ochoa, en Ayacucho, Perú a 2800 m, hizo el análisis de crecimiento de cinco cultivares de quinua del Perú y Bolivia y obtuvo los siguientes resultados preliminares(1972):

a) La intensidad de crecimiento del cultivo aumenta lentamente desde los 29 días hasta plena floración. A partir de este momento el aumento es rápido y diferente para cada cultivar hasta el final del experimento.

b) El índice de crecimiento relativo alcanza sus mayores valores al comienzo del ciclo vegetativo. Luego decrece de manera rápida y diferente hasta plena floración, y a partir de esta fecha el descenso es uniforme según crezca la planta.

c) La intensidad de asimilación neta presenta mayores valores al final del período vegetativo de la planta.

3.5 Bolivia

Las reformas agrarias en Bolivia y en el Perú han dado impulso al cultivo de especies indígenas. En el caso de la quinua, la crisis mundial de alimentos, especialmente el trigo, tratan de acelerar tal impulso. Así en Bolivia, hay una industria molinera de trigo que utiliza harina de quinua para la elaboración de pan, fideos y galletas en mezclas de 5 y 25% respectivamente, aunque paralelmente no exista una política de fomento del cultivo. En cambio, en el Perú se tiene un proyecto en el departamento de Puno desde 1974 con actividades de expansión de la producción, establecimiento de semilleros, investigación agrícola e industrial y capacitación campesina. En lo referente a semilleros se utiliza una variedad mejorada en Bolivia, la Sajama, que es dulce y blanca; en esta forma se supera uno de los factores limitantes como es la presencia de saponinas que les dan el carácter amargo a otras variedades extensamente difundidas en la zona del proyecto.

Salinas de Garci Mendoza representa para la quinua lo que es Cajamarca de Colombia para la arracacha; y es donde se encuentran las superficies más extensas de quinua con variedades especializadas para determinados usos como la Real sustituyendo al maíz, a la cebada, al trigo y al arroz, Jakujupa para harina, Katamari como halófila, Negra de granos atípicos para dietas de refuerzo para enfermos de tuberculosis. La certeza de los datos culturales obtenidos en 1967 con Negra y luego cultivada en parcelas de multiplicación de Puno dió un contenido de 19% de proteína.

Las características climáticas de esta región, a unos 3700 m de altura, para el período de noviembre a abril son:

Precipitación media:	220 mm
Temperaturas máximas medias:	23.7°C
Temperaturas mínimas medias:	3.7°C

Los otros datos se encuentran en el cuadro a continuacion 148,

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Año
$\bar{P}$	52	67	23	7	3	0	0	0	3	3	1	64	223
$\bar{T}$	14.9	14.4	12.9	10.2	6.7	4.2	3.8	5.8	9.3	12.0	1 .8	14.6	10.2
$\overline{Tx}$	25.1	23.8	22.4	21.2	16.3	14.0	14.7	16.7	20.4	23.7	24.7	20.6	20.6
$\overline{Tn}$	5.1	5.1	3.7	0.1	-3.1	-5.9	-7.1	-5.1	-1.6	1.1	3.1	4.8	0.0

Figura 148 Datos de temperatura y precipitación para Salinas de Garci Mendoza.

Estas condiciones son más extremas que en los alrededores del lago Titicaca. Especialmente la lluvia puede ser muy errática y muchas veces concentrada en sólo dos o tres meses. Aquí la utilización de riego complementario puede ser muy válida.

Al tiempo de analizar el comercio internacional de la quinua producida en Salinas de Garci Mendoza se encontró con un producto superior a la manera del maíz Blanco de Urubamba en el Perú. Se trata de la variedad Real de granos blancos y grandes - aunque amargos - donde se practica la selección masal y donde se hacen deshierbos para eliminar las quinuas malezas como las Ayara. Se utilizan épocas y densidades adecuadas de siembra. En fin, estamos en presencia de un cultivar donde se hizo una amplia selección, incluyendo el porte, forma de las panojas, grosor de las láminas y su ángulo de inserción, etc. Para corroborar este aserto tenemos los resultados de una evaluación de variedades cercanas a la Real, en lo referente a la resistencia al granizo tan frecuente en estos parajes que se encuentra en el párrafo anterior (

Corzo (1971) clasifica algunas otras variedades bolivianas del germoplasma en el IICA por el mayor y menor contenido de saponina. Jakujupa y Kaytu son de menor contenido y casi dulces, de procedencia de Oruro; y Ajara y Puca, con mayor contenido, de procedencia de Potosí. En Puno se conservó una colección de germoplasma que es de aproximadamente 400 entradas.

4. Enfermedades y plagas

Se mencionan las siguientes enfermedades: Peronospora effusa, Phyllosticta, Ascochita y recientemente Pseudomonas (Otazu, inf. pers.).

Blanca de Juli y Negra de Salinas de Garci Mendoza se muestran susceptibles a Mildew a orillas del lago en Puno. Tupiza es más resistente a Mildew y susceptible a Pseudomonas, doblándose las panojas en ataques fuertes.

Algunas de estas enfermedades, como el Mildew, que produce el fuerte de la foliación, se manifestaron con mayor intensidad bajo condiciones con exceso de lluvia y alta humedad del aire. La resistencia a enfermedades como Peronospora es muy variable en los diferentes tipos de quinua.

Entre las plagas principales se mencionan (Vidalón, 1944): Laplygma frugiperda, Feltia experta, Xylomiges eridiana y Lycophotia interrupta y como ocasionales Pachyzancla bipunctualis y Zinckenia facialis. En Puno se observaron también ataques de Nacobus spp. en las raíces de Blanca de Juli.

Referencias - Quinua

Aquize, E. 1975 — Aspectos climáticos del altiplano. En Curso Sistemas producción ganadera del altiplano. Puno, Perú.

Blanco, C. 1968 — Aplicación de métodos fitotécnicos en el mejoramiento Ch. quinoa. Anales. I Convención de Quenopodiaceas: Quinua-Cañihua. Puno, Perú.

Cardenas, M. 1969 — Manual de plantas económicas de Bolivia. Imprenta Icthus. Cochabamba, Bolivia.

Corzo, D. 1971 — Evaluación cuantitativa del contenido de saponinas en variedades de Chenopodium quinoa. Prog. Acad. de Agronomía. Univ. Nac. del Centro. (Tesis). Huancayo, Perú

Espinoza, A., Palomino, V. y Roulet 1968 — Comunicación sobre algunas propiedades de la quinua (Chenopodium quinoa) en Ayacucho.

Franco, R. y Tapia, M. 1974 — Proyecto de investigación e industrialización de la quinua y sub-productos. Univ. Nal. Técnica del Altiplano. Mimeo. p.10. Puno, Perú

Gandarillas, H. 1968 — Caracteres botánicos más importantes para la clasificación de la quinua. Anales. I. Convención de Quenopodiaceas, Quinua - Cañihua, Puno, Perú.

_____ 1967 — Distribución geográfica de quinua sin saponinas y granos grandes. Sayaña. Revista Boliviana de Agricultura. La Paz, Bolivia

Guilleng 1968 — Fertilización en quinua. Prog. Acad. de Agronomía. Univ. Nac. del Centro (Tesis). Huancayo, Perú

León, J. 1964 — Plantas alimenticias andinas. Inst. Interam. de Ciencias Agrícolas. Boletín Técnico no.6

Lopez, J. 1972 — The nutritive value of the protein in quinua. M.S. Thesis USA. Logan, Utah, USA

Morales A. 1973 — Respuestas de la quinua a las aplicaciones de NPK y sus interacciones en los suelos de Puno. Estación Experimental Agraria de Puno. Boletín Técnico 4. Puno, Perú

_____ 1974 — Promoción integral e industrialización del cultivo de la quinua. Proyecto especial no.1. CRIAS. Puno, Perú.

Moreno, U. 1972 — Los ambientes, las plantas y la Sociedad. Seminario: la educación, la agricultura y el hombre. Univ. Agraria La Molina - Unesco. p.21

Mujica, A. 1974 — Tecnología del cultivo de quinua. En Curso de quinua y cañihua para campesinos. Comité Inter-institucional de la Z.A. XII. Puno, Perú

Ochoa, V. 1972 — Análisis del crecimiento de Chenopodium quinoa willd. Prog. de Pastos, Univ. Nac. San Cristobal de Huamanga. Ayacucho, Perú.

Padilla, F. 1968 — Selección de quinuas con alto contenido de proteina. Anales. I Convención de Quenopodiaceas. Quinua - Cañihua. Puno, Perú

Rea, J. 1967 — Determinación práctica del contenido de saponinas en quinua. Inst. Interam. de Ciencias Agrícolas. Informe Técnico Anual. Costa Rica.

_____ 1969 — Bibliografía sobre quinua y cañihua. Inst. Interam. de Ciencias Agrícolas. Zona Andina. Lima, Perú

Reyes, P 1975 — Fenología de la quinua. Tesis. Univ. Nal. Técnica del Altiplano. Puno, Perú

Tapia, M., Rea, J., Morales, A. et al 1974 — Proyecto Quinua - Cañihua. Comité Inter-institucional para el fomento agroindustrial de quinua - cañihua. Puno, Perú

Tapia, G. 1968 — Correlación entre el tamaño del grano y el rendimiento en la quinua. Anales. I Convención de Quenopodiaceas. Quinua-Cañihua. Puno, Perú

Tapia, G. 1970 — Taxonomía y agronomía de quinuas silvestres de Bolivia. Facultad de Ciencias Agronómicas UMSS. Cochabamba, Bolivia (Tesis)

Tapia, M. 1975 — La quinua en el desarrollo agrícola de los Andes Altos Inst. Interam. de Ciencias Agrícolas. Prog. de Altos Andes. (Mimeo.) p.5

Universidad Nacional Técnica del Altiplano. 1968 — Anales de la I Convención de Quenopodiaceas: Quinua-Cañihua. Puno, Perú

Vallenas, M. 1974 — La quinua en los planes de producción agrícola de las empresas agropecuarias. En Curso de quinua y cañihua para campesinos. Comité Inter-institucional de la Zona Agraria XII. Puno, Perú

Vallenas, M. y Carpio, F. 1975 — Canales de comercialización de la quinua producida en Puno. Zona Agraria XII. Puno, Perú. p.8

Vidalon, C. 1944 — La quinua. Agronomía (Lima) 9:35

Los autores desean agradecer a las siguientes personas por informaciones personales: A. Amaya (Colombia) y E. Aquize, J. Cano, F. Flores y V. Otazu (Perú).



XVII. PAPA

1. Introducción

La papa es autóctona de los Andes sudamericanos. Constituye allí, junto con otras especies, la base de la alimentación humana, no sólo en las partes altas sino también en toda la región en general. La preferencia de los habitantes andinos por este tubérculo puede observarse en sus migraciones masivas a las partes bajas durante los últimos quince años en Bolivia, donde el consumo se hace en base a cultivos de invierno iniciados por ellos o por importaciones desde sus tierras de origen.

En las tierras bajas, sea en la Selva o en las costas marinas, la papa es parcialmente remplazada por el plátano, la yuca y otras especies de raíces y tubérculos propias de ambiente cálido. Este remplazo se intensifica a medida que se avanza hacia Venezuela.

Para quien está acostumbrado a ver en Europa o Estados Unidos unos pocos clones cultivados, las papas andinas ofrecen una diversidad notable. Esta se muestra en el porte de las plantas, en la coloración de las flores, que va del blanco amarillo al rojo vivo, y especialmente en la forma y color de los tubérculos. Estos tienen formas muy diferentes: cilíndricos rectos o curvos, en forma de puño cerrado, esféricos, etc., con "ojos" o yemas a menudo muy hundidos. El color externo varía mucho: blanco, rojo, morado, con frecuencia en sectores (quimeras). El color interno varía según el clon, distinguiéndose las papas amarillas, que son de superior calidad.

Este conjunto de clones cultivados se ha clasificado por distintos autores, en formas diferentes. Algunos creen que hay dieciocho especies cultivadas, otras sólo siete. Una clasificación reciente considera una sola especie, que incluye cinco grupos hortícolas, y además dos grupos híbridos. La complejidad se manifiesta en aspectos citológicos, ya que hay grupos diploides, triploides, tetraploides (como los clones más corrientes y pentaploides).

El grupo principal es andigena (tetraploide), que difiere en ciertos caracteres de los clones cultivados en otras partes del mundo (grupo tuberosum). El segundo grupo o especie en importancia es stenotomum (diploide), que se cultiva hasta los 4000 m. Siguen en importancia X. juzepuczii (triploide), goniocalyx (diploide), chaucha (triploide) y curtilobum (pentaploide). De menor importancia por el número de clones son ajanhuiri y phureja, ésta última cultivada a niveles más bajos (2400-2600 m).

Las características fisiológicas: requerimiento de fotoperíodo, resistencia al frío, tiempo de tuberización y otros, son también muy variables. Una característica importante es el contenido de principios amargos. Las

papas que los contienen en alta cantidad se preparan en "chuño", proceso que consiste en eliminar el agua y sustancias amargas, haciendo de las papas una masa seca, harinosa, más fácil de almacenar y transportar.

El centro de domesticación de las papas son los Andes del centro de Perú y norte de Bolivia. En esta región existen no sólo un mayor número de variedades cultivadas sino también numerosos tipos silvestres Estos han tenido un papel muy importante en la evolución de las papas cultivadas.

La zona más rica en clones en Bolivia y Perú está entre los 3600-3900 m. Conforme se avanza hacia el norte o el sur hacia Colombia-Venezuela o Chile-Argentina, el número de clones disminuye marcadamente, y no todos los grupos de clones están representados en las áreas marginales.

La especie de mayor importancia económica para Bolivia, Perú, Ecuador y Colombia es Solanum andigenum Juz. et Buk. La profusión de cultivares andinos de papa dentro de las varias especies descritas para la región, ha originado una serie de platos que se consumen, sea al estado fresco o deshidratado, a lo largo de los Andes. Esta variación específica y varietal es más intensa en Bolivia y Perú, donde por otra parte las condiciones ambientales del altiplano - heladas frecuentes, grandes diferencias entre temperaturas diurnas y nocturnas, intensa radiación, baja humedad relativa, especialmente en el período seco que se inicia al final del ciclo productivo de la papa - permiten los procesos de deshidratación de tubérculos tanto amargos como dulces para su posterior consumo y almacenamiento. En esta práctica de la deshidratación del tubérculo, aparentemente habría más una superposición del ambiente físico sobre el humano, pues indagaciones en la ruta del Chimborazo, Ecuador, no arrojaron mucha luz sobre el cultivo de papas amargas, a pesar de que los agricultores parecían provenir del Centro de Perú, donde la elaboración de "chuño" y "tunta" ha sido y es una práctica común.

Los otros cultivos de granos y tubérculos andinos se complementan con la papa en la alimentación humana. La actual intensificación de las investigaciones en papa, especialmente en Perú y Colombia, sea en genética, taxonomía, agronomía, tecnología, etc., abre mayores posibilidades para incrementar su uso tanto en cantidad como en calidad, principalmente de proteínas. En este sentido, hay contribuciones de mérito, por ejemplo en el campo tecnológico, pero es evidente que estos avances no son suficientes por si solos para implantar masivamente una serie de innovaciones sociales y económicas, pues éstas chocan con dificultades de diversa naturaleza. Para superarlas se requieren planes de los gobiernos ubicados en un marco de transformaciones estructurales.

Importantes contribuciones sobre la taxonomía de la papa se encuentran por ejemplo en Cardenas (1969), Centro Internacional de la Papa (1972-73) y Hawkes (1973).

2. Producción, rendimiento e importaciones

La producción, la superficie cultivada, los rendimientos unitarios y el comercio internacional de papa por países aparecen en el cuadro 149.

En Venezuela han sido notorios los esfuerzos de autoabastecimiento y se han logrado progresos significativos en la producción de papa para consumo. Los niveles productivos alcanzados hasta 1968 van bajando a un ritmo sostenido en los últimos años y los pequeños déficits son cubiertos

Año	Superficie miles ha	Producción miles ton	Rendimiento kg/ha
Venezuela			
1967	16	133	8.2
1968	17	142	8.4
1969	16	124	7.8
1970	14	124	8.6
1971	14	115	8.3
1972	14	118	8.4
Colombia			
1967	79	800	10.1
1968	81	850	10.5
1969	84	900	10.7
1970	90	900	10.0
1971	85	789	9.3
1972	80	784	9.8
Ecuador			
1967	48	403	8.4
1968	49	517	10.5
1969	41	457	11.0
1970	50	400	8.0
1971	53	422	8.0
1972	56	445	8.0
Perú			
1967	272	1712	6.3
1968	251	1526	6.0
1969	293	1785	5.9
1970	315	1929	6.3
1971	320	1968	6.1
1972	387	1900	4.9
Bolivia			
1967	105	610	5.8
1968	88	598	6.8
1969	92	627	6.8
1970	95	656	6.9
1971	95	698	7.3
1972	100	700	7.0

Importaciones - Venezuela (ton)

Año	Semilla	Consumo y uso industrial	Total
1968	12,450	150	12,600
1969	16,160	5450	21,610
1970	17,470	1840	19,310

Importaciones - Perú (ton)

Año	Tubérculos	Productos elaborados*	Total
1969	201	8279	8479
1970	250	11427	11677
1971	201	9662	9863

Fuentes: ONEC, OPSA, Ann Est. Agrop. Venezuela, Min. Agr. Ec., FAO

* Harinas, sémolas y féculas

Figura 149 Papa; datos estadísticos.

con las importaciones. Las importaciones sí son significativas en lo referente a papa semilla, pues lo que se produce en el país es insignificante. El valor de estas importaciones representa en 1970 alrededor de 5 millones de dólares a precios de 1973 y es el mayor gasto entre los países andinos que importan papa.

En lo referente a rendimiento, Venezuela viene después de Colombia y Ecuador. La diferencia está en que mientras en Venezuela se siembra casi todo con cultivares de S. tuberosum procedentes de Canadá, Estados Unidos y Europa, en los otros dos países se utiliza simiente local de papa andígena principalmente.

A pesar de esta preponderancia de la papa "europea", hay una activa comercialización de papa andina procedente de Colombia, desde Pamplona a Nariño, y del norte de Ecuador, Carchi, hacia Venezuela. Parece ser un comercio no declarado que no se refleja del todo en las estadísticas. El valor de las importaciones implica buenas perspectivas para la producción de semilla de Fundación y certificada en los Andes de estos países para las siembras en Venezuela. La producción de simiente certificada dentro de los confines venezolanes es incipiente. El estado ha renunciado a favor de la Asociación de Productores de Papa la importación de los stocks de semilla. La estación experimental de Mucuchíes ya no produce semilla como lo hacía hasta 1967 en que entregaba variedades como Merideña, Guadalupe y Alpha para zonas específicas de la región andina.

En Venezuela los principales estados productores son: Mérida, Lara, Trujillo y Aragua. Del total de la superficie sembrada en 1970, 14,440 ha, se estima que unas 4 mil ha se cultivarían en los estados andinos de Mérida, Táchira y Trujillo, mitad con papas andinas y mitad con europeas en altitudes de 2000 a 3500 m. El resto, 10,400 ha, se produce en las zonas intermedias: 1000-2000 m y en las zonas bajas: 450-1000 m, donde se planta la papa europea.

Colombia se autoabastece de papa y su cultivo es poco mecanizado, ocupando el octavo lugar en importancia. El 80% de los productores de papa son pequeños agricultores (Perez, 1972).

La producción principalmente es de secano. En la disminución de la producción en 1972 han influído, entre otros factores, las condiciones desfavorables del tiempo y el uso de fertilizantes de bajo contenido fosfórico (Min. Agr. 1972).

Los rendimientos unitarios, aunque son considerados bajos, son los más altos entre los países andinos. Se estimó que en 1972 el 50% de las siembras fueron con variedades regionales antiguas y el resto con nuevas variedades obtenidas en el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA).

En orden de importancia los departamentos productores son: Cundinamarca, Boyacá, Nariño, Antioquia, Santander, Caldas y Tolima y Valle del Cauca.

Hay exportación clandestina de papa de consumo a Venezuela y Ecuador (Min. Agr. 1972). Mientras Colombia conforma su programa de producción de semilla básica de papa para exportar, se recomienda establecer normas de intercambio bajo control fitosanitario.

Colombia y Perú tienen los programas de investigación de papa mejor estructurados de la región andina. El principal centro de investigaciones en Colombia es Tibaitatá, ubicada en la faja altitudinal óptima, en Cundinamarca, que es el principal departamento papero. Las otras dos estaciones experimentales están en Surbatá (Boyacá) y San Jorge (Cundinamarca).

Ecuador se autoabastece de papa. Su producción es inferior en volumen al del resto de los países andinos, con excepción de Venezuela. Parte de la producción del norte del país se exporta a Colombia, pero este flujo no está declarado. En orden de importancia las provincias que sobresalen en la producción son: Cotopaxi, Pichincha, Carchi y Cañar.

En los planes de gobierno para papa (1973) se indican como objetivos el de reducir la superficie destinada en las áreas marginales en favor de los pequeños cereales; el de determinar ecológicamente tanto las zonas óptimas como las marginales y el de prestar asistencia técnica preferencial en las fajas altitudinales localizadas a 3000 y 3400 m en base a estudios fenológicos que se propicien. En la estrategia no se indicarían los pasos concretos para alcanzar realmente tales objetivos.

En cuanto a rendimiento, Ecuador ocupa el segundo lugar después de Colombia y en los últimos años el promedio nacional está estabilizado en las 8 ton/ha.

El programa de investigación de papa del INIAP tiene tres investigadores en la estación experimental de Santa Catalina, y mucha de la información obtenida procede de tal fuente (Garces, 1973).

Dentro de la producción agrícola peruana, la papa ocupa el primer lugar por el valor bruto de la producción y el segundo lugar por el hectaraje. Entre los países andinos, tanto por producción y superficie cultivada, ocupa el primer lugar, aunque los rendimientos son los más bajos al igual que en Bolivia. Perú, como Venezuela, ha importado papa en el trienio 1969-71, pero los volúmenes no son altos como en Venezuela. Las importaciones de Perú son más en productos elaborados como harina, sémolas y féculas. En cuanto a tubérculos, la cantidad más alta en el trienio citado fué de 250 ton. En 1972 se habrían importado alrededor de 13 000 ton de papa para consumo de Holanda y Canadá. Esto estaría relacionado con las sequías y heladas que se presentaron en la Sierra en el verano de ese año y que afectaron a los cultivos.

Los logros y problemas del rubro papa en relación con este estudio se los mencionará más adelante. Pero se debe destacar que la preocupación actual del país se centra en incrementar los rendimientos unitarios del cultivo, autoabastecerse y generar excedentes para su industrialización y exportación. En este sentido, la deshidratación de formas amargas, S. juzepzukü, S. curtilobum, S. ajanhuiri, y dulces, en las condiciones naturales del altiplano peruano, permiten la elaboración de harinas, de papa a bajo costo y en gran volumen. A tales condiciones se suma la organización de las unidades de producción dentro del proceso de reforma agraria. Lo que faltaría es implementar los procedimientos de deshidratación con métodos más eficaces, previo trabajo de laboratorio y campo.

En 1971, casi el 98% de la superficie cultivada corresponde a la Sierra y el resto a la Costa. En la Costa todo el cultivo es bajo riego y los rendimientos triplican a los de la Sierra, donde son alrededor de 6 ton/ha. En la Sierra el cultivo es prevalentemente de secano, siendo de un 13% la superficie regada. Los rendimientos unitarios para el país en la Sierra son en 1971 (fuente: Estadística Agraria, 1971):

- en secano.....5600 kg/ha
- bajo riego.....7500 kg/ha.

Los principales departamentos productores son: Junín, Puno, Huánuco, Ancash, Hauncavelica, Cuzco y Cajamarca.

En Bolivia, la papa es uno de los cultivos más importantes del país. Las zonas de producción están en el altiplano, valles, cabeceras de valle y de yungas.. Los dos únicos departamentos que no producen papa son Beni y Pando.

3. Variedades

En Colombia, de las 17 variedades mejoradas en el ICA las más comerciales son: Diacol Monserrate, Diacol-Capiro, ICA-Guantiva, ICA-Nevada y ICA-Puracé, que es la más difundida y abarca el 30% de la superficie cultivada (Perez, 1972).

Las variedades antiguas son de buena calidad, alto contenido de materia seca, pero bajo rendimiento: 10 ton/ha, y susceptible a hongos. En cambio las nuevas tienen alto rendimiento: 15 a 20 ton/ha, resistentes a hongos, regular calidad, excepto Monserrate que tiene excelentes cualidades en la industria de papa frita. Los rendimientos últimos mencionados son promedios para suelos pobres de páramo, que pueden duplicarse en la Sabana de Bogotá, hasta 30-35 ton/ha.

En la tabla 150 se presenta un resumen de las variedades mejoradas y tradicionales más importantes (según Estrada et al, 1970). Cuatro de las diez variedades mejoradas se informa que toleran heladas de -2° C: ICA-Tolima, Guantiva, Huila y Tenerife, mientras que ICA-Nevada en un año ha tolerado más que -5° C. La disminución del rendimiento como resultado de esta helada se calculó dentro del orden del 50-70% para los grupos de cuatro variedades y alrededor de 30% para ICA-Nevada. Estas heladas se produjeron alrededor de dos meses antes de la cosecha, y el rendimiento posible calculado en esos años era entre 11 y 14 ton/ha. Sin embargo, los valores mencionados deben considerarse como los máximos obtenibles en circunstancias óptimas. En estos cruzamientos se usan papas silvestres para cultivación. Los híbridos resistentes al frío se combinan con papas comerciales y en las selecciones también se busca mayor contenido de proteínas.

En Ecuador, la hacienda Santa Catalina, que está inmejorablemente ubicada para la investigación de la papa, ha producido una variedad: la Santa Catalina, que está ampliamente difundida en el país.

En la tabla 151 se presentan diversas características de esta variedad en comparación con las de cinco variedades locales.

La Santa Catalina se seleccionó en la estación experimental Santa Catalina de material procedente de Tibaitatá, Colombia. Esta procede de cruzamientos entre variedades ecuatorianas, colombianas y brasileñas (Albornoz y Otuño, 1969). Otros cultivares locales son Bolona, María y Uvilla.

A 3000 m, la variedad Santa Catalina es más precoz, en 15 días, en la formación de tubérculos, que Chola. Esta ventaja, en las condiciones de la hacienda La Pradera, Cotopaxi, habría influído en el mayor rendimiento de Santa Catalina cuando ambos cultivos sufrieron los efectos de heladas y granizadas.

Variedad	Tipo	Rendimiento ton/ha	Duración del cultivo meses	Resistencia a "gota" (Ph.i.)	Calidad culinaria	Calidad de almacenamiento	Areas de cultivo
Diacol-Monserrate	Mejorada	24	5	Muy buena	Excelente	Muy buena	Cundinamarca 2200-3000m
Diacol-Capiro	Mejorada	25	5	Buena	Regular	Regular	Antioquía y Nariño, 2000 a 3200 m
ICA-Puracé	Mejorada	35	5	Regular	Buena	Regular	Cundinamarca, Boyacá, Nariño y Antíoquia 2000 a 3000 m
ICA-Tolima	Mejorada	25	6	Muy buena	Buena	Regular	Cundinamarca, Boyacá, Nariño
ICA-Guantiva	Mejorada	27	5 1/2	Muy buena	Buena	Regular	Boyacá, Nariño, Cundinamarca, 2400-3400 m
ICA-Huila	Mejorada	30	4 1/2	Buena	Buena	Muy buena	Cundinamarca, Nariña
ICA-Quindío	Mejorada	25	5 1/4	Buena	Excelente	Muy buena	Cundinamarca, Caldas y Boyacá
ICA-Tenerife	Mejorada	25	5	Muy buena	Buena	Buena	Santander, Boyacá y Valle
PARDA-Pastusa	Mejorada	20	6	Poca	Buena	Regular	Boyacá, Cundinamarca 2500-3400 m
Tuquerreña	Antigua	15	6 1/2	Muy poca	Excelente	Muy buena	Boyacá, Cundinamarca 2800-3500 m
Tocana	Antigua	20	5 1/2	Muy poca	Buena	Mala	Boyacá
Ojona	Antigua	17	6	Poca	Buena	Buena	Boyacá, 2400 a 3400 m
ICA-Nevada	Mejorada	35	-	Ligera	Buena	Buena	-

Figura 150 *Variedades Colombianas de papa y sus caracteristicas.*

	Santa Catalina	Chola	Violeta	Tempranera	Jubaleña	Suscaleña
Ciclo productivo	195	210	200	160	180	180
Altitud m	3000	3000	2900	-	2600	2600
Tuberización	75	80-90	60-75	60	70	60
Resistencia a lancha	ligera	baja	baja	baja	-	-
Rendimiento ton/ha	30	8	25	-	-	-

Figura 151 Variedades ecuatorianas de papa.

En Perú se estima que en el 80% del área cultivada se tienen cultivares nativos de bajo rendimiento (algunos por debajo de las dos ton/ha), tardíos, susceptibles a enfermedades y a condiciones climáticas adversas (De la Puente, 1972). En el 20% del área cultivada restante está con variedades mejoradas como Renacimiento, Mantaro y Ticahuasi, que fueron las primeras en desarrollarse. Hay otras variedades más recientes, que se mencionan más adelante. En el Ministerio de Agricultura, Universidades de La Molina y el Centro y en la Asociación de Agricultores de Cañete fueron desarrolladas estas variedades.

De la Puente, Quijandría y Javier (1971) dan las características, tanto de las variedades nativas como de las mejoradas.(tabla 152). Los autores hacen notar que mucha de esta información que se da a continuación procede de lotes experimentales que son susceptibles de variación por influencia de factores como suelo, fertilización, clima y finalidades del cultivo (consumo o semilla).

Entre las nuevas variedades, la variedad Antarqui es particularmente interesante, aunque no muy difundida todavía. Esta nueva variedad comercial de papa es el resultado final de selecciones derivadas entre la subsp. tuberosum y la subsp. andigena (Saskia x Huagalina) x (Renacimiento x Libertas). Sus características sobresalientes son su precocidad y altos rendimientos, tolerancia al calor y amplio rango de adaptación a diferentes condiciones de clima y suelo. Florece ocasionalmente y es autoestéril.

Algunas de las variedades descritas muestran importantes diferencias en características tales como la iniciación de la tuberización, la tasa de acumulación de peso y la duración de este período. Más adelante se dan algunos detalles, ya que tienen cierta importancia en la determinación de la fecha de plantación, no sólo en vista de la disponibilidad de agua sino en particular para evitar las heladas.

El mejoramiento de las papas amargas, cultivadas encima de los 3500 m y microtérmicas, tales como S. juzepczukü, S. curtilobum, S. ajahuiri, está empezando a recibir atención en Perú. Los trabajos iniciales sobre fertilización en formas amargas, ahora abarcarán otros aspectos como evaluación del germoplasma, mejoramiento genético, agronomía, procesamiento e industrialización (Christiansen, 1972). En lo referente al germoplasma, el Centro Internacional de la Papa con sede en Lima, tiene un rol de importancia para completar la exploración en los países andinos.

VARIEDADES MEJORADAS

	Renacimiento	Mantaro	Ticahuasi
Lugares de siembra	Sierra en general, Costa Central y Norte (Virú), mayor demanda norte y centro	Sierra sur (Puno-Arequipa)	Costa Central, Sierra Central y norte
Tuberización	Tardía	Irregular	Temprana y rápida
Período vegetativo	160-180 días	150-165 días	125-150 días
Rendimientos	30-40 ton/ha, tubérculos grandes y medianos	20-30 ton/ha, tubérculos grandes	30-50 ton/ha, tubérculos muy grandes
Calidad	Regular	Buena	Muy mala
Resistente a	Heladas y Mosca minadora	-	Rizoctonia en costa
Susceptible a	Enfermedades virósicas, Wilt (Fusarium) verdeo en almacén	Rancha, Verruga, y Enfermedades virósicas y heladas	Wilt (Fusarium), Pierna Negra (Erwinia), humedad y Podredumbre rosada (P. erythroseptica)
Tolerante a	Rancha y Verruga	Wilt (Fusarium sp)	Rancha
Otras características	Exigente en agua	Buen poder de conservación	Tendencia a producir corazón vacío, de poca conservación en el suelo, exigente en oportunidad y dotación de agua

VARIEDAD MEJORADA CON LIMITADA PROPAGACION

NUEVAS VARIEDADES

	Antarqui	Huarena	Mariva
Lugares de siembra	De amplia adaptabilidad	Sierra Norte, Central y Sur	Sierra Central y Sur, Costa Central y Sur (Tacna)
Tuberización	Temprana	Lenta y tardía	Temprana y rápida
Período vegetativo	105-120 días	150-180 días	120-140 días
Rendimientos	30-40 ton/ha, tubérculos grandes y uniformes	30-40 ton/ha, buen % de tubérculos comerciales	20-40 ton/ha, buen % de tubérculos y de tamaño comercial
Calidad	Muy buena	Muy buena	Muy buena, alto contenido de materia seca
Resistente a	Verruga	-	Rizoctoniasis en costa
Susceptible a	Rancha	-	Heladas, granizadas y exceso de humedad
Tolerante a	Altas temperaturas	Rancha, sequía, heladas y granizadas	-

Figura 152 Variedades mejoradas de papas peruanas.

	Antarqui	Huarena	Mariva
Otras características	Tuberización compacta y cercana al tallo	Período de brotamiento muy largo. Buen poder de conservación	Período de reposo 30-45 días. Excelente para papa frita

VARIEDADES NATIVAS

	Chata Blanca Ojo Violeta de Huasahuasi	Imilla Negra, (Yana Imilla)	Compis
Lugares de siembra	Costa y Sierra Central	Puno y Arequipa	Sur del Perú (Dpto. de Cuzco)
Tuberización	Intermedia	Intermedia	Intermedia
Período vegetativo	165-180 días	140-160 días	140-160 días
Rendimientos	15-20 tm/ha	10-15 tm/ha	10-15 tm/ha
Calidad	Buena	Buena	Excelente
Susceptible a	Rancha, Verruga, Rizoctoniasis y virus X-Y-S	Rancha, Verruga, Rizoctoniasis y enfermedades virósicas, heladas y a los nematodes	Rancha, Roña, Verruga, Rizoctoniasis y heladas
Otras características	Buena aceptación en el mercado para papa frita.	Buena aceptación en los mercados de Arequipa y Puno tanto para consumo como para semilla	Buena aceptación en el mercado de Sierra sur, tanto para consumo como para semilla

Figura 152 *Variedades mejoradas y nativas de papas peruanas.*

Aquí conviene recordar lo dicho en el capítulo de Colombia, en relación con las exploraciones y la recopilación de datos culturales (de fuente campesina), no solamente en lo concerniente a la papa sino también a los otros tubérculos menores. En este sentido, las colecciones de razas de maíz hechas en el pasado, tienen que ser superadas con la organización de equipos multinacionales andinos. En la evaluación del material se recomienda la organización de una red de ensayos a lo largo de los Andes y dentro de una concepción continental, en que estén incluídos los estudios fenológicos y agrometeorológicos.

En Bolivia, hay que señalar que variedades de papa europea florecieron a campo en condiciones de día corto, cuando fueron desarrolladas de semilla botánica (Gandarillas et al, 1965). En la estación experimental de Chinoli se obtuvieron buenos resultados con variedades adaptadas a las altitudes de 3500-4000 m. Se recomienda Sani Imilla, con un ciclo de 140 días y rendimientos hasta de 14-15 ton/ha, con lluvias de 300 mm durante la temporada de crecimiento. Otras variedades locales pueden tener un rendimiento similar, pero esto resulta contrarrestado por una calidad muy inferior y una elevada susceptibilidad al granizo y la helada. En parcelas testigo con fertilización adecuada esta variedad rindió hasta 22 ton/ha. La respuesta al fertilizante es muy buena y puede triplicar la producción, lo cual representa un valor de diez veces el costo del fertilizante.

4. Epocas de siembra

En Venezuela hay dos épocas: verano e invierno y una tercera, llamada de nortes, de menor importancia. En invierno tanto la superficie como la producción son mayores, y en verano los rendimientos son superiores. En verano va del 10 de febrero al 15 de marzo y la cosecha se hace del 10 de junio al 31 de julio. La siembra de nortes va del 15 de agosto al 15 de septiembre, y se cosecha del 1° de diciembre al 31 de enero. La semilla utilizada en ambas siembras es la europea, o sea la importada, y la "Pasilla", que es el descarte de la importada durante las inspecciones para la certificación. En cuanto a la papa colombiana, por ejemplo Monserrate, de acuerdo a los datos disponibles y tal como se vió en ciclo productivo, la época de siembra coincide con la de veranc, igual que en Negra Venezolana, pero las fechas de cosecha difieren notablemente y abarcan hasta diciembre y enero. respectivamente.

Burgos (1965) anota que en toda la región andina de Venezuela, la temperatura del aire en la fecha de siembra del tubérculo es de las mayores del mundo, debiéndose esto a la poca variación anual de la temperatura, característica común a todas las regiones ecuatoriales. Por otra parte, menciona que en los Andes Venezolanos los períodos libres de heladas son prolongados y como consecuencia se tiene mayor disponibilidad de tierras para las siembras. Da el caso de Mucuchíes para un ejemplo concreto en la planificación de siembra de papa simiente. Por esta importante contribución se ve la discusión detallada anteriormente.

En Colombia, hay dos épocas de siembra durante el año, una para cada semestre, lo cual permite obtener dos cosechas por año. La época principal es la de "año grande". Entonces se siembra en enero y febrero para cosechar en agosto-septiembre. La otra, que es secundaria, es la llamada de "mitaca", con siembras de mayo-junio para cosechar en enero-febrero.

Las siembras de "año grande" son las más seguras y las más preferidas, porque no hay tanto peligro de heladas como en las de "mitaca". Además en el "año grande" las lluvias están mejor distribuídas y hay mejores rendimientos. El 60% de los cultivos corresponden al primer semestre y el 30% al segundo. En ambas épocas las siembras deben adelantarse en 15 a 30 días a las primeras lluvias de semestre.

El ciclo productivo varía con las variedades de 4 a 6 meses, las más tardías tienen hasta 7 meses de acuerdo a la altitud en que son cultivadas. En el cuadro de variedades aparecen los ciclos, aunque la información varía con los autores para algunas variedades y posiblemente se debe a que las localidades no están bien especificadas.

En Ecuador hay dos épocas de siembra, la principal es la de mayo, y luego la de noviembre. Con estas épocas se trata de aprovechar bien las lluvias y evitar la temporada de heladas.

En el norte el período de siembras es más amplio que en el centro del país. Las dos épocas son de mayo a julio y de noviembre a diciembre. Esta segunda época, en ciertos microclimas como la hacienda Chitan, Montufar en Carchi es más extendida: va desde la segunda quincena de octubre a mediados de febrero, pues no hay heladas. Aquí llueve más que en Pichincha y el período lluvioso va de febrero a mayo.

Se mencionó que en Perú en 1971 el 87% de la superficie cultivada en la Sierra es de secano y el resto de riego. Como consecuencia, las épocas de siembra en secano son en primavera y coinciden con el incremento de las temperaturas y el gradual aumento de la humedad del suelo y del aire por efecto de lluvias y nubosidad más acentuada. El mes óptimo para estas siembras es octubre, variando desde septiembre a noviembre según altura, latitud, etc. La cosecha de lo sembrado en primavera se hace de marzo a junio. Las primeras heladas se presentan en marzo y el efecto varía según se trate de variedades dulces o amargas de papa. Esto nos dice en líneas generales que el ciclo productivo fluctúa alrededor de siete meses para el gran volumen productivo en la Sierra. El comportamiento varietal por localidades y alturas se da en el cuadro de variedades.

Para los cultivos a riego el ciclo se cumple entre fines de invierno e inicio de verano, pero con variedades más precoces cuyos ciclos fluctúan así: Merpata, 4 1/2 meses, Mariba 4 meses y Huarena 5 meses en las condiciones del Valle de Mantaro, a 3100 m de altitud en Junín. Las siembras se inician a fines de julio y el ciclo concluye a mediados de diciembre (Javier, 1973), dandose tres riegos en todo el ciclo y completándose la madurez con las lluvias de fin de año: noviembre-diciembre. Estas siembras escapan al ataque del tizón. En el norte, en Cajamarca los cultivos de riego se adelantan, pues la época de siembra es abril-mayo. Ocurre lo mismo con los cultivos de secano, que se adelantan y se siembra en junio-julio; así en Tambo Santa Ursula, a 2750 m, en abril se cosechaban cereales rotándose con papa, a sembrarse en junio-julio. El cultivo se hacía en terrenos bastante húmedos y como consecuencia los surcos se levantan para un mejor drenaje. Estas siembras, que se llaman de "campaña grande", serían los cultivos principales en relación con la "campaña chica" de abril-mayo. En Cajamarca, según Navarrete, el ciclo productivo de las papas fluctúa entre los seis meses. Estas variaciones regionales estarían en función de la humedad relativa que parece ser mayor al norte. El centro del país, aunque a menores alturas como en el Valle del Mantaro, es más seco, y lo mismo en el sur. En el sur está el segundo departamento papero, Puno, 3800 m. No se dispone de información sobre cultivos bajo riego en el segundo semestre del año, aunque algunas condiciones, especialmente las temperaturas, son más severas que en el centro.

En Bolivia, los momentos de siembra y de cosecha de la papa son similares a los de Perú. El cultivo de secano está determinado, por supuesto, por la disponibilidad de agua y por el período libre de heladas. Sin embargo, hay que anotar dos diferencias. La siembra se hace en octubre-noviembre, cuando el suelo todavía está seco, ya que las lluvias de importancia empiezan sólo en diciembre y terminan en marzo. Más adelante, surge que el ciclo de crecimiento tiende a ser más corto que en la mayoría de las variedades peruanas, y a veces a durar sólo un mes. Estos dos factores explican algunas de las adaptaciones a un ambiente que, de otro modo, no permitiría el cultivo de papas. La papa, aparentemente, puede permanecer durante varias semanas en un estadio latente hasta el inicio de las lluvias, que puede ser extremadamente variable. Una vez que ha germinado, puede completar su ciclo en unos 180 días a 3500 m, mientras que las variedades mejoradas pueden crecer a esa altitud en un período tan corto como 130-150 días.

Asociación: La papa se siembra sola en general. Sin embargo, mediante encuestas hechas en Antioquía, Colombia, se informa que si bien el 85% de los agricultores la siembra sola, un 10% asocia la papa con frijol, y un 5% con maíz.

Rotación: En Manizales, Caldas, se observan cultivos de papa dentro de esta rotación:

- Papa sola: 3-4 años
- Pasto: 7-10 años, con kikuyo y trébol blanco
- Papa de nuevo: 3-4 años.

En los pastizales y papales en toda esta área, a los 2700 m, con lluvia de alrededor de 2000 mm y cultivos en pendientes de 50%, se observa un sistema de curvas que controlan los escurrimientos.

5. Ciclo de producción

Las tentativas para el incremento de la producción de papa simiente en los Andes de Venezuela para hacer de esta región un semillero para el país, han merecido un importante estudio como el de Burgos (1965), quien analiza las características bioclimáticas de la papa y su asociación con su agroclima. Los índices que señala para ello están agrupados de acuerdo con los elementos climáticos limitantes del cultivo y los favorables para completar su ciclo de producción. Burgos propone planificar las siembras de papa en base al régimen de heladas imperantes en Mucuchíes (Mérida) y las condiciones existentes en otras regiones de los Andes como Huancayo, Perú.

Con respecto al interés metodológico del trabajo referido, se han extractado las partes que se relacionan más particularmente con las consideraciones agrometeorológicas concernientes a la producción de papas para semilla en los Andes venezolanos.

La época o fecha de siembra de papa simiente en casi todo el mundo está determinada por el régimen de heladas, porque en los climas templados y fríos este fenómeno impide la vida de tejidos verdes y aun del mismo tubérculo durante cierta parte del año. Además, como el período sin heladas en el año es en esas regiones relativamente corto, no existe posibilidad de seleccionar la época de acuerdo al régimen hídrico. Es decir, que toda región que carece de la humedad suficiente durante el período vegetativo de la papa necesitará riego; de lo contrario, es imposible realizar el cultivo.

En el ambiente andino es necesario tener en cuenta estas consideraciones al planificar las siembras de papa. En primer término, debe contarse con simiente que haya roto normal o artificialmente su descanso. Luego, la siembra debe efectuarse teniendo en cuenta el régimen de heladas (si el fenómeno existe). Por último, debe adaptarse al régimen hidrológico y, si éste fuera insuficiente, proveerle agua artificialmente.

Debemos añadir, teniendo en cuenta que en una gran parte de la región andina no ocurren heladas, que es posible planificar las siembras según la época en que debe utilizarse la simiente, en las regiones de producción de papa para consumo, es decir, a menores alturas, a fin de proveer el tubérculo que haya cumplido satisfactoriamente con su descanso.

Como ejemplo de planficación de siembra de papa simiente en los Andes elegiremos la localidad de Mucuchíes. Además de tratarse de un lugar donde ya se produce este tubérculo, tiene un registro de observaciones meteorológicas suficiente para tal fin.

Hemos calculado, para las primeras y últimas heladas, la curva de probabilidad integral que muestra la figura 153 y sobre ellas hemos superpuesto la curva observada. De ese cálculo se puede deducir, y también apreciar en el gráfico, que después del 6 de marzo sólo ocurren heladas en un año de cada cinco; es decir, que después de esa fecha solamente en el 20% de los años es probable que ocurran heladas.

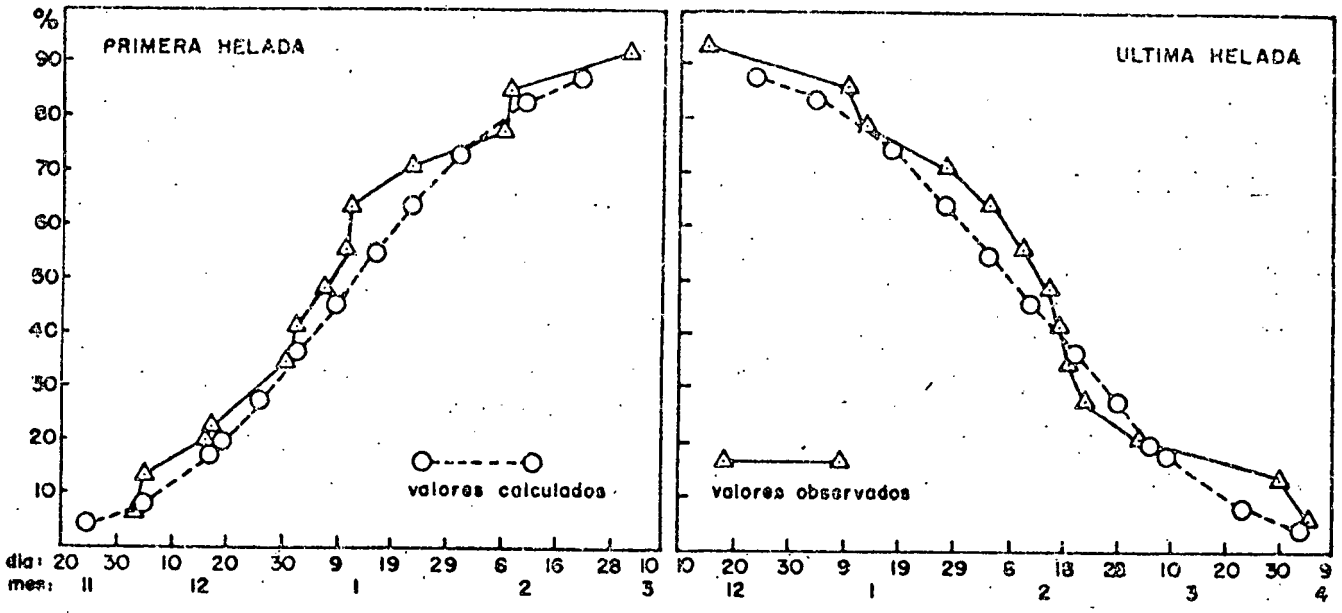


Figura 153 *Curva de probabilidad de las primeras y ultimas heladas en Mucuchies.*

En un trabajo anterior (Burgos, 1946) se señaló que tanto en las regiones templadas del hemisferio norte, como en las del sur, el agricultor efectúa sus siembras de papa por lo general de 25 a 28 días antes de la fecha del 20% de riesgo de heladas. Creemos que esta conclusión también es valida para la región andina de Venezuela. Por tanto, el día promedio de siembra que cubre ese mismo riesgo sería el 9 de febrero.

Ahora bien, como la región de Mucuchíes tiene un tipo agroclimático de gran período libre de heladas (A_3), la época de siembra más conveniente se puede establecer luego, según el régimen hidrológico y según las necesidades de abastecimiento.

De acuerdo a lo observado en la figura 154, el balance hidrológico de Mucuchíes es deficiente en los meses de enero, febrero y marzo. Es decir, que la papa sembrada en febrero debe pasar casi dos meses en condiciones de baja humedad. Sin embargo, debe señalarse que la falta de humedad en el suelo desde la siembra hasta el nacimiento, en el caso de la papa no es tan grave como ocurriría en otros cultivos que provienen de semillas sin reservas de agua.

Considerando como duración normal del período vegetativo de la papa 120 días, el cual en Mucuchíes puede ser mayor por la seguía de febrero y marzo, así como por las bajas temperaturas durante el desarrollo, podemos decir teóricamente que una variedad sembrada el 9 de febrero podría cosecharse el 9 de junio. Suponiendo que el descanso necesario fuera de 90

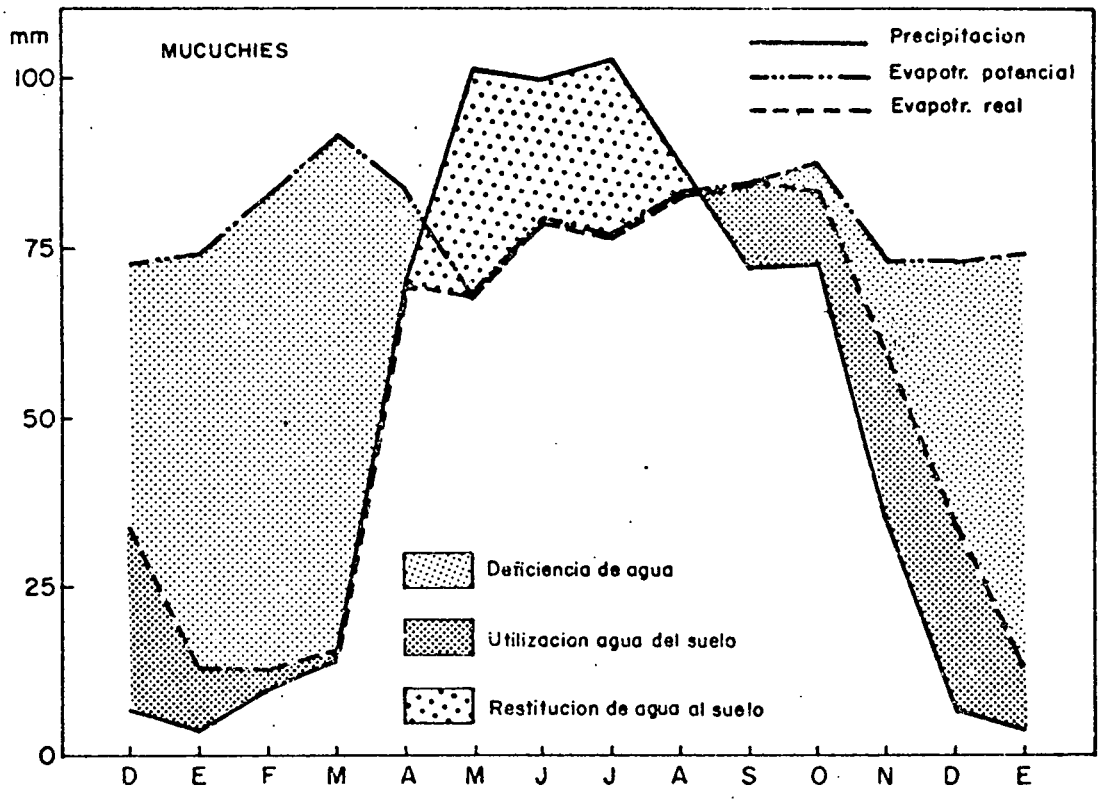


Figura 154 Balance hidrico para Mucuchies segun el metodo de Thornthwaite con datos de ET calculados segun Penman.

días, la variedad estaría en condiciones de ser entregada para la siembra del 8 de septiembre; en esta época ocurren aproximadamente las siembras "del Norte", en algunos estados centrales del país.

Después del 9 de febrero, es posible la siembra en cualquier fecha hasta el día 20 de agosto, considerando ésta como la última fecha de siembra posible debido a las limitaciones de las primeras heladas. La siembra del 20 de agosto podría cosecharse teóricamente el 19 de diciembre. Antes de esta fecha existe la probabilidad de que hiele en el 20% de los años (P = 20%). La papa cosechada en diciembre estaría apta para la siembra el 19 de marzo, época en que podría utilizarse para las siembras llamadas "de invierno" en las regiones bajas y húmedas del centro del país.

Resumiendo, podemos afirmar que el período de plantación o siembra de la papa simiente en Mucuchíes empieza el 9 de febrero y termina el 20 de agosto. La cosecha puede realizarse entre el 9 de junio y el 15 de diciembre.

Además, conviene hacer notar que las primeras siembras pueden sufrir la falta de humedad del suelo al principio, y un exceso de agua en el período final. Sin embargo, consideramos que el descenso diario de la temperatura a 10° C o menos durante el período más caluroso del año, puede constituir un control natural del tizón tardío o "candelilla" (Phitophtora infestans) que tanto daño ocasiona en otras regiones semilleras.

En las demás localidades de los Andes, la planificación de siembra debe hacerse según el régimen hidrológico y la demanda de simiente. En el análisis de los valores de Pueblo Hondo puede observarse que las mejores

épocas de siembra, de acuerdo a las disponibilidades de humedad, serían los meses de marzo y septiembre; las cosechas tendrían lugar en julio y enero respectivamente. En Sanare la época de siembra va desde marzo hasta septiembre, con el fin de evitar la sequía periódica de enero, febrero y marzo.

Por último, señalaremos que en localidades tan húmedas como San Cristóbal y Mérida puede sembrarse prácticamente la papa durante todo el año. Aquí, sin embargo, es posible un desarrollo peligroso del tizón tardío, cuando los últimos meses del período vegetativo coinciden con los meses más lluviosos. En estos casos quizás sería más conveniente programar las siembras para el mes de septiembre u octubre, puesto que las que se efectúen después de marzo puedan ser afectadas severamente por la enfermedad.

Entre los cultivares de papa europea que más se adaptaron a las distintas altitudes se mencionan:

entre 400 y 1500 m: Sebago, Red Pontiac;

entre 1500 a 2500 m: Alpha, Saco y Profijt.

La más popular es Sebago, a pesar de su susceptibilidad a enfermedades. Además demostró un amplio rango de adaptación, pues llega hasta los 3200 m. El ciclo productivo de papas europeas y andinas se dá en el cuadro 155 conjuntamente con su adaptación altitudinal y rendimientos.

Variedad	Altitud m	Localidad	Ciclo días	Rendimiento ton ha
Alpha y Draga	1900	Pueblo Hondo	90	9
Alpha	2800	La Venta	120	20
Sebago	<2500	Lara y Carabobo	100	-
Sebago	2500-3000	-	120	-
Monserrate	3000	San Rafael	310	20
Negra	3400	La Ovejera	340	-

Figura 155 Ciclo y rendimiento de algunas variedades de papa.

Sebago alarga su ciclo con el aumento altitudinal y también cuando se acorta la duración del día. Bajo estas condiciones Sebago se hace más tardía que los 120 días mencionada. Hay que considerar también la distribución de las lluvias. Cuando las lluvias son irregulares el ciclo de crecimiento se alarga y a menudo se trata de completar el ciclo con riego suplementario, normalmente una vez por semana.

Las papas andinas de Venezuela, como Merideña, Negra y otras, son tardías y se llaman "papa de año", lo cual implica un ciclo de cerca de un año. Por ejemplo, Negra abarca desde 1° de marzo a enero. Las papas colombianas se comportan igualmente como tardías. Se adaptan a mayores alturas que las europeas y las superan en rendimiento. Esta adaptación está asociada con una resistencia mayor a la sequía y heladas (Mittelhozer, 1966). El ciclo de Monserrate va del 8 de marzo a diciembre en San Rafael, Mucuchíes.

En Mérida, en el trayecto de Pico del Aguila a Timotes, observamos pequeños lotes con papa a 3500 m.

Mittelholzer (1963) informa los rendimientos de cerca de 150 variedades de papa europea y andina en relación con la altitud. Concluye que las europeas se adaptan bien entre 0 y 1500 m y las andinas entre 2500 y 3500 m. En regiones de 1500 y 2500 m, pueden ser utilizadas ambas papas indistintamente. Los máximos rendimientos, como se ve en el gráfico adjunto, ocurren alrededor de los 500 m para las europeas, y para las andinas a los 3000 m (figura 156).

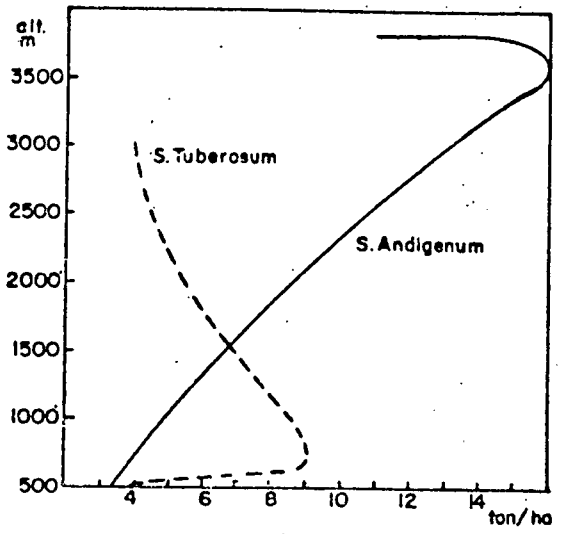


Figura 156 *Rendimientos de variedades de papa europea y andina en relación con la altitud.*

En Colombia la producción comercial de papa está en las zonas frías y de páramos entre 2000 y 3500 m y la zona óptima está alrededor de los 2500 m en la sabana de Bogotá y otros altiplanos. Para la producción de semilla se recomiendan las fajas entre 3000 y 3500 m.

La altura mínima fluctúa en los 1000 m y su variación depende del origen de la semilla, y la máxima iría hasta los 4000 m. En Caldas, hacia el Nevado Ruiz, se ven cultivos hasta 3800-3900 m. Un buen porcentaje de papa de consumo se da en los páramos, 3000-3500 m, donde los rendimientos por hectárea son muy bajos debido a la escasa fertilidad de las tierras, deficiente radiación solar y temperaturas bajas.

La temperatura va de los 7° a los 17° C. En la faja óptima de producción comercial la temperatura promedio es de 14° C. La temperatura crítica para tuberización es de 14° a 18° C. A mayor temperatura y duración de luz más larga se desarrolla el follaje pero no tuberiza. Así, las zonas bajas, donde la temperatura media es de 28° C, son inadecuadas para papa.

El siguiente factor en importancia es la precipitación. En la faja óptima, en Tibaitatá, el promedio anual es de 750 mm y generalmente la distribución es adecuada para completar el ciclo productivo. Durante el primer semestre estas lluvias se suceden en abril, mayo, junio y en el segundo semestre durante octubre, noviembre y diciembre, de tal manera que se producen dos cosechas al año. En la sabana de Bogotá, donde está Tibaitatá, hay otros lugares donde llueve menos. Con alrededor de 400 mm por mala distribución se requiere riego suplementario, y en promedio se dan tres riegos en los períodos críticos. En el altiplano de Tunja, Boyacá, que va en segundo lugar en producción, a una altura de 2700 m se tiene una temperatura promedio de 15° C, la precipitación es de 880 mm.

En Colombia no habría problema de fotoperíodo en la producción de papa (Lujan, 1973, inf. pers.). Según Arango (1973), con una menor intensidad solar la tuberización se retarda incrementándose el rendimiento.

En Ecuador, la altitud mínima está a 2500 m, donde se cultiva en condiciones económicas. En los valles más bajos no se dan tales condiciones, con excepción de algunos microclimas, que sin embargo son muy secos. La máxima altura es de 3500 m en Cotopaxi, y posiblemente en Pichincha, Carchi. En Sanjapamba, Tunguragua, a 3550 y 3600 m, observamos cultivos de papa

Uvilla y Chola con un ciclo de alrededor de 9 meses. En las partes altas el mínimo promedio sería de 7 meses para el ciclo productivo (Garcés, 1973).

La altura óptima, tanto para consumo como para producción de semilla, es de 3000 m. La estación experimental de Santa Catalina tiene esta altura y la variedad Chola, que es nativa, tiene un ciclo de 6 meses. Ascendiendo 100 m sobre esta altura óptima el ciclo se alarga un mes más, y bajando 200-300 m, con la misma variedad, el ciclo se acorta en 15 días. En la zona óptima por altura la temperatura ambiente es de 11° C y la precipitación es alrededor de 1000 mm con una distribución buena. Más al norte, en Carchi, llueve alrededor de 1500 mm y en el sur, en Cuenca, Cañar, llueve menos, siendo más frecuentes las sequías.

A mayores alturas, hacia el páramo, aumenta la niebla, y la humedad relativa aumenta consecuentemente. Esta menor iluminación y mayor humedad favorece las enfermedades, aunque la intensidad de los ataques depende de la época de siembra. Estas zonas nebulosas son recomendadas para la producción de papa simiente sólo por las bajas temperaturas.

Los vientos fuertes de verano, debido a que arrastran polvos ocasionan el enrollamiento de las hojas y el languidecimiento del follaje.

En Perú, las alturas máximas para papas dulces están a 3900-4100 m, pudiendo ir las papas amargas un poco más alto. Las alturas mínimas en la Sierra estarían a 1800 ó 2000 m. La altura óptima podría considerarse que está alrededor de los 3000 m, tomando como referencia la superficie cultivada en 1971. Para ello, en el cuadro 157 se dan algunos datos, donde fuera de considerar los otros elementos como climáticos y suelo, para un análisis más completo.

Departamento	Superficie cultivada ha	Rendimiento kg/ha secano	Rendimiento kg/ha riego	$\bar{P}$ mm	$\bar{T}$° C
Cajamarca (Norte) 2600 m, 6-7° S	18,650	5800	8200	600	15.5
Junín (Centro) 3100 m, 11-12° S	67,700	5500	8000	700	12.5
Puno (Sur) 2800 m, 15-16° S	50,300	5150	6200	600	9.5

Figura157 Datos de cultivación de papa en Perú.

Estos rendimientos se han obtenido en el año agrícola 1971-72 bajo condiciones inferiores a las indicadas por los promedios de lluvia y temperatura para la duración del ciclo.

En Perú, según Ochoa (1965), los requerimientos de temperatura para una buena producción comercial fluctúan entre 10 y 15° C y las extremas en temperatura media varían entre 8 y 24° C. Se ha probado que la sangre tuberosum tiene mayor amplitud de adaptación a temperaturas elevadas que las variedades de origen andino.

Un ejemplo de una variedad mejorada con una buena adaptación a temperaturas más altas y un ciclo de crecimiento más corto es Antarqui, que es comparada a continuación con una variedad local promedio.

	Ciclo días	Inic. tuber.	Rendim. kg/ha	Tolerancia temp.	Consumo agua mm
Antarqui					
Costa	105	35-40	35-40	18-24	250-300
2-3000 m	100-110	-	-	-	300-400
3-4000 m	120-130	-	-	-	300-400
Criollo					
Costa	150-180	50-60	5-10	20	500-600
2-3000 m	150-200	-	-	-	500-600
3-4000 m	200-240	-	10-15	-	500-700

Figura 158 Comparacion entre una variedad criollo y una mejorada.

Antarqui es moderadamente resistente a Phytophtora y resistente a Synchytrium. Sin embargo, debido a su corto ciclo de crecimiento, se compara aún más favorablemente con las variedades tradicionales en este aspecto. La cantidad de materia seca y su composición es aproximadamente la misma ó levemente mejor que en otras variedades mejoradas. Aparte de las diferencias entre variedades, Moreno (1972) notó diferencias netas en composición química entre las papas de la Costa y las de la Sierra.

En un primer experimento se ha demostrado que los tubérculos de papas de una misma variedad crecidos en la Costa y en los Andes del Perú son diferentes. Tres variedades híbridas (KB-89, Antarqui-165 y KB-148) y una variedad nativa (Chata Blanca de Huasahuasi), sembradas en la Costa a 230 m (La Molina, Lima) y en los Andes a 3400 m (Socayaco, Huasahuasi), produjeron tubérculos que difieren en su composición química. Los tubérculos de los Andes tenían mayor contenido de aminoácidos libres que proteicos, mientras que los tubérculos crecidos en la Costa presentaban la situación inversa. Por otro lado, en los tubérculos de la Sierra la glutamina es la amida que predomina, mientras que en la Costa predomina la asparagina. La cantidad de proteínas solubles es mayor en los tubérculos desarrollados en la Costa.

La fisiología de la papa ha sido estudiada por varios investigadores (por ejemplo, Li et al, 1972), a raíz de lo cual se observó que generalmente el ritmo de crecimiento de la planta y la duración de cada fase se medían en días. En la zona de la Costa esto no crea problemas serios, ya que la disponibilidad de agua, a través del riego, siempre es suficiente, y que también la temperatura y la intensidad lumínica son prácticamente constantes, al menos durante la temporada de crecimiento. En la Sierra, sin embargo, el cultivo crece con riego parcial o completamente a secano, y tanto la intensidad lumínica como la temperatura pueden fluctuar notablemente durante cada fase del desarrollo de la planta. En consecuencia, la duración de una fase puede variar conforme a ello.

El contar la duración de cierta fase en días en lugar de hacerlo, por ejemplo, en unidades de temperatura acumulada, hará difícil comparar los experimentos realizados en años diferentes o en el mismo año en lugares diferentes. En tales casos será igualmente difícil evaluar el potencial productivo.

Entre otros, han realizado interesantes estudios Javier (1968), Villachica (1968) y el Centro Internacional de la Papa (Lima), pero éstos salen de los límites de la presente encuesta.

Las mayores alturas que se alcanzan con el cultivo de la papa están en Bolivia y Perú. Estos dos países tienen la mayor variación específica y varietal. Los rendimientos son bajos en Bolivia y a los factores climáticos y edáficos se suman los tecnológicos y económicos para que se mantenga esta situación.

En Bolivia, las papas crecen a casi todas las altitudes a partir de 320 m, con un ciclo vegetativo que abarca de 90 a 200 días, hasta los 3900 a 4000 m, con un ciclo vegetativo de alrededor de 150 días. Las variedades cultivadas a mayores altitudes son más harinosas. La siembra se efectúa en octubre-noviembre, cuando la estación es todavía seca. A elevada altitud, la floración se produce después de tres meses y la maduración tiene lugar en abril con períodos importantes de lluvia desde diciembre hasta febrero. Las papas cultivadas en Bolivia no son muy resistentes a las enfermedades. Hay una buena respuesta a los fertilizantes de N y P. El rendimiento normal está entre 5 y 7 ton/ha, con máximas de 9 ton y un 30% de pérdidas debidas a enfermedades, mal trato, etc. Las variedades mejoradas han mostrado rendimientos de 10-14 ton/ha.

Las áreas nuevas de cultivo bajo riego han sido establecidas en zonas más bajas como han sido las de Comarapa en el trayecto Cochabamba-Santa Cruz y en el Chaco, localidades que están por debajo de los 2000 m. Las siembras comerciales en Comarapa se hicieron con papa andina. Estas incursiones se han debido a los fuertes impactos de heladas y sequía ocurridos en el altiplano, donde se perdieron los cultivos en 1956. Además las migraciones de agricultores del altiplano y valles al trópico de Santa Cruz ha iniciado otra etapa de cultivos de invierno, sin riego, con simiente también andina. Estos cultivos son restringidos.

Se resume en la figura 159 la duración media del ciclo de crecimiento de la papa en relación con la altitud y la latitud. La duración del ciclo refleja claramente las condiciones en la zona ecuatorial con temperaturas medias de 12° C aproximadamente a 3000 m de altitud durante el año, y las regiones montañosas tropicales donde las temperaturas medias durante la estación de crecimiento son aproximadamente de 4-8° C más altas a la misma altitud.

6. Heladas y sequías en los Andes

Aparte del análisis de la ocurrencia de heladas, tal como el que hizo Burgos (1965) para Venezuela, hay que hacer algunas observaciones acerca de los efectos combinados de la sequía y la helada especialmente en la tuberización de las papas.

A medida que se asciende en los páramos, valles, altiplanos y contrafuertes andinos, las heladas son un factor limitativo en la producción de tubérculos. Los períodos de sequía pueden estar asociados con las heladas. Coinciden otros factores, como las intensas radiaciones y los consiguientemente altos valores de evapotraspiración.

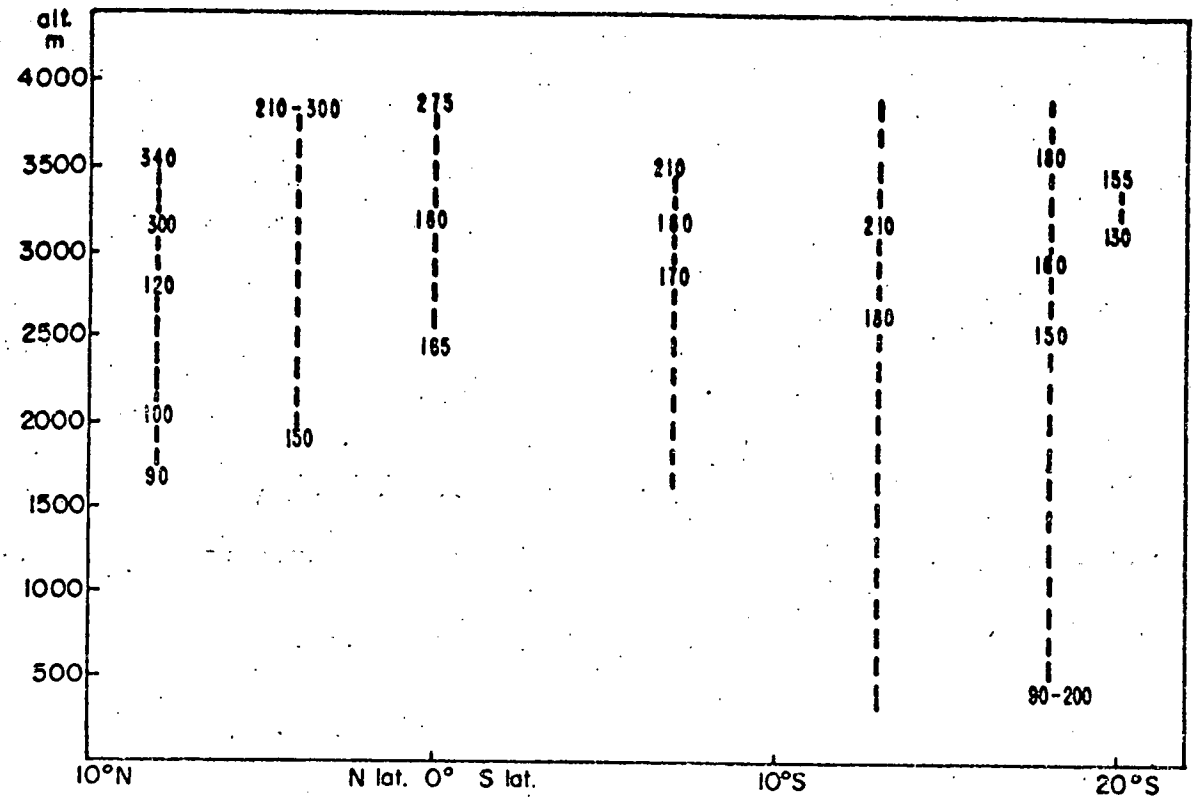


Figura 159 Duracion del ciclo vegetativo para diferentes latitudes y altitudes.

Como se sigue del análisis de las heladas en el capítulo sobre temperatura, hay que esperar un aumento de las heladas con la elevación de la altitud, tanto en la cantidad de días de helada como en su severidad. Es normal, sin embargo, considerar que debido al estancamiento de masas de aire enfriadas por la radiación infrarroja, las heladas son más frecuentes en las llanuras que en las zonas montañosas. De esta manera, en una microescala de unos pocos cientos de metros se puede encontrar una relación inversa entre heladas y altitud, que depende de la exposición.

En tal caso, la opción entre los cultivos se basará en la experiencia con estas ocurrencias locales de heladas. Es evidente que pocas estaciones meteorológicas suficientes existen en estas regiones como para permitir conclusiones sobre los riesgos de heladas en escala regional. La experiencia en estas zonas se basa en las observaciones tradicionales efectuadas y trasmitidas de generación en generación, y permite la subsistencia a pesar de niveles de productividad muy bajos. Así, en el altiplano boliviano, a 3800 m de altitud, los agricultores tienen conciencia de la sucesión cíclica de sequías y heladas, y tienen una regla preestablecida: en un sexenio, un año es bueno, dos son regulares y tres son malos.

Esto se refleja también en los métodos de cultivo, que a menudo incluyen precauciones contra los fenómenos naturales. En las montañas del norte de Bolivia, algunos años las papas se cultivan en aporques que frecuentemente tienen 80 cm de alto y 100 cm de ancho, con una distancia de al menos 40 cm entre las plantas, ya que se espera un año húmedo. En tales casos, se prevé que será lluvioso porque las aves anidan en la vegetación acuática - Scirpus - a una altura mayor que la normal: en consecuencia, en esos terrenos habrá que hacer buenos drenajes para evitar el encharcamiento.

En los años secos se plantan más papas amargas que papas dulces, o más tubérculos menores. Otra manera de asegurar una cosecha es el cultivo simultáneo y el uso de seudo-cereales. Los tubérculos menores, como por ejemplo el ulluco (Ullucus tuberosus) tienen también un tipo amargo, que se cultiva en las montañas centrales y meridionales de Bolivia, a 3800-4100 m de altitud. La experiencia de los agricultores es que estos tubérculos son mucho más resistentes tanto a las heladas como a la sequía.

Hay que comprender que en cierto número de casos, el cultivo exitoso de estas plantas depende, al parecer, de la resistencia combinada a la sequía y la helada. Cuando se analizan las condiciones climáticas en las montañas peruanas y bolivianas a altitudes de más de 3500 m, surge claramente que una extensa estación de lluvias retrasa las heladas. Esto se confirma particularmente en los meses de marzo y abril, cuando se toma en consideración no solamente la precipitación pluvial total sino también el número de días de lluvia. Mientras la parte superior del terreno no se seque, es posible la conducción de calor a la superficie del suelo y reemplazará la pérdida de calor con la radiación infrarroja, que es la causa de la mayoría de las heladas en estas zonas. En consecuencia, una resistencia tanto a la helada como a la sequía, será una ventaja.

Más al norte, en la zona ecuatorial, las condiciones climáticas son más favorables y al mismo tiempo son algo más bajas las altitudes máximas en que se cultivan las papas. Sin embargo, todavía pueden producirse heladas durante diferentes períodos del año, a pesar de las condicones más húmedas. Esto se debe a que otro mecanismo provoca estas heladas, junto con las casi constantes temperaturas máxima y mínima durante el año, mientras en las montañas tropicales la agricultura se beneficia, en verano local, con temperaturas significativamente más elevadas a altitudes comparables.

Una solución obvia al problema de la helada es la creación de variedades mejoradas con un ciclo de crecimiento corto. Esto permitirá ajustarse mejor al cultivo en el período libre de heladas y en cierto número de casos la demanda hídrica total durante la estación será también menor.

La estación experimental Chinoli (Potosí), en Bolivia, ha obtenido buenos resultados con variedades de 130-150 días, que rinden hasta 15 ton/ha con una lluvia promedio, durante la temporada de crecimiento, de no más de 300 mm y temperaturas medias de alrededor de 15° C. El mejor tiempo para la siembra parecía ser mediados de noviembre y la cosecha se efectúa en abril.

En Colombia, las variedades ICA (140-180 días) se siembran en enero-febrero, y una segunda siembra se efectúa en junio-julio, con una ocurrencia de heladas, a elevadas altitudes, principalmente en diciembre-enero y julio. Las bajas temperaturas, justo sobre el punto de congelación, pueden también ser dañinas para la planta, y mucho depende, por supuesto, de a qué distancia del suelo se alcanzan estas temperaturas. A menudo la zona más susceptible se ubica entre 15 y 50 cm por sobre el suelo y se calcula que entre este nivel y una caseta termométrica puede existir una gradiente de unos 3° C. Algunas de las variedades mejoradas ICA pueden soportar heladas de -2° C, mientras una de ellas toleraba más de -5° C, medidos a 15 cm por sobre el suelo. Es muy posible que las temperaturas correspondientes en la caseta fueran, respectivamente, de +1° C y -2° C.

Con respecto a la tuberización, hay varios factores que influyen sobre el rendimiento final, en diferentes estadios durante el desarrollo. Un estadio muy importante es la iniciación de la tuberización, generalmente entre 50-100 días después de la siembra, durante el cual es importante un nivel correcto de temperaturas junto con una amplia disponibilidad de agua. En este momento se determina el nivel de máximo rendimiento posible, y que este nivel sea alcanzado depende de las condiciones ambientales durante los períodos sucesivos.

El peso final de cada tubérculo individual se determina hacia el final del ciclo, principalmente por el cese de las lluvias y por los efectos de las bajas temperaturas o las heladas en las hojas. Javier (1968) en Perú comprobó que tanto las heladas como las sequías pueden no sólo retardar los procesos de tuberización sino también perturbarlos de modo tal que el tiempo favorable posterior sólo tendrá un efecto limitado en el rendimiento final.

Una variedad como Tacahuasi, mencionada anteriormente en la tabla inicia la tuberización entre los 50 y los 70 días y mantiene una elevada tasa de aumento en el peso de los tubérculos, a pesar de las heladas, las sequías o el exceso de agua. Renacimiento, por otra parte, inicia la tuberización sólo a 80-90 días, es afectada por la helada y el granizo y muestra una tasa de aumento en el peso que es mucho menor.

En general, resultó que las variedades locales en las montañas (S. andigena), aun con ciclos de crecimiento más cortos, comenzaban más tarde la iniciación de los tubérculos que las variedades de regiones templadas (S. tuberosum). En ambos casos fue el mismo el tiempo durante el cual la acumulación se efectuó: 6-7 semanas (Villachica, 1968). El resultado es que la tuberización máxima se produce, respectivamente, a 120 y 80-90 días, y la importancia de estas características es evidente para fijar la fecha de siembra y evitar las heladas y la carencia de agua en esos momentos.

7. Producción de semilla

En Colombia, ya vimos que para la producción de semilla se recomiendan las fajas altitudinales entre 3000 y 3500 m. Con excepción de Antioquia, los principales departamentos productores de papa tienen condiciones ecológicas para producir semilla sana, donde sólo falta determinar las zonas más aptas.

El Programa de Tuberosas entrega los híbridos promisorios al Programa de Fitopatología para detección de virus. Lo que se selecciona se prueba en las partes altas, sobre los 3000 m, por el sistema de familias clonales con el objeto de tenerlas lo más sanas posibles (Perez et al, 1972).

La estructura institucional está organizada sobre un esquema regional por semestre - dos cosechas por año. Las posibilidades son las de abastecer el mercado externo, basado en investigación básica de virus y de zonas ecológicas de baja población de insectos vectores de virus.

En Ecuador desde 1969 se entrega la semilla básica de la variedad Santa Catalina al Departamento de Certificación del Ministerio de Agricultura. Posteriormente se inició la entrega de los cultivares María y Capiro.

En Perú, uno de los semilleros fundamentales posiblemente sea establecido en Huánuco, a 2200 m de altitud, para luego ser distribuído a los agricultores mediante los semilleros de certificación.

Para la obtención y preservación de la semilla básica se aplicaron además los siguientes principios de sanidad vegetal (Vise y Meléndez, 1972):

a) Aislamiento del campo: o separación física de otros campos de papa.

b) Protección del cultivo: control de insectos vectores de virus y de los de otras enfermedades; destrucción temprana del follaje y cosecha también temprana; no permitir otras gentes en el campo, etc.

c) Erradicación: eliminar lo más temprano posible todas las plantas enfermas y aún las sospechosas, destruyendo así la fuente primaria de inóculo y evitando que éstas contagien a las plantas vecinas.

Así, se han encontrado muy buenas correlaciones de sanidad a virus y tipo de planta en las unidades, permitiendo realizar selecciones tempranas, antes de que se produzcan infecciones secundarias de virus, y se han obtenido unidades libres de los virus más conocidos (X, Y, M, S, enrollamiento de la hoja), las cuales se encuentran en etapa de propagación.

8. Fertilización

En Venezuela los agricultores utilizan la fórmula 8-10-10 a razón de 1500 kg/ha. En Mucuchíes se recomienda triplicar esta cantidad para obtener los rendimientos económicos, y la anterior fórmula puede ser remplazada por la 9-32-9 a razón de 1440 kg/ha para la primera siembra y 700 kg/ha para las siembras siguientes.

En Colombia, una de las fórmulas más corrientes es la 10-30-10, a razón de 250 kg/ha.

En Ecuador, en términos generales se recomienda la fórmula 10-30-10 ó 10-40-10 a razón de unos 800 kg/ha al fondo del surco y en una sola aplicación. Las aplicaciones foliares adicionales no se recomiendan (INIAP, 1972, y Bejarano y Schwartz, 1972).

En Perú, la aplicación de fertilizantes en papa en suelos de la Sierra de Perú ha merecido la atención de un equipo integrado de especialistas del Ministerio de Agricultura, Universidad Agraria La Molina y Misión Carolina del Norte desde 1959. Los resultados obtenidos hasta esta fecha a lo largo de la zona papera de la Sierra del Perú, muestran las siguientes principales conclusiones y recomendaciones (Villagarcia et al, 1968).

1. Respuesta positiva al nitrógeno y fósforo hasta el límite de los niveles estudiados (160 kg/ha), siendo menos frecuentes al potasio y en magnitud más pequeña.

2. Una recomendación general de 160-160-100 para los suelos promedios de la Sierra, puede ser justificada tanto técnica como económicamente, pero las recomendaciones específicas deben estar hechas en base a las características físico-químicas del suelo medidas por el análisis de laboratorio.

3. La respuesta a la fertilización nitrogenada es inversamente proporcional al poder de abastecimiento nitrógeno del suelo, medida por el contenido de materia orgánica.

4. La respuesta a la fertilización fosfatada guarda relación con el fósforo extractable del suelo y el pH; es decir, excelentes respuestas al fósforo se obtuvieron en suelos ácidos y pobres en fósforo extractable.

5. La respuesta a la alta fertilización es más evidente en variedades mejoradas como Renacimiento, Mantaro, Casablanca que en variedades nativas como Ccompis, Yana Imilla, etc.

6. La respuesta a una alta fertilización también está relacionada con otros factores de producción como las de orden agronómico (número de tubérculos, densidad de siembra, peso o tamaño de la semilla); climático (como sequías y heladas); y de orden cultural como preparación del campo, época de siembra, control de plagas y enfermedades, etc.

A partir de la campaña 1967-68 se entra a la etapa de afinamiento de las dosis de NPK bajo diversas condiciones de clima, suelo y manejo, utilizando para el efecto un diseño central compuesto para determinar la superficie de respuesta, utilizando como base central la recomendación de NPK emanada del análisis previo de las muestras del suelo del campo experimental. Paralelamente a este tipo de investigación, se prosigue con otros que inciden en el uso eficiente de los fertilizantes, como estudio de fuentes por dosis, efectos de la salinidad de los fertilizantes, época de aplicación, extracción de nutrientes durante el período vegetativo, correlación del área foliar con el rendimiento, correlación entre la fertilización potásica y la gravedad específica, etc. Los análisis estadísticos de los resultados de estos ensayos nos muestran las siguientes conclusiones preliminares:

1. La respuesta obtenida a la fertilización nitrogenada guarda relación con la recomendación emanada de los análisis de la materia orgánica del suelo, cuando los suelos tienen reacción superior a ligeramente ácida, pero parece que en suelo de reacción ácida la materia orgánica no constituye un índice seguro de abastecimiento de N.

2. La respuesta a la fertilización fosfatada guarda muy buena relación con la recomendación emanada de los análisis previos de la muestra de suelo.

3. En cuanto a la respuesta a la fertilización potásica, no es evidente, dejando muchas incógnitas al respecto. Sin embargo, se puede observar en ciertos casos una interacción positiva entre niveles altos de nitrógeno y potasio.

4. En suelos deficientes en nitrógeno y fósforo, la fertilización nitrogenada sin fósforo o la fertilización fosfatada sin nitrógeno, no tienen efectos en el incremento de las cosechas.

5. Bajo condiciones climáticas adversas (sequías y heladas) los efectos de la fertilización son frecuentemente disminuidos, aunque se observa que las curvas de respuesta siguen la misma tendencia de años climáticamente normales.

Se realizó un estudio de acumulación de nutrientes durante la campaña 1967-68 en el valle del Mantaro con la finalidad de obtener información básica sobre demanda de nutrientes, época de mayor absorción y contenido de elementos en los tejidos (Ezeta, 1968).

El estudio se llevó a cabo sobre tres niveles de fertilidad en NPK, bajo, medio y alto, y los muestreos se hicieron a intervalos de tres semanas desde la siembra hasta la cosecha.

Se obtuvo la siguiente información:

1. Hay una marcada diferencia en la absorción para los diferentes niveles de fertilidad.

2. En la primera etapa del cultivo hay fuerte acumulación de nutrientes en la parte aérea, la cual se mantiene hasta la tuberización, y a partir de este momento empieza una activa traslocación hacia los tubérculos.

3. Se pueden encontrar diferencias en los niveles de elementos en los tejidos para los tres estados de fertilidad y para las diferentes etapas de desarrollo del cultivo, lo cual sugiere la posibilidad de utilizar el análisis de tejido como un método de diagnóstico de necesidad de nutrientes.

9. Enfermedades y plagas

Las enfermedades y las plagas que infestan la papa son bastante numerosas y frecuentes en la zona referida. Dado que el objetivo de esta publicación no es presentar un informe detallado sobre ellas, nos limitaremos a la presentación de las principales, mostrando para las enfermedades, en forma de cuadro, sus zonas características de máxima infestación, la acción de los elementos meteorológicos en su desarrollo y los métodos de control. Esta información puede ser relativamente esquemática, ya que la información disponible sobre el tema varía de un país a otro.

Las enfermedades se presentarán de acuerdo con sus causas: hongos, bacterias, virus, nematodes.

Aunque los parásitos de las papas son muy numerosos y muestran diversos grados de virulencia, hemos tratado de limitar la lista a aquellos que muestran la más amplia distribución y dependen principalmente de las condiciones del tiempo.

Teniendo en cuenta que las plagas no están ligadas tan directamente al tiempo y las condiciones climáticas, no hemos considerado necesario usar la misma presentación en forma de cuadro que para las enfermedades, y hemos limitado la presentación de las plagas principales a un simple texto.

En 1961-62 se señala la presencia en Venezuela de las siguientes enfermedades:

Alternaria solani
Phytophthora infestans
Rhizoctonia solani

Actinomyces scabies
Pseudomonas solanacearum

Virus X, Y, M, S y enrollamiento, tanto en la zona media, 450 a 1000 m de altitud, y en la zona alta, 2000 a 3000 m.

Díaz (1966) reporta que Alternaria tenuis crece y esporula mejor a 26° C, demostrando poco crecimiento a 5° C y ninguno a 35° C. Los conidios germinan entre 5° y 35° C, siendo 26° C la temperatura óptima. Con una alta humedad relativa y temperaturas entre 18 y 30° C el hongo afecta la calidad y germinación de tubérculos heridos debido a varias causas. Durante el verano se producen fuertes ataques al llover tres o cuatro días seguidos. Los rendimientos disminuyen cuando el ataque coincide con el desarrollo del follaje, y al final del ciclo productivo los años son sobre la calidad del tubérculo principalmente.

En 1960 en Mucuchíes sobresalieron por su resistencia a Ph. infestas las variedades Capella, Anoja, Brava y Stamm 50/52. El ataque de este hongo es durante todo el ciclo productivo. En condiciones de alta humedad, por tres o cuatro días consecutivos y sin fungicida puede sucumbir todo el cultivo (Rivera, 1970).

P. solanacearum agudiza su ataque en horas de máxima iluminación y elevada temperatura y decrece en las horas frescas, al atardecer.

R. solani se manifiesta más en suelos húmedos y fríos, de temperaturas inferiores a los 20° C, condiciones que se encuentran en el páramo.

En cuanto a las condiciones climáticas de los Andes venezolanos y su relación con los insectos vectores de virus, éstas son mencionadas en la publicación "Aptitud agroclimática y planificación de siembra de papa simiente en la región andina venezolana" (Burgos, 1965).

Plagas: aunque no se da la distribución geográfica, entre las principales se mencionan (Rivera, 1970):

Hemitarsonemus latus (ácaro tostador)
Myzus persicae (áfido verde del ajonjolí)
Macrosiphum euphorbiae (áfido verde de la papa)
Rhopalosiphum rufiabdominalis (áfido de las raíces)
Systena marginicollis (coquito negro)
Aclaymma theimei (coquito)
Diphaulaea aulica (coquito azul)
Diabrotica espaciosa (coquito verde moteado)
Disonycha glabrata
Epitrix parvula (coquito pulga)
Nezara viridula (chinche verde hedionda)
Agrotis repleta
Laphygma frugiperda (cogollero del maíz)
Prodonia eridania
Gnorimoschema operculella (minador de la hoja)
Liriomyza quadrata (minador de la papa)
Premnotrypes vorax (gorgojo de la papa)

De estas dos últimas plagas se menciona su presencia en los Andes, aunque la segunda aparece sólo como ocasional a alturas de 3000 m (Angeles, 1966 y Briceño, 1971).

En Mucuchíes, en 1963, en la variedad Tocana se tenían clones resistentes al ataque de G. operculella (Mittelholzer, 1966).

En cuanto a nemátodes, en 1970 se descubre tanto en el país como en su región andina (Dao y Gonzales, 1972) H. rostochiensis. El 40% de las haciendas paperas del país localizadas en Mérida y Táchira, estaban infestadas por el nemátode dorado. La variedad local Merideña se muestra bastante tolerante. Además tuvieron buen comportamiento tres variedades holandesas y cuatro clones norteamericanos.

Según Mittelholzer (1966), el minifundio de las fincas paperas, el régimen de tenencia y su monocultivo, inciden negativamente en las rotaciones que se podían hacer. En 1969 se sospechaba de la presencia de este nemátode y se sugerían rotaciones en que la papa aparezca cada cuatro años como mínimo, a fin de minimizar el efecto de sus ataques. Se menciona que las habas en la zona andina se cultivan durante todo el año. El cultivo se efectúa en la época muerta entre dos siembras de papa, pero no se usa como rotación propiamente dicha:

En Colombia el problema más grave en la actualidad en este cultivo es el de las enfermedades causadas por los virus, los cuales bajan enormemente los rendimientos. Los más graves en el país son: el enrollamiento de hojas, el virus X, el Y y el enanismo amarillo, muy parecido al virus denominado tentativamente Virus 3 en el Perú. Estas endemias son especialmente graves, por la poca información y conocimiento que tiene el agricultor de ellas, caso contrario de lo que ocurre con la enfermedad causada por Phytophthora infestans (Mont.) de Bary, a la cual el 90 o 100% de los cultivadores la conocen y la controlan en forma eficiente (Perez et al, 1972).

Otro de los problemas es la presencia de Heterodera rostochiensis (Woll.) en el sur del país. Esta plaga recién se detectó hace dos años y en la actualidad se están iniciando trabajos de reconocimiento de las áreas infectadas y evaluación de los daños que está causando. Se está estudiando la Colección Central Colombiana con sus 3000 clones, con el objeto de observar si hay o no alguna variedad o variedades con resistencia a este organismo, y se está trabajando con algunos nematicidas.

La mayoría de las variedades que se cultivan actualmente son relativamente susceptibles a Phytophthora infestans, para cuyo control el agricultor gasta mucho dinero, efectuando en casos severos de ataque hasta 16 aplicaciones.

Otros daños son causados por dos hongos que se presentan con menor incidencia: Rhizoctonia solani (Khun) y Rosellinia sp.

En enfermedades bacteriales se puede anotar después de Pseudomonas solanacearum, la enfermedad causada por Erwinia atroséptica (Val Hall) Jennison.

Los siguientes insectos son de importancia económica: Chiza (Ancognata escaradeoides), Tierrero (Agrotis ipsilon), Gusano blanco (Premnotrypes vorax), Pulguillas (Epitrix sp.), Minadores: (Lyriomiza quadrata) y Gnorimoschema sp.) y Afidos (Myzus persicae). Se han encontrado los insecticidas más apropriadas para su control.

El comportamiento de algunas variedades a "gota" se da en el cuadro respectivo.

ICA-Guantiva e ICA-Nevada muestran tolerancia a virus. A alturas superiores a 2600 m no hay problemas, sino esporádicamente, por falta de vectores. La investigación básica sobre identificación y trasmisión es muy difícil.

En cuanto a Pseudomonas, de 2400 m abajo, los daños son graves. En determinadas regiones como Manizales, Caldas, se encuentra poco daño por estar los cultivos de papa por encima de esta altura (Arango, 1973). En regiones más bajas se recomiendan las rotaciones para evitar los graves daños de la "donnidera".

El Centro Internacional de la Papa está dando mucha importancia a la cuestión de la marchitez bacterial de la papa (CIP, 1972).

Caldas, Salento y Letras están practicamente libre de Premnotrypes.

La frecuencia de tratamientos contra la "gota" en Caldas vería con la altitud. A más de 3000 m se fumiga cada 20 días y por debajo de ésta altura cada 8 días.

En Ecuador, las principales enfermedades, por orden de importancia, son:

Puccinia piteriana - roya. Bastante difundida en Carchi, donde llueve alrededor de 1500 mm; como en Montufar, Hacienda Chitan, se observó esta roya en la variedad Violeta, cultivada en 150 ha a 2900 m.

Rysoctonia sp. - "lanosa". Hay ataques simultáneos de bacteria y hongo que pudren las raíces y estolones.

Phytophthosa infestans - "lancha" o tizón. Es menos grave que las anteriores. Es controlable.

Virus: ICA Puracó de Colombia fue muy susceptible a virus.

La dispersión de algunas enfermedades avanza al sur del país, y los cultivos de papa y otros tubérculos menores termina a 3550 m en Sanjapamba en el trayecto al Chimborazo, cuya altiplanicie a 4100 m constituiría una barrera fitosanitaria. La fisonomía de este tramo se da en el capítulo sobre la vegetación nautral.

La plaga principal es Premnotrypes sp. en Ancochagua, Imbabura a 2750 m altitud.

Las principales enfermedades en Perú se resumen en la tabla y por lo tanto no es necesario repetirlas en este texto.

Las más importantes plagas son:

Premnotrypes latithorax - gusano blanco arriba de los 3000 m principalmente.

Franklíniella tuberosi - yaja, en los valles y cabeceras de valle de 2000 a 3400 m aproximadamente, coincidiendo los ataques más severos con períodos de sequía. Ambas plagas se controlan químicamente.

Nombre común	Nombre científico	Características de la infección	Influencias del tiempo	Zonas más afectadas	Control
a) Enfermedades causadas por hongos					
Rancha	Phytophtora infestans	Manchas verde oscuro, micelio blanco	Alta humedad y temperatura de 10-15° C	Todas las zonas de papas de la región	Asperciones de fungicidas cuprícos u orgánicos (Zineb)
Mancha anular	Septoria sp.	Manchas redondeadas de 8mm diametro	Humedad continua y baja temperatura	Todas las zonas frías y húmedas de los Andes	Fungicidas más concentrados
Oidium	Oidium sp.	Manchas blancas, lesiones necróticas de color bruno	Alta humedad	Principalmente en Perú, pero sin gran importancia económica	Fungicidas a base de azufre
Royas	Aecidium contensis, Puccinia pittieriana	Pústulas anaranjadas después distorsión y defoliación	Alta humedad, en Ecuador de 1500 hasta 2900 m	Específica de Perú. En muchos países	Aspersiones de Polyram-Combi cada 10 días
Podredumbre Seca	Fusarium sp.	Pudrición húmeda de los tubérculos En Campo amarilleamiento ppogresivo de la planta	-	En toda la zona de papa	Cosechar tubérculos bien maduros. Emplear semilla sana.
Chancro del Tallo	Rhizoctonia solarium	Chancros húmedos marrón oscuros que van estrangulando los órganos	Clima frío, mucha humedad en el suelo	En toda la zona particularmente Venezuela, Colombia, Perú, con suelo húmedo	Usar semilla sana a poca profundida. Evitar exceso de húmedad del suelo
b) Enfermedades causadas por bacterias					
Pierna Negra	Erwinia atroseptica	Zonas mucosas húmedas y negras a la base del suelo	Temperatura y humedad altas	Zonas de costa y sierra en Perú	Semillas sanas
Podredumbre Blanda	Erwinia carotovora	Pudrición de las raíces	También en zonas más frías con desarrollo más lento	Venezuela y Colombia	Suelos bien drenados. Rotación con gramíneas.

Marchitez Bacteriana	Pseudonomas solanacearum	Similar al efecto de la falta de agua, pero marchitez inicialmente unilateral	Temperatura alta	Todas las zonas con alta temperatura y por debajo de los 2400 m en Colombia	Rotación con otros cultivos no susceptibles
c) Enfermedades causadas por virus					
Mosaico	Virus A, X y Y	Decoloración de las hojas, rugosidad y necrosis en las nervaduras	Relativamente alta temperatura	Sintomas poco intensos encima de los 3500 m en Perú	Usar semilla certificada
Enrollamiento	Virus transmitido por áfidos (Myzus persicae)	Amarilleamiento generalizado de la planta con enrollamiento de las hojas medias	-	En toda la zona donde se cultiva la papa	Usar semilla certificada
d) Enfermedades causadas por nematodes					
Nematode dorado	Heterodera rostochiensis	Ningún sintoma exterior específico sino que se presentan plantas amarillentas y de menor desarrollo. Quistes blancos, dorados o brunos sobre el sistema radical, raíces y tubérculos	Se encuentra más entre los 2300 y 3500 m	Distribuído en diversas regiones del mundo donde se cultiva la papa	Rotación del cultivo esencial (papa, Ulluco, cebada, avena, descanso). Mínimo 4 años. Utilización de variedades tolerantes (Venezuela) o resistentes
Falso nematode	Nacobbus serendipiticus bolivianus	Mismos síntomas para las hojas. En las raíces agallas pequeñas y brillosas	Entre los 3200 y 3800 m	-	Rotación y eliminación de papas huachas. Posibilidad de variedades resistentes

Figura 160 Enfermedades de la papa.

10. Almacenamiento

Arana et al (1972) informan los cambios que ocurren en aminoácidos y por proteínas de papas colombianas durante el almacenamiento a distintas temperaturas. Se utilizaron cuatro variedades, dos criollas: Tuquerreña y Parda Pastusa, y dos mejoradas: Diacol-Monserrate e ICA-Puracé, almacenadas por cuatro meses y medio a 3, 5, 10, 15, 20, 25 y 30° C. Concluyen que:

- Un aumento de aminoácidos libres corresponde a una disminución de proteínas, y viceversa.

- El contenido de nitrógeno total durante el almacenamiento se mantiene aproximadamente constante.

- Cuanto menor sea el período de reposo, mucho más rápidos son los cambios en aminoácidos y en proteínas.

Los tubérculos pueden almacenarse, en una forma general, un promedio de seis meses entre 4 y 6° C sin inhibidores de brotación. Con inhibidores la temperatura es mayor, de 10 a 11° C, y puede almacenarse más de 6 meses. Estos resultados corresponden a ensayos de tipo semi-comercial.

En general en los Andes, y especialmente en el altiplano perú-boliviano, se presentan condiciones climáticas muy favorables para el almacenamiento del tubérculo fresco y deshidratado. Los materiales disponibles, como adobe, tapial, paja, y excepcionalmente madera, permiten almacenamientos baratos. Por otra parte, entre los centros de producción y los de consumo existen altitudes de 4600 m, por ejemplo entre Huancayo y Lima, o de 4300 m entre Puno y la costa de Arequipa, que ofrecen condiciones ideales para la construcción de silos, especialmente de papa para consumo fresco y de semilla.

Los métodos rústicos usados por los campesinos para almacenar especialmente semilla han sido mejorados por los técnicos. Así se recomienda la construcción de dos tipos de almacén: almacén de adobe, que es permanente, y otro pila de almacén, temporal y más económico (Programa Nacional de Papa, 1968).

Se hacen las siguientes recomendaciones para el almacenamiento:

- Previo al almacenamiento propiamente tal, durante 10 días debe mantenerse la temperatura entre 10 y 15° C con una humedad del aire superior al 70% y esto para cicatrizar cortes y heridas.

- La temperatura de almacenamiento debe mantenerse entre 3 y 5° C y como máximo 7° C.

- En caso de que la temperatura sea más de 7°C o los almacenamientos sean prolongados, se recomienda el uso de inhibidores de brotación, o si se trata de papa simiente no se recomiendan los inhibidores químicos.

- No debe forzarse la ventilación sino para mantener las temperaturas recomendadas.

En Bolivia, previo ensayo de diversas clases de silos, a partir de las formas clásicas en que el agricultor almacena su cosecha, sea en "pirhua" o silo aéreo y el "hairu", silo subterráneo, se ha difundido la forma intermedia semi-subterránea. En estas condiciones a 3800 m de altura se puede almacenar durante 7 meses las papas para consumo, y también las papas para semilla a una temperatura promedio de 8-10° C.

11. Centro Internacional de la Papa

En Lima, Perú, funciona desde 1971 el Centro Internacional de la Papa a semejanza de las otras instituciones mencionadas en los capítulos sobre maíz y trigo.

Los trabajos y logros que se van alcanzando en este centro aparecen en este informe en lo relacionado con los países andinos, aunque la actualización de los aspectos relacionados con germoplasma y taxonomía de la papa fue coordinado con FAO. Una publicación relacionada con este estudio es "Prospects for the potato in the developing world" (CIP, 1972).

Referencias - Papa

Albornoz, G. y Ortuño, G. 1969. Santa Catalina: una variedad de papa para el centro de la sierra ecuatoriana. Inst. Nac. de Investigaciones Agropecuarias. Boletín Divulgativo SC/68/9

Angeles, N. de J. 1966. Presencia del gorgojo de la papa, Premnotrypes vorax, en la región andina de Venezuela. Agronomía Tropical Vol.XVI, No.4

Arana, H.C. et al 1972. Variación en el contenido de proteínas y aminoácidos libres en tubérculos de papa durante el almacenamiento a diferentes temperaturas. Fitotecnica Latinoamericano. Vol. 8, No.2

Arango, C. 1973. Comunicación personal. Supervisor de Sanidad Vegetal, ICA. Manizales

Bejarano, W. y Schwartz, M. 1972. Fertilización de papa, maíz y trigo y costos de producción. INIAP. Estación Experimental Santa Catalina. Boletín Divulgativo no.49

Briceño, A. 1971. Presencia del minador de la papa Liriomyza u drata en la región andina de Venezuela. Agronomía Tropical, Vol.XXI, No.4

Burgos, J.J. 1946. Carta de plantación de la papa en la región pamplana de al República Argentina. Rev. Arg. de Agronomía 13 (4) 293

Burgos, J. 1965. Aptitud agroclimática y planificación de siembra de papa simiente en la región andina venezolana. Agronomía Tropical. Vol.XV, Nos.1-4

Cardeñas, M. 1969. Manual de Plantas económicas de Bolivia. Imprenta Icthus 421. p.

Centro de Investigaciones Agropecuarias 1969 Selección, pruebas de producción y determinación de calidad de raíces y tubérculos. Parte 1. Papa (mimeografiado). Maracay

Centro Internacional de la Papa (International Potato Centre) 1972 Prospects for the potato in the developing world. La Molina, Lima. p.273 (varios autores)

_____ 1972 Potato bacterial wilt project Planning Conference. Fac. de Agronomía, Univers. de Costa Rica, San José. Dec.10-14 1972. p.14 (mimeografiado)

_____ 1973 Workshop on germplasm exploration and taxonomy of potatoes. Jan. 1973. Lima (mimeografiado). p.16

Christiansen, J. 1972 Programa de investigaciones en papas amargas. VII Reunión de Sociedad Latinoamericana de Investigadores en Papa.

Dao, F. y Gonzales, J. 1972 El nemátodo dorado de la papa, Heterodera rostochiensis, su distribución en los Andes venezolanos. Fitotecnia Latinoamericana Vol.8, No.2

De la Puente, F. 1972 El programa de papa peruana. En Prospects for the potato in the developing world. CIP. La Molina. p.273

De la Puente, F. y Quijandria, M. 1971 Variedades. Proyecto Nacional de la Papa. Circular de Extensión DGIA-Lima

Díaz, C. 1966 Estudios sobre una especie de Alternaria infecciosa en tubérculos de papa. Agronomía Tropical Vol.XVI,no.4

Ecuador 1973 Plan integral de transformación y desarrollo 1973-77. Resumen General. Quito p.415

Estrada, N. et al 1970 El cultivo de la papa. Inst. Colombiano Agropecuario, Programa de Tuberosas Hoja Divulgativa no.001

Ezeta, F. 1968 Acumulación periódica de nutrientes por el cultivo de la papa. En Memorias de la V Reunión de SLIP. Lima.

Gandarillas, H. et al 1965 La Agricultura Boliviana. Plan Maestro de Investigaciones por el período 1965-70. División de Investigaciones, Min. de Agricultura.

Garces, Nelson 1973 Información personal. Programa de papa. Est. Exp. Santa Catalina. INIAP

Hawkes, J.G. 1973 Potato Genetic Erosion Survey. FAO, Rome

Instituto Colombiano Agropecuario 1971 Informe Anual 1970-79. Proyecto Tuberosas. p.19 (mimeografiado)

Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias. 1972 Manual Agrícola. Quito

Javier, G. 1968 Curva de tuberización de selecciones avanzadas de papa. En Memoria de la V Reunión de SLIP. Lima.

Javier, G. 1973 — Comunicación personal. Min. de Agricultura. Huancayo

Li, P.H. et al 1972 — Fisiología de la papa en relación con efectos ambientales y tolerancia a bajas temperaturas. VII Reunión de SLIP

Lujan, L. 1973 — Comunicación personal. ICA, Tibaitatá

Ministerio de Agricultura 1972 — Programas Agrícolas. Evaluación - 1971-72. Programación 1973. Proyecciones 1974-75. Oficina de Planeamiento del Sector Agropecuario (OPSA) p.214

Mittelholzer, A. 1963 — Potato cultivation in the Guianas. Possibilities and limitations. Agric. Exp. Station Bulletin no.82. Paramaribo, Surinam

_____ 1964 — Proyecto de papa de la estación experimental de Mucuchíes. MAC-CIA. Presentado a la II Reunión de SLIP. Bogotá

_____ 1966 — Programa de investigación en papas de la estación experimental de Mucuchíes. Tercera reunión de la Soc. Latinoamericana de Investigadores de Papa (mimeografiado)

Moreno, U. 1972 — Los ambientes, las plantas y la sociedad. Seminario: La educación, la agricultura, la alimentación y el hombre. Univers. Nac. Agraria La Molina-Unesco. p.21 (mimeografiado)

Ochoa, C. 1965 — Antarqui, nueva variedad comercial de papa precoz, tolerante al calor y autoestéril. Anales Científicos 3: 385-388

Perez, E. et al 1972 — Problemas y progresos en el mejoramiento de papa en Colombia. En Prospects for the potato in the developing world. CIP, Lima. p.273

Perez, E. et al 1972 — Selección y multiplicación de variedades de papa con resistencia a "domidera" (P. solanacearum) en Colombia. En Prospects for the potato in the developing world. CIP, Lima. p.273

Programa Nacional de Papa 1968 — Almacenamiento. Dirección General de Investigación Agropecuaria. Circular de Expensión

Rivera, L. 1970 — Principales plagas que atacan al tubérculo de la papa. Est. Exp. de Mucuchíes (Mecanografiado)

Servicio Shell para el Agricultor 1967 — Papas II^{a} edición, p.87

Villachica, H. 1968 — Clima y tuberización en seis variedades de papa. En Memorias V Reunión SLIP. Lima

Vise, C. y Melendez, N. 1972 — Semilla básica de papa. Avances en Investigación Revista de Progresos. Dirección General de Investigaciones Agropecuarias. La Molina. Vol.1, no.1



XVIII. OCA (OXALIS TUBEROSA)

1. Introducción

Se llama cuiba, huisisai, apio blanco, oca en Venezuela, ibia en Colombia, oca en Ecuador y oca, okha apilla en Perú y Bolivia. La oca es, después de la papa, el tubérculo que más se cultiva en los Andes, y por su rendimiento y sabor agradable es uno de los elementos más apreciados en la alimentación andina.

El género Oxalis tiene unas 80 especies en los Andes. Algunas de ellas forman tubérculos pequeños, pero sólo O. tuberosa (O. crenata) se cultiva como alimenticia. La domesticación de la oca debe ser muy antigua, contemporánea o anterior a la domesticación de la papa. El gran número de clones conocidos y su amplia distribución geográfica, así como la falta de tipos silvestres, son indicaciones de la antigüedad de su cultivo. Como ha sido señalado varias veces, la domesticación de los cultivos tuberíferos es una de las características más salientes de la agricultura andina. Entre ellos se hallan papas, ullucos y mashuas, que forman verdaderos tubérculos, y raíces tuberosas como yacón, arracacha, ajipa y maca. Estos cultivos probablemente formaron la base de alimentación en los Andes antes de que el maíz tomara preeminencia, lo que posiblemente ocurrió pocos siglos antes de la llegada de los Europeos (León, 1964).

La oca es uno de los cultivos más típicos de los Andes, desde Venezuela a Argentina. Se ha introducido a otras regiones, pero sólo en Nueva Zelandia, donde se les llama "yams", y en México, se producen en cantidad apreciable. En los Andes, en cambio, son de consumo corriente, frescas, cocidas o secadas en chuño.

La oca es una planta baja, de 30 a 40 cm de alto, de tallos erectos, suaves y carnosos. Las hojas tienen tres foliolos, verdes en la parte superior, con coloración morada en la inferior. Las flores nacen en las axilas superiores de las hojas y sobresalen de la planta. Son amarillas, con líneas purpúreas en la base de los pétalos. La oca produce abundantes flores y algunas veces se forman frutas y semillas. Las semillas se pueden usar en la multiplicación, pero esta práctica es común sólo en la investigación.

La parte comestible de la planta son los tubérculos, cuya forma varía mucho, desde casi esféricos hasta cilíndricos, y miden de 3 a 20 cm de largo. El aspecto externo está determinado por los nudos o yemas en forma de escamas, más o menos profundos y de anchura variable. La coloración es muy

atractiva y varía de clon a clon. Pueden los tubérculos ser totalmente blancos a casi negros, en este caso por una fuerte coloración purpúrea; amarillos, rosados; rojos. Con frecuencia en un tubérculo aparecen franjas longitudinales de colores diferentes. En algunos clones hay rayas o puntos finos rojizos sobre fondo amarillo.

Las variedades son todas de origen clonal, ya que la oca se propaga únicamente en forma vegetativa. Hay clones de tubérculos "dulces" que se comen crudos, o amargos que se comen cocinados o especialmente en chuño, llamado "ckaya". Los tubérculos contienen 80% de agua, son ricos en ácido oxálico y contienen 12% de carbohidratos. En chuño o ckaya, la oca contiene más de 4% de proteínas y la humedad se reduce a 12-14%.

Las ocas se cultivan hasta las 4000 m de altura, en rotación con papas; producen de 5 a 9 ton/ha y tardan de 6 a 7 meses en cosechar en Perú y Bolivia.

2. Datos de producción

En el cuadro 161 se dan las estadísticas de la producción de oca de tres países andinos.

Países y Años	Superficie (ha)	Rendimiento (kg/ha)	Producción (ton)
Ecuador			
1968	1352	5587	7553
1969	1352	5587	7553
1970	1352	5587	7553
Fuente: Junta Nacional de Planificación			
Perú			
1969	15,125	3890	58,818
1970	16,790	3845	64,546
1971	16,000	3865	62,000
Fuente: Estadística Agraria. Oficina de Estadística			
Bolivia			
1967	16,000	3900	63,000
Fuente: Alandia (1967)			

Tabla 161 Datos estadísticos de países andinos.

La importancia de la producción de tubérculos en general en los países andinos se trata en el capítulo sobre ulluco.

Para Perú la producción por orden de importancia y los rendimientos regionales se dan el cuadro 162.

Los principales departamentos productores de oca en Bolivia son: Potosí, La Paz, Cochabamba, Chuquisaca y Oruro.

	Producción (ton)	Rendimiento (kg/ha)
Nacional	62,090	3865
Ancash	15,660	5310
Junín	7,310	4300
Huancavelica	5,714	3900
La Libertad	4,477	3700
Ayacucho	4,140	2300
Puno	4,104	3800
Cuzco	3,850	3500
Cajamarca	3,036	3300

Fuente: ONEC. Estadísticas de 1971

Tabla 162 Datos de producción regionales de Perú.

3. Ciclo vegetativo y tuberización

3.1 Cultivo

Las ocas se siembran en las mismas regiones que las papas, aunque por su resistencia a las heladas pueden cultivarse junta con el ulluco e isaño a mayor altura, hasta 4100 m. Esta resistencia, al igual que en la papa, está más ligada a las formas amargas.

Las ocas se plantan generalmente en lotes pequeños, por lo común en rotación con papa. Los restos de éstas se remueven con azada y se da al suelo una preparación ligera. Los tubérculos se colocan en líneas a 50-90 cm de distancia, variando el espaciamiento entre plantas de 20-40 cm. Una vez que los tallos han brotado, a los 30-45 días, se hace la primera aporca, operación que se repite 2 ó 3 veces más y el terreno se mantiene limpio. En éste, como en otros tubérculos, el agricultor andino prefiere dirigir los surcos según la dirección de la pendiente; se consigue así mejor drenaje y menor pudrición de tubérculos.

Los factores ambientales que más influyen en el crecimiento de la oca son las temperaturas y los fotoperíodos. Este último es el más importante, según Razumov, quien indica que la duración óptima del día para una buena formación de tubérculos en oca, igual que en ulluco, es de 9 horas. Cárdenas (1969) ha indicado muy apropiadamente, que estas conclusiones no están de acuerdo con las condiciones de crecimiento en el campo, que es en los Andes de días de 10-13 horas de luz.

Una discusión más detallada y los datos relativos se encuentran en el capítulo sobre ulluco.

Las ocas se cosechan entre 7-8 meses en Colombia a 2600-3100 m, 7 meses en Ecuador a 2500 m y 10-12 meses a 3500 m, 6-8 meses en Perú y Bolivia a 3800-4000 m.

La producción varía mucho según el año y el terreno. En Perú se obtienen de 5000 a 7000 kg/ha, y en lotes experimentales hasta 20,000 kg/ha.

El cultivo de la ibia en Colombia y Ecuador va paralelo al del ulluco. Por tanto en las localidades mencionadas en ulluco también aparece la oca. La denominación de las localidades tiene su importancia para profundizar futuras exploraciones. En los mercados del sur de Nariño se ven variedad de clones, pero no en el mismo volumen de lo que se ve en Bolivia, donde la reforma agraria ha aumentado el cultivo de especies indígenas. En la meseta de Túquerres, Nariño, a 2950 m, y en Conopotrero, Guaranda, 3500 m, hay cultivos de oca asociada con habas, en que éstas últimas se siembran después que la oca. Mientras las ocas tienen un ciclo productivo de un año, las habas de grano pequeño tienen 8 meses de ciclo. En el trayecto Guaranda-Riobamba, pasando la cumbre más elevada los cultivos de oca empiezan a 3750 m y más al sur en Campo Viejo, Cañar, a 3200-3400 m

Ya se indicó la relación que existe entre clones de follaje pigmentado y resistencia a heladas. En el manejo del germoplasma en diferentes localidades de la Sierra de Perú se ha observado que había cierta pubescencia de las hojas, o sea mayor pubescencia en plantas pigmentadas que aparecían como resistiendo mejor las temperaturas más bajas. Este tendrá que ser comprobado en ambientes apropiados porque las zonas propiamente "oqueras" están a más de 3000 m de altitud en Perú.

El cultivo de la oca o apilla en Bolivia es muy importante. Con la reforma agraria fue incrementado especialmente en el altiplano que rodea al lago Titicaca y en las partes altas de Cochabamba donde hay un ambiente más húmedo a 3000 m. Por la dificultad de su conservación su comercialización tiene un período restringido. Los siguientes datos son de fuente campesina junto con los promedios de precipitación y temperatura en el ciclo.

Cultivar	Localidad	Alt.m	Ciclo	Días	$\bar{P}$	$\bar{T}x$	$\bar{T}$	$\bar{T}n$
Blanca	Colombia:							
	Nariño	3050	Oct-mayo	210	600	15.8	11.5	6.6
Blanca o	Ecuador:							
Crespa	Carchi	2850	Mayo-dic.	240	650	17.0	11.4	6.5
	Carchi	2850		150	400	17.5	11.4	6.8
Blanca	Imbabura	2750	Sep-marzo	210	500	18.7	12.8	7.0
Blanca	Bolivar	3500	Todo el año	360	400	15.7	9.7	4.5
Blanca,	Perú:							
Amarilla	Huancayo	3150	Oct-mayo	240	650	18.8	11.6	5.8
y Rosada	Huancayo	3150	Nov-mayo	210	600	18.8	11.6	5.8
	Ayacucho	3430	Oct-mayo	210	700	17.5	10.1	2.8
	Ayacucho	3750	Oct-mayo	210	750	16.2	8.8	1.3

Tabla 163 Datos de cultivación de oca en Colombia, Ecuador y Perú.

3.2 Tuberización

Perez (1972) y León (1972) simultáneamente en 1972, el primero en Huancayo, 3100 m, y el segundo en Cuzco, determinaron la tuberización en oca. Perez utilizó "Roja de Jauja" que es un clon local y estableció que el inicio de estolones es a los 90 días de la siembra en noviembre, la formación de tubérculos a los 110 días y la máxima producción de tubérculos a los 190 días en que se alcanza un rendimiento de 36 ton/ha. Recomienda cosechar a los 200 días. Este resultado coincide con la información obtenida en fuente campesina aunque no se trate del mismo cultivar, pero si el dato es para la misma región.

León trabajó con 5 clones y obtiene los siguientes resultados:

Clon	Tuberización (días)		Incremento de peso (días)	
	Inicio	Total	En inicio	En tub. total
Puno 14	110	190	180	190
Huancavelica 49A	120	210	200	200
Cuzco 40	120	220	180	190
Cuzco 44	140	230	200	210
Puno 3	140	210	200	210

Villavicencio (1971) en un ensayo con 20 clones en Huancayo, obtuvo rendimientos experimentales de hasta 39 ton/ha y los más rendidores fueron 92-6, 474 y 58, la segunda boliviana y las otras dos peruanas pero ninguna de Huancayo. Menciona que los máximos rendimientos no se deben precisamente a tubérculos de primera o segunda clase. Encontró correlación negativa entre precocidad y rendimiento y entre plantas altas y rendimiento. Serruto (1972) también encontró que el clon boliviano 226 rinde y tiene más materia seca que Roja de Jauja, una oca local. Se indicó que la variación en oca es especialmente notable en la forma y coloración del tubérculo.

4. Enfermedades y plagas

Se mencionan las siguientes enfermedades:

Patógeno	Enfermedad	País	Autores
Cercospora oxaliphila	-	Venezuela	Muller y Chupp
Collectotrichum sp.	-	Venezuela	Muller y Chupp
Phyllosticta sp.	-	Venezuela	Muller y Chupp
Puccinia oxalidis	Roya	Perú, Venezuela, Bolivia	Ames, Alandia
Uredo oxalidis	Roya	Bolivia	Alandia
Urocystis sp.	Musuru ó carbón	Bolivia, Perú	Alandia, Ames de I.
Phoma oxalidicola	Costra negra	Bolivia	Alandia
Septoria sp.	Necrosis foliar	Bolivia	Alandia

Fuente: Montaldo (1972)

Las enfermedades fungosas son de poca importancia en Perú.

En Perú se mencionan como las plagas más importantes: crisomélidos barrenadores de tubérculos y el nemátodo Heterodera rostochiensis; y en Huancayo se encontró Premnotrypes sp. y Gnorimoschema sp.

REFERENCIAS - OCA

Alandia Borda, S. 1967 — Enfermedades de la oca. Sayaña (Bolivia) 5 (2): 20-24

Cardeñas, M. 1969 — Manual de plantas económicas de Bolivia. Imprenta Icthus. Cochabamba

León, J. 1964 — Plantas alimenticias andinas. Inst. Interamericano de Ciencias Agrícolas. Boletín Técnico no.6 pp.122

León, S.J. 1972 — Determinación de la curva de tuberización en 5 clones de oca. Prog. Acad. de Agro. y Zootecnia. Univ. Nac. San Antonio de Abad del Cuzco (Tesis)

Montaldo, A. 1972 — Cultivo de raíces y tubérculos tropicales. Inst. Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA. Perú

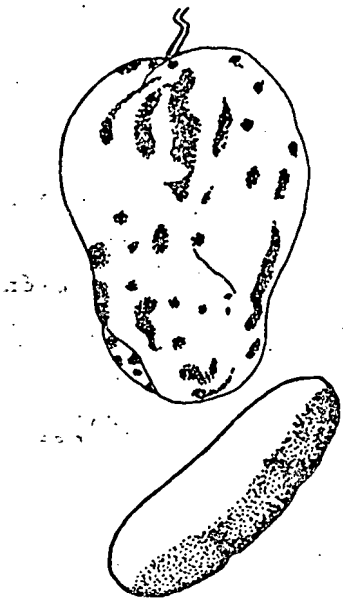
Perez, O. 1972 — Curva de tuberización en oca. Prog. de Agronomía. Univ. Nac. del Centro (Huancayo)(Tesis)

Rea, J. y León, J. 1968 — Selección de variedades superiores de tubérculos andinos. Inst. Interamericano de Ciencias Agrícolas. Informe Técnico 1968 pp.129-130

Serruto, C. 1973 — Tamaño óptimo de semilla en 3 variedades de oca. Univ. Nac. del Centro (Huancayo)(Tesis)

Villavicencio, M. 1971 — Ensayo de rendimiento en 20 variedades de oca. Prog. de Agr. de la Univ. Nac. del Centro, Huancayo (Tesis)

XIX. ULLUCUS TUBEROSIS



1. Introducción

El "ulluco" u "olluco", llamado así en Bolivia y Perú, melloco, olloco, hubas, chuguas, rubas en Ecuador y Colombia, rubia, micuchí, miguri, tiquiño en Venezuela y papa lisa entre la gente de habla española en general, es un cultivo típicamente andino. Después de la papa, el ulluco y la oca son los tubérculos más importantes para la zona desde Venezuela hasta Argentina.

El género Ullucus contiene sólo una especie, que se conoce en cultivo desde Venezuela hasta el norte de Argentina; tipos silvestres se hallan en el departamento de Cuzco (Perú), donde reciben el nombre de "kitalisas" y "atoc-lisas" y de "kipa-ullucus"; son de tubérculos pequeños, amargos, no comestibles. Otros creen, por otra parte, que los tipos colombianos son los más primitivos.

La planta es compacta, baja (20-30 cm) o larga y rastrera, según la variedad. Los tallos son aristados, carnosos, verdes o con manchas moradas. Las hojas, acorazonadas y carnosas, pudieran ser comestibles. Las flores amarillas, en forma de estrella, nacen en racimos dentro del follaje. El ulluco rara vez produce semillas.

Los tubérculos comestibles varían de esféricos a cilíndricos, con "ojos" o yemas poco profundas, de donde se deriva el nombre español de "papas lisas". La coloración de los tubérculos es muy variada y atrayente. Hay clones con tubérculos de color verde claro; otros amarillos, de superficie brillante, con manchas purpúreas, que son los más apreciados en Bolivia y Perú. En Colombia, en cambio, los clones más corrientes tienen tubérculos alargados, de color púrpura, llamados "rojas". Hay clones en Perú de tubérculos blancos, uniforme o con puntos o manchas rojas, o de coloración purpúrea intensa casi negra.

Benavides en Perú (1966) reporta que plantas pigmentadas y sub-pigmentadas de rojo tienen cierta resistencia a heladas en oposición a clones que tienen follaje completamente verde. Por otra parte también se menciona que el descenso de temperatura, que coincide con el progreso del ciclo productivo, acentúa la pigmentación, así las plantas sub-pigmentadas se tornan pigmentadas. Finalmente se reporta que las plantas pigmentadas rinden menos que las verdes del todo.

Observaciones posteriores como las realizadas por Rea (1966) tienden a confirmar que la enorme variación que se presenta en los tubérculos menores andinos - ulluco, oca, masgua - puede atribuirse a mutaciones de yema, originados posiblemente de quimeras periclinales.

Los tubérculos contienen hasta 85% de humedad, y una sustancia viscosa que no los hace atrayentes para quienes no estén acostumbrados a comerlos. Sin embargo, su consumo en las ciudades, en platos típicos, hace que se vendan en los supermercados en envases modernos de plástico, y tienen, por supuesto, un alto consumo en las zonas de producción. Con ellos se prepara también una forma de chuño, llamado "lingli" o "shilgli". Este procedimiento es común a Perú y Bolivia y puede ser consumido en sopa y harina. En forma fresca los tubérculos tienen alrededor del 1% de proteína, 14% de carbohidratos, y el resto es agua (León, 1964).

2. Datos de producción

Algunos datos estadísticos sobre Perú y Ecuador se dan el el cuadro 164.

Paises y Años	Superficie ha	Rendimiento kg/ha	Producción ton
Perú			
1969	16,945	4100	69,492
1970	19,395	4230	82,056
1971	16,200	4030	65,500

Fuente: Estadística Agraria. Oficina de Estadística

Ecuador			
1968	2503	4785	11,978
1969	2503	4785	11,978
1970	2503	4785	11,978

Fuente: Junta Nacional de Planificación

En Perú, en 1971, tenemos los siguientes datos sobre producción y rendimientos regionales.

	Producción (ton)	Rendimiento kg/ha
Nacional	65,500	4030
Junín	19,845	4900
Ancash	9,380	4600
Huánuco	5,984	4400
Cuzco	5,600	3500
Cajamarca	4,200	3500
Ayacucho	3,320	2200

Fuente: ONEC

Figura 164 Ulluco; datos estadísticos.

3. Ciclo vegetativo y tuberización

3.1 Cultivo

El ulluco se siembra en surcos separados a 80-100 cm y a distancia de 40-60 cm entre plantas. El período de cosecha varía entre 140-150 días para ciclos cortos y hasta 360 días para los ciclos más largos. En general es uno de los cultivos de alta resistencia a heladas y en consecuencia se ven cultivaciones a más de 4000 m en el sur de Perú y en Bolivia.

Información de Colombia, Ecuador y Perú sobre ciclo productivo, tuberización, épocas de siembra y cosecha y rendimiento de fuente campesina y de técnicos se da en el cuadro 165.

Cultivar	Localidad alt (m)	Ciclo productivo (días)	Siembra	Cosecha	Rendimiento tonxha	P̄ mm	T°C	
Chinchano	Colombia, Nariño, Arboleda, 2550	160-180	Agosto	Enero	13	400-450	13	Tub.rojo
-	Nariño, Tuquerres, 3300	330-360	Marzo	Marzo	-	700	9	-
Gallito Gallito	Ecuador, Carchi, Montufar, 3000	210	-	-	-	650	11	Tub.rojo
Colorado	Bolivar, Guaranda, 3500	330-360	Mayo	Mayo	-	650	9	-
Ancash 67-59	Perú, Ayacucho, Allpachaka, 3600	190	Nov.	Junio	3	400	11	Tuberiza a 135 días
N 99-32 (Puno)	Allpachaka 3600	190	Nov.	Junio	4.5	400	11	Tuberiza a 125 días
Ancash 53-62	Allpachaka 3600	190	Nov.	Junio	-	400	11	Tuberiza a 115 días

Figura 165 *Datos de cultivación de ulluco.*

El ulluco se siembra en Ecuador y Colombia sobre los 2000 m. En Ecuador se encuentran mellocos en los mercados de Latacunga, Ambato y Cuenca. En Ambato proceden de Kenacoto, a más de 2700 m, y los tubérculos rojos, cilíndricos son de los más grandes de la zona, con un peso aproximado de 120 g cada uno. En Carchi se encuentran cultivos a 3000 m y en Guaranda a 3500 m.

En Colombia, de norte a sur, existen cultivos pequeños en Silos, 3200 m en Santandar Sur; en Tunja, Municipio de Aquitania, Páramo de Toquilla y en Scatama a 3700 m; en la Cordillera de Periquito a más de 3000 m; en Popayan, Páramo de Leticia, La Cruz, arriba de La Unión; en Pasto, Nariño, sobre los 2700 m; en Portachuel y San Buenaventura (Sta. Ana) arriba de los 3100 m en la Meseta de Tuquerres, 3200-3300 m, en La Florida. El departamento de Nariño sería en Colombia el más importante y su cultivo llegaría a los 3300 m.

La cosecha, especialmente en Perú y Bolivia, coincide con el período fuerte de heladas en que el follaje va siendo afectado gradualmente. Las primeras heladas de marzo-abril, que son más suaves, afectan levemente las hojas.

3.2 Tuberización

Los procesos de tuberización de los cultivos andinos han sido muy poco estudiados. Su conocimiento es esencial para las fases aplicadas de su producción. Se sabe que en los Andes esos procesos duran más del doble de tiempo que en las zonas templadas.

Cárdenas (1969) observó en Cochabamba, Candelaria, que el ulluco era más precoz en tuberizar que la oca y el isaño. Estos aportes iniciales en Bolivia y Perú pueden considerarse como exploratorios y han orientado los trabajos posteriores que se reportan más adelante.

Razumov (en León, 1964) comprobó que el ulluco tuberiza sólo con nueve horas de luz. Posiblemente esto coincida con el fotoperíodo de algunas zonas a lo largo de la cordillera de los Andes. En este sentido, tal como nos referimos en maíz, por costumbre se menciona que en la zona de influencia del ecuador se tienen 11 a 12 horas de sol como norma. Los datos que se dan en la parte de climatología nos demuestran lo contrario. Además, se tiene que considerar el fotoperíodo efectivo en cada país y en cada región y más aún los datos tienen que ser precisados en el período que cubre el ciclo productivo de los diferentes cultivares.

Aparentemente hay cierta confusión entre la duración de la luz diurna o fotoperíodo y la duración del brillo del sol. La primera es la más importante en el proceso de tuberización. Como ejemplo, en la tabla 166 damos algunos datos referentes a la duración de la luz diurna y al valor medio del brillo del sol. Se ve que la diferencia máxima en luz diurna en la zona es de 1.5-2 horas, mientras que la diferencia en la duración del brillo del sol entre Pasto y Puno es de cerca de 6 horas.

La cuestión, en realidad, no es fácil de resolver. Mientras parece que en las zonas al norte y al sur del ecuador el proceso de tuberización empieza cuando decrece la longitud del día, es claro que en Ecuador, donde la longitud del día se mantiene constante durante todo el año, los clones cultivados son insensibles a este factor.

En Huancayo, Perú, Rodriguez (1966 y 1967), en ensayo conducido con el clon "Tarmeño" en la estación experimental de Mantaro, 3100 m, obtuvo los siguientes resultados: que los estolones se inician a los 58 días y la tuberización coincide con la floración media a los 100 días. El mayor número de tubérculos se produce a los 140 días con un promedio de 30 por planta y a los 160 días se alcanza el peso máximo con un equivalente de 11 ton/ha. Se determinó que después de las heladas, cuando la parte aérea se ha secado, los tubérculos continúan engrosando; que hay correlación negativa y altamente significativa entre altura de plantas y producción total y de tubérculos de primera, segunda y tercera.

Estación	Lat.	%n/N	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Mucuchies	08.44	48	11.7	11.8	12.1	12.3	12.5	12.6	12.5	12.5	12.2	11.9	11.8	11.7
Pasto	01.13	27	12.0	12.1	12.1	12.1	12.2	12.2	12.2	12.2	12.1	12.1	12.1	12.0
Huancayo	12.03	56	12.7	12.6	12.2	11.9	11.6	11.5	11.5	11.7	12.1	12.4	12.7	12.8
Puna	19.45	75	13.2	12.8	12.3	11.7	11.2	10.9	11.1	11.5	12.0	12.6	13.1	13.3

Figura 166 *Duración del fotoperíodo en algunas estaciones de la zona andina.*

Otro experimento conducido por Sandoval (1971) asesorado por Valladolid en Perú, Ayacucho, Allpachaka, 3500 m, con 3 clones resistentes a heladas procedentes de Perú: "Ancash 53-62", "N 99-32" y "Ancash 67-59", con un ciclo productivo de alrededor de 180 días, dió los siguientes resultados para todos los clones:

- La plena floración coincide con el inicio de tuberización.
- Las diferentes temperaturas durante el día y la noche no afectan el crecimiento del tallo.
- El Indice de Crecimiento del Cultivo (ICC) aumenta lentamente hasta el inicio de la floración, a partir del cual el incremento es rápido hasta plena floración, que coincide con el inicio de tuberización, época en que empiezan a decrecer hasta el final del experimento, siendo influenciado por el medio ambiente.
- Las heladas de mayor intensidad tienen un efecto desfavorable e inmediato en el ICC.
- El Indice de Crecimiento Relativo (ICR) de los tubérculos alcanza su máximo valor al inicio de la tuberización y disminuye a medida que el tubérculo aumenta en tamaño.
- El ICR de la parte aérea alcanza su valor máximo en sus primeras edades y decrece lentamente según crezca en edad la planta, dependiendo de su genotipo.
- El Indice de Area Foliar (IAR) aumenta a medida que crece la planta, esto es sólo hasta alcanzar su máximo desarrollo a partir del cual empieza a decrecer hasta cumplir su ciclo vegetativo.
- Los valores de la Intensidad de Asimilación Neta (IAN) son mayores cuanto más tiernas son las plantas, el que tiende a disminuir conforme avanza la edad de la planta, siendo grandemente influenciada por el medio ambiente, principalmente por la cantidad de luz recibida y el autosombreado.
- El incremento de PST (peso seco total) está directamente relacionado con la cantidad de agua disponible en el suelo, la precipitación y la temperatura; el que se hace más evidente desde los 121 hasta los 133 días.

Estos resultados, sin embargo, se refieren sólo a un año de experimentación y no se dan datos exactos de rendimiento. Los datos meteorológicos correspondientes se dan en la figura 167..

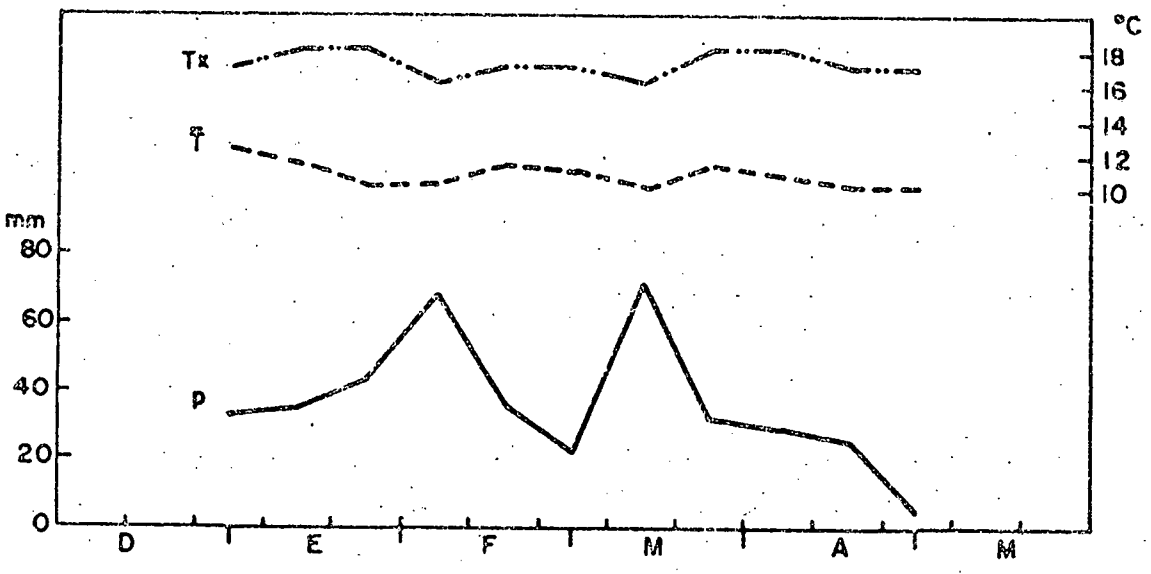


Figura 167 Datos meteorológicos para el ciclo vegetativo del ulluco.

Un cultivo con un ciclo de 180-200 días a altitudes de 3500 m en Perú puede dar buenos resultados con unos 350-400 mm de lluvia aproximadamente. En Colombia y Ecuador, otros clones se cultivan a 2500-3000 m de altitud con 400-600 mm en 180-220 días y a 3500 m en cerca de un año con alrededor de 700 mm de lluvia.

Se puede considerar que las temperaturas medias óptimas están entre 9-13° C con una máxima promedio de 16-18° C y una mínima promedio de 3-6°. Como las temperaturas medias no fluctúan grandemente durante la estación de crecimiento, las bajas temperaturas mínimas promedio indican que este cultivo se realiza en condiciones en las cuales pueden ocurrir heladas durante cualquier período del ciclo.

Las reacciones tales como el crecimiento y el desarrollo parecen ser bastante variables bajo diferentes condiciones ambientales. También algunas características de los tubérculos pueden variar fuertemente tanto durante el crecimiento como durante el almacenamiento.

4. Enfermedades, plagas y almacenaje

Entre las enfermedades para Perú se mencionan: Aecidium cantensis, Rhizoctonia solani y Peronóspora y mildew; entre las plagas: Premnotrypes solani.(Montaldo, 1972).

El ulluco, como es de producción estacional en la Sierra de Perú y Bolivia, se almacena en las zonas de producción y en refrigeración en las partes bajas a 4-6° C bajo cero, pero hay pérdidas por la brotación normal. Valladolid (1966) determinó el efecto de inhibidores sobre el crecimiento

de brotes del tubérculo. El ensayo fué en Huancayo, 3100 m, con una temperatura ambiente promedio de 12° C utilizándose el clon "Tarmeño". En las condiciones del ensayo, el buen aspecto comercial del tubérculo se mantuvo por unos 100 días con todas las concentraciones probadas: 75, 150, 225 y 300 mg/kg de tubérculos.

Benavides (1966) en Huancayo, Perú, encontró que a los 5 meses de almacenamiento no todos los clones pierden agua uniformemente, sino que hay diferencias marcadas habiéndose encontrado clones con toda su turgencia y otros con los tubérculos flácidos. También reporta que los tubérculos almacenados a temperaturas bajas en cámara fría tuberizan directamente como ocurrió con varios clones de Bolivia, lo que quizá podría explicar la mayor área de dispersión para algunos cultivares.

REFERENCIAS - ULLUCO

Benavides, A., León, J. y Rea J. 1966 Características clonales del ulluco. Inst. Interamericano de Ciencias Agrícolas. Informe Técnico, pp.188

Cardenas, M. 1969 Manual de Plantas Económicas de Bolivia. Imprenta Icthus. Cochabamba

León, J. 1964 Plantas alimenticias andinas. Inst. Interamericano de Ciencias; Boletín Técnico no. 6, pp.112

Montaldo, A. 1972 Cultivo de raíces y tubérculos tropicales. Inst. Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA. Perú

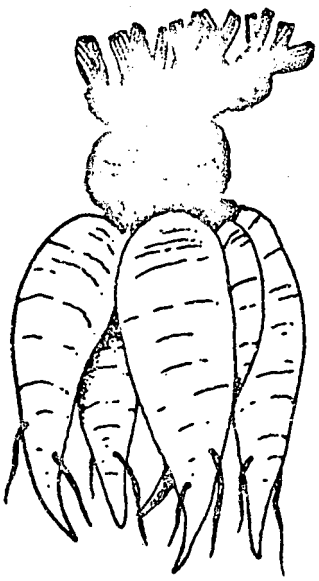
Rea, J. 1966 Quimeras en tubérculos menores. Inst. Interamericano de Ciencias Agrícolas. Informe Técnico, pp.188

Rodriguez, E., León, J. y Rea, J. 1966 Tuberización en ulluco. Inst. Interamericano de Ciencias Agrícolas. Informe Técnico, pp.189

Rodriguez, E. 1967 Tuberización en Ullucus tuberosus. Universidad Nacional del Centro. Facultad de Agronomía, Huancayo, Tesis de Ing. Agron.

Sandoval, J. 1971 Análisis de crecimiento y curva de tuberización de 3 clones de U. tuberosus. Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga. Programa de Ciencias Biológicas, Ayacucho. Tesis de Biología.

Valladolid, J. 1966 Efecto de inhibidores en la brotación de tubérculos de ulluco. Universidad Nacional Agraria. La Molina. Tesis de Ing. Agron.



XX. ARRACACHA

1. Introducción

La Arracacia Xanthorrhiza (Bancr.) se llama "Arracacha", "racacha" en Colombia, Venezuela, Perú y Bolivia; "Apio" en Venezuela; "Zanahoria blanca" en Ecuador, "Virraca" en Perú, y "Lakachu" en Bolivia.

El gusto de esta raíz es muy agradable comparado con los tubérculos menores y algunas otras raíces del subtrópico y valles de América. A pesar de eso, de sus buenos rendimientos y su amplio uso en la alimentación humana y animal, no se la encuentra muy difundida entre los países andinos, con excepción de Colombia. Quizá esto se deba al largo ciclo productivo preponderante en la mayoría de los cultivares de arracacha. Fuera de los países andinos, su cultivo tiene buena difusión en Brasil y se la industrializa principalmente en Sao Paulo como un alimento altamente digerible para niños y ancianos debido a la finura de su almidón.

Según León (1964), los intentos de aclimatarla en las partes templadas de Europa no han tenido éxito y como consecuencia no tuvo el alto grado de investigación que alcanzó la papa. En el siglo pasado la arracacha se introdujo en varios países de Centroamérica y el Caribe. En los Estados Unidos fue introducida hace 40 años, en lotes experimentales en Florida. Creció bien y llegó a fructificar. Más recientemente se ha introducido en India y Africa Oriental.

Bukasov ha sugerido que la arracacha es quizás la planta cultivada más antigua de América. Su origen no puede trazarse directamente a alguna especie silvestre, aunque se conocen numerosos casos de plantas que crecen semicultivadas, en áreas vecinas a lotes en que se planta esta especie, en Colombia, Perú y Bolivia. Sus congéneres más similares son Arracacia aequatorialis y A. andina según Constance, dos especies que se hallan en el sur de Ecuador y Perú. Se conocen restos arqueológicos, aunque no en forma definida, provenientes de tumbas incaicas, que parecen pertenecer a arracacha.

Su área de distribución en épocas prehispánicas abarcaba desde el norte de Colombia hasta las provincias septentrionales de Bolivia.

El área de cultivo más importante de arracacha ha sido Colombia, y con frecuencia se ha supuesto que es nativa de ese país. Es el país donde se cultiva en forma más intensa y extendida y en donde se conoce mayor variación. Se siembra en casi todas las tierras altas, pero más intensamente en Tolima, Nariño, Pasto y Cundinamarca. En 1928, Bukasov estimaba el área total cultivada en Colombia en 25,000 ha.

La arracacha es posiblemente una planta bienal. Pero rara vez completa su ciclo en cultivación, pues se recoge antes de la florescencia y se propaga vegetativamente. El follaje alcanza a veces hasta 1 1/2 m de alto. El tallo se compone de una cepa, de la cual parten ramificaciones cortas o brotes, de los que brotan las hojas. La cepa es cilíndrica, corta, de 3-10 cm de largo y de 2-8 cm de diámetro, cubierta por numerosas surcos transversales que forman una superficie rugosa. De la parte inferior de la cepa salen de 4 a 10 maíces laterales de 5 a 25 cm de largo por 2 1/2 a 6 cm de diámetro. Cada raíz está comunicada a la cepa por un cuello estrecho y se abre luego en una base ancha y redondeada. El cuerpo de la raíz es recto o encorvado, aplanado a menudo en su parte superior por la presión de otras raíces y termina en un ápice delgado. El color externo varía de blanco a púrpura oscuro y en ciertos tipos se presentan bandas o surcos transversales angostos y más oscuros que el resto de la raíz.

La raíz de arracacha contiene un almidón muy fino, más frecuente en la zona del xilema, formado por granos de perfil redondo o alargado, de 8 a 10 micras de ancho y de tamaño poco variable. Es la combinación de almidón, fino y uniforme, y el olor dado por las resinas, lo que hace agradable el sabor de la arracacha.

La cepa se divide en su parte superior en varios brotes. Las flores de la arracacha son poco conocidas.

León y Rea (1967) organizaron en la Zona Andina del Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas el germoplasma más importante del mundo, que actualmente se encuentra en la Universidad Técnica de Cajamarca en Perú.

2. Producción y uso de la arracacha

2.1 Datos de producción

Son escasos los datos en detalle sobre la producción, superficie y rendimiento. En el cuadro 168 se dan los datos estadísticos de Venezuela, Ecuador y Perú y en el cuadro 169 se dan algunos datos sobre producción y rendimientos regionales para 1971 en Perú. Se ve que los rendimientos son muy variables y existe poca información de experimentos sobre esto.

Países y años	Superficie ha	Rendimiento kg/ha	Producción ton
Venezuela:			
1970	7970	5040	40,170
1971	8060	5090	41,000
Ecuador:			
1968	385	6865	2,640
1969	385	6865	2,640
1970	385	6865	2,640
Perú:			
1969	2020	5750	11,620
1970	2710	5670	15,350
1971	3200	5480	17,540

Fuentes: Estadístico Agropecuario MAC; Junta Nacional de Planificación; Estadística Agraria.

Figura 168 Arracacha; datos estadísticos de los países andinos.

	Superficie ha	Rendimiento kg/ha	Producción ton
Cajamarca	2070	5,310	11,000
Amazonas	580	5,120	2,970
La Libertad	260	6,000	1,560
Lambayeque	125	6,750	840
Cuzco	80	10,500	840
Junín	35	7,390	260
Nacional	3200	5,480	17,540

Figura 169 Datos regionales de producción en Perú.

No se dispone de datos para Colombia. Se estimaba que la superficie está entre 10,000 y 20,000 ha y los rendimientos entre 3000 y 10,000 kg/ha.

2.2 Uso y valor alimenticio

La arracacha tiene un gusto muy apreciado en comparación con la papa y los otros tubérculos menores y otras raíces. Su consumo en Colombia no está restringido a las comunidades indígenas, sino que es un elemento de cierta importancia en la alimentación de gentes de diversos estratos sociales en las ciudades grandes.

Se da un resumen de algunos análisis de clones de arracacha.

	Baja	Alta	Promedio
Materia seca	24%	33%	29%
Proteínas totales	0.5	4.0	0.7
Almidón	20	28	23
Fibras	-	-	-
Cenizas	0.8	1.6	1.1
Niacina	-	-	2.8 mg
Acido ascórbico	-	-	27 mg
Calcio	-	-	28 mg
Fósforo	-	-	52 mg
Hierro	-	-	1 mg

Especialmente de los últimos cinco artículos el contenido es más alto en arracacha que en las papas. Estos contenidos altos no estan limitados a clones de una cierta zona. Algunos extremos en proteína son de 9 a 11% tanto en la raíz como en la cepa.

La preparación culinaria de las raíces es muy variada: se comen cocidas, mezcladas con otras raíces, tubérculos y carnes; asadas, en buñuelos; en sopas y picadillos, etc. Hodge informa de su uso local en Colombia mezclada con otras verduras y carnes, en un plato típico. Las hojas y tallos blanqueados se consumen como apio. Bukasov ha dicho que en la "arracacha se combina el sabor de castañas, perejil, papas, apio y espárragos".

3. Ciclo vegetativo y variedades

3.1 Aspectos generales de la ecología de arracacha

La arracacha se siembra a altitudes de 1000 a 2500 m, que es en general una altitud inferior a la de los tubérculos menores, a causa de las mayores exigencias en lluvia y suelos. Las regiones con más de 1000 mm de precipitación anual y suelos fértiles de origen volcánico son las más aptas. Por esto hay muchas áreas de altura en que su cultivo no da rendimientos satisfactorios. En las tierras más bajas no llega a formar buenas raíces.

En los países andinos se siembra la arracacha sola o intercalada con maíz y frijoles. Las rotaciones se hacen con papas o maíz. En Centroamérica se plantan en los lomillos entre los surcos. El material de propagación son los "hijos" o colinos que se arrancan de la cepa cuando se cosechan las plantas. Los hijos se dejan marchitar por 3 ó 4 días, luego se cortan en la base y también se corta la parte superior del follaje. Se plantan en lomillos separados a 1 m de distancia y con 50-80 cm entre plantas. Por lo común se entierran profundamente y a menudo se tapa el follaje. En muchas áreas se utiliza riego suplementario, que se aplica normalmente una vez por mes.

En Colombia con riego o bajo condiciones de humedad abundantes, se siembra todo el año y se cosechan después de 8-12 meses. En Perú, en la Sierra con riego se siembra en abril y mayo y se cosechan en noviembre y diciembre. Con riego y lluvia en la Sierra Sur se siembra en agosto o septiembre y se cosechan en mayo o junio. La cultivación con lluvia sola en Perú y Bolivia se hace de septiembre a noviembre y se cosecha de abril hasta junio.

Las raíces están listas para la recolección de 8 a 12 meses después de la siembra, pero también es frecuente cortarlas de la cepa después de 6 meses, teniendo cuidado de aporcar bien la planta. Se prefieren raíces jóvenes y largas y a veces se venden también las cepas.

La propagación vegetativa es la regla en arracacha. A pesar de su posible antigüedad y distribución del cultivo, aparentemente el número de clones es muy reducido. En Colombia los indios del Putumayo reconocen 11 tipos diferentes (León, 1964). En los países andinos se dividen los tipos por el color de la raíz en Blancas, Amarillas y Moradas, pero no se conoce una relación entre color y otras características de la planta. Tampoco existe una relación entre el color de follaje y de raíz, o entre el color y la procedencia. En todo, la variación es considerable.

3.2 Venezuela

Así en Venezuela las arracachas de mejor calidad como las "Amarillas" se producen en el oriente a 1200-1400 m. En Barinitas, Santo Domingo, a 1500-1800 m empieza el "Apio Criollo", y en Mérida, por ejemplo San Rafael de Mucuchíes a 3000 m, resulta muy frío para el enraizamiento. En este departamento, los pequeños cultivos están en el fondo de los valles, y en pendientes con exposición al este y oeste. En períodos secos los cultivos se regaban por aspersión cada dos semanas. La arracacha se rotaba con claveles y en Tachira con cambur y plátanos, y se asociaba con maíz. Algunos datos sobre cultivación de tres clones se da en el cuadro 170. Se interplantan a veces con maíz y frijol y se rotaron a veces con bananas, maíz y frijoles.

Clon	Localidad	Enraizamiento días	Ciclo días	Siembra-cosecha	Observaciones
Apio morado	Mérida 2200 m	180	360	Todo el año	Enfermedades: bacteriosis, a mayor alt. ciclo 450 días
Apio amarillo	Táchira 1300 m	180-240	360	Abril-abril	Ataques de áfidos cortadores (Pieris spp.)
Apio amarillo	Táchira 1500 m	180-240	360	Nov-nov.	Ataques de áfidos
Amarillo	Táchira 1700 m	180	360	Abril-abril	Ataques de áfidos, gusanos cortadores

Figura 170 Caracteristicas de algunas clones de arracacha de Venezuela.

3.3 Colombia

En Colombia la arracacha ocupa el primer lugar entre los cultivos en algunos departamentos y en este sentido Cajamarca es para la arracacha lo que es Garci Mendoza, Bolivia, para la quinua y Urubamba, Perú, para el maíz blanco gigante.

Según Perez, la superficie actual con arracacha sería de 10,000 a 20,000 ha, con rendimientos que fluctuan entre 3 y 10 ton/ha. En orden de importancia las zonas de producción son: Ibagué (Anaime y Cajamarca), Antioquía (Ceja Río Negro) y Nariño. Las alturas mínimas están alrededor de los 1200 m donde las plantas tienen tendencia a florear. Las alturas máximas irían hasta los 2750 m como en la meseta de Cundinamarca o en Boyacá. En cuanto a las partes bajas, según Trujillo, M., esta raíz se da en Santa Marta a 40 m de altitud, y ésta parece ser la primera referencia. La altitud optimal es 1800 m, con una temperatura de 18°C, y una precipitación de 600 mm, suficiente como para no requerir riego suplementario. Se recomienda plantar los "colinos" a nivel del suelo, o sea a flor de tierra y luego aporcar. Las raíces se forman al tercer y cuarto mes y engrosan al octavo mes, en que son comestibles en Antioquía. Los ocho meses para el mismo clon significan en la Sabana doce meses. En cuanto a luminosidad, en Río Negro y Nariño se cultiva con preferencia en zonas nubladas.

En Ibagué, a más de 1800 m, el primer cultivo es arracacha, luego papa, seguido de zanahoria, remolacha, repollo, frijol y maíz. Sobre la base de maíz y frijol hay una práctica intensa de siembras múltiples o asociaciones con las hortalizas. Esto se comenta detalladamente en el capítulo de maíz. Rotación para arracacha: papa-hortaliza-maíz asociado con arracacha. Esta asociación también se repite en Río Negro. La arracacha se planta cuando espiga el maíz. La siembra del maíz es de diciembre a febrero en hileras de 1.20 a 1.50 m y la de arracacha de julio a septiembre en calles de 60 a 70 cm y a 5-10 cm de profundidad. Ciclo productivo de acuerdo a la altitud, siendo lo más común de 15 a 18 meses; sobre los 2400 m el ciclo es de 20 meses.

En algunos ensayos experimentales se observaron rendimientos de la raíz de 10 a 20 ton/ha y dos clones dan un rendimiento de más de 40 ton. Las cepas dan de 10 a 20 ton/ha. Los rendimientos comerciales son para la raíz de 10-15 ton/ha y para la cepa de 4-7 ton/ha, que significa en promedio una proporción de raíz a cepa de 3 a 1.

No parece existir una relación directa entre la duración del ciclo y la altitud, presumiblemente debido a la cultivación de un número bastante grande de cultivares, de los cuales no se conocen las características detalladas.

Higuito (1968) hace un estudio detallada sobre el cultivo de la arracacha en la Sabana de Bogotá. La arracacha es susceptible a las heladas, pero normalmente no se cultiva a alturas con heladas frecuentes. No es muy afectada por las sequías, pero rendimientos buenos se obtienen con lluvias bien distribuidas.

Se dan en el cuadro 171 algunas características de una selección de clones.

Clon	Lugar alt m	Ciclo días	Siembra-cosecha	$\bar{T}$°C	$\bar{P}$ mm
Amarilla	Santander 1600 m	360	Enero, sept-enero	20	1000
Morada	Boyacá 2750 m	300	Todo el año	14	800
Amarilla	Boyacá 2750 m	360	Marzo-marzo	-	-
Paliverde	Tolima 2100 m	420-600	Marzo-14 meses	19	1000
Salamineña	Antioquía 2070 m	360	Marzo-enero	19	1000
Blanca	Antioquía 2130 m	360	Dic.-nov.	-	-
Amarilla	Cauca 1750 m	240-270	Todo el año	20	1200
Mantiquilla	Nariño 1900 m	270	Julio-marzo	17	1400
Amarilla	Nariño 2300 m	300-360	Marzo-enero	-	-
Blanca	Nariño 2600 m	360	Mayo-mayo	13	800

Figura 171 Caracteristicas de algunas clones de arracacha de Colombia.

3.4 Ecuador

Se dispone de poca información sobre Ecuador. Se cultivan arracacha criolla y Zanahoria Blanca en pequeñas parcelas, con un ciclo de 6 meses, que es muy precoz. El cultivo se hace bajo riego cada dos semanas. La rotación es con alfalfa y frijoles. Especialmente la variedad criolla

tiene preferencia por terrenos marginales. En esta área de Patate, a 2000 m, no hay heladas y se siembra en toda época, en el fondo del valle, con pendientes de 6 a 7% y con la exposición al oeste. La zanahoria se planta en octubre y tiene un ciclo de 12 meses. El rendimiento de la arracacha en un ensayo experimental fué de unas 5 ton/ha.

3.5 Perú

El cultivo de la arracacha en Perú se hace asimismo en pequeños lotes y por eso es difícil obtener información consistente. Plasencia y Sanchez (1972) hacen un ensayo de los cultivares de la colección del IICA en Cajamarca a 2650 m. La época de siembra fue de abril a junio, con riego suplementario y el ciclo productivo para los clones ecuatorianos es de 9-10 meses, los peruanos de 10-12 meses y los bolivianos de 12 meses y más. Toda la colección es susceptible a las heladas, más en la segunda parte del ciclo y disminuyendo el rendimiento de la raíz. En general la arracacha es resistente a la sequía.

Romaní (1971) investigó la formación de las raíces en un experimento en Andahuaylas con el cultivar Amarilla. Este se eligió por su sabor, precocidad y mayor rendimiento. Los resultados más importantes se dan en la figura 172 junto con los datos de temperatura y precipitación.

Las temperaturas medias en el período de mayor crecimiento varían de 12 a 15°C y son las mismas en el período en que las raíces tienden al mayor rendimiento. El crecimiento de las hojas tiene relación directa con las lluvias. Para un buen crecimiento la necesidad de agua es de 90 mm mensuales o más, o unos 1000 mm por año.

Las heladas atacan el follaje, especialmente durante la primera parte del ciclo. Las raíces son apropiadas para consumo, desde los 8 a 9 meses hasta los 14 y 15 meses. La cosecha será escalonada por la poca capacidad de conservación de las raíces. Los rendimientos son a los 11 meses de 16 ton/ha, a los 13 meses de 27 ton/ha y a los 15 meses de 37 ton/ha. Sanchez (1971) hace una descripción detallada sobre el cultivo de la arracacha en Cajamarca.

3.6 Bolivia

De las observaciones hechas en el germoplasma que se tenía en San Mateo, Perú, a 3050 m, y la mayor producción de los cultivares bolivianos que proceden de las partes altas, sobre los 2300 m, puede pensarse en arracachas de altura con requerimientos menores de lluvia. De la misma manera, existirán otras de menores alturas, coincidentes con los "yungas" o formación de "Ceja de montaña", 1500 a 2200 m, donde las lluvias están por encima de los 1000 mm con una temperatura media de alrededor de los 18°C, donde se darían los mejores resultados. O sea que su cultivo comercial estaría restringido más a esta ecología, donde prospera el café bajo sombra y donde encontramos las yucas de altura. Esporádicamente se ven parcelas con arracacha a altitudes de 3300 o más, como en Ovejuyo, La Paz.

4. Enfermedades y plagas

Pocas plagas y enfermedades atacan al cultivo de la arracacha, pero también es escasa la información sobre esto. Las enfermedades son *Erwinia sp.* y *Rhyzoctonia crocorum*. De las plagas se menciona áfidos, cortadores, arañuelas (*Tetranichus sp.*) y marceno (*Ancognatha carabeoides*).

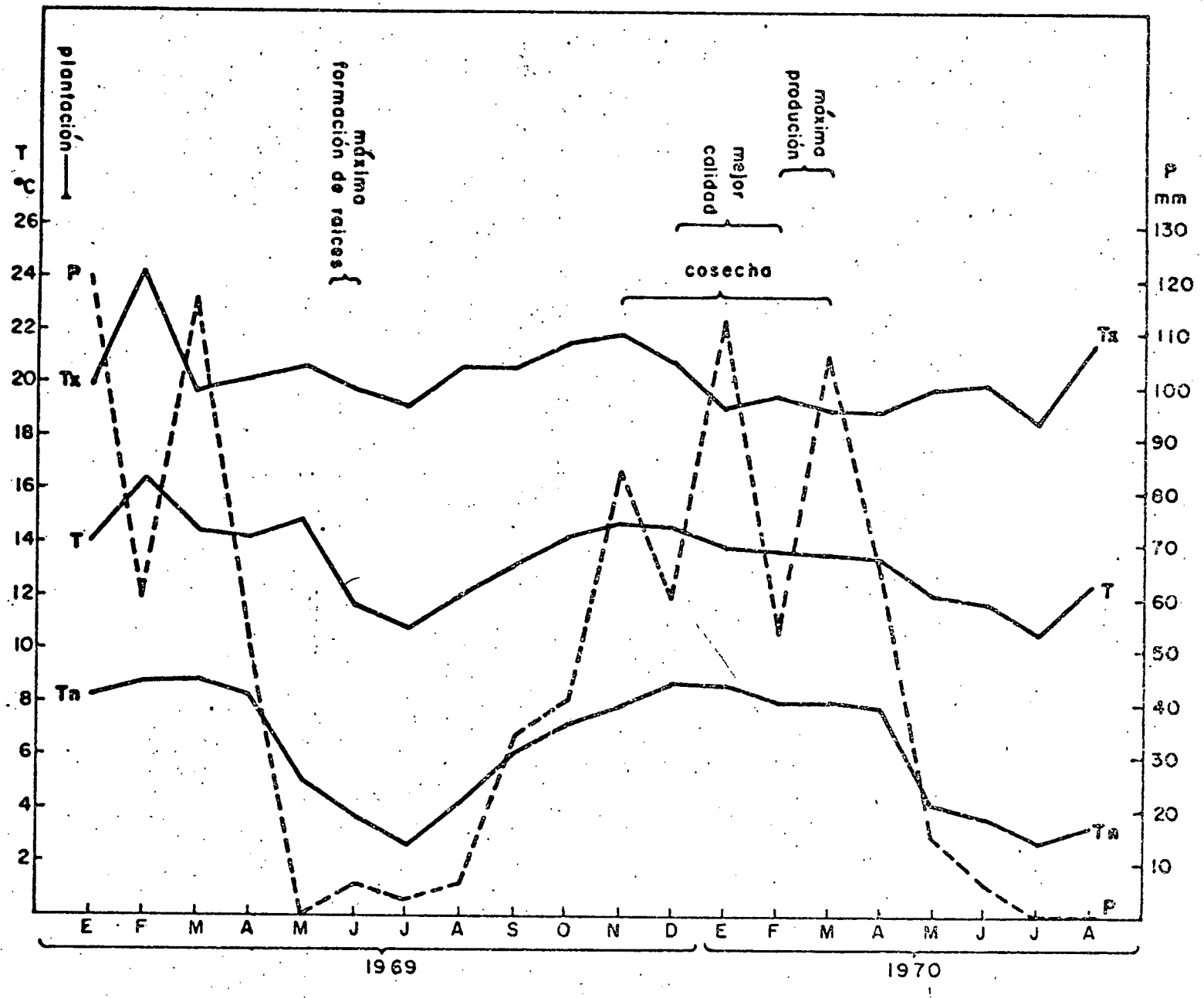


Figura 172 *Ciclo productivo de arracacha y datos climatológicos correspondientes.*

Referencias - Arracacha

Cárdenas, M. 1969 — Manual de plantas económicas de Bolivia. Imprenta Icthus. Cochabamba, Bolivia

Higuitia, F. 1968 — El cultivo de la arracacha en la sabana de Bogotá. Agricultura Tropical (Colombia) 24 (3): 139-146

_____ y Rodriguez, E. 1970 — El cultivo de la arracacha, Inst. Colombiano Agropecuario. Plegable de divulgación.

León, J. 1964 — Plantas alimenticias andinas. Inst. Interamericano de Ciencias Agrícolas, Zona Andina, Boletín Técnico no.6

León, J. y Rea, J. 1967 — Clasificación de clones de arracacha (Arracacia xanthorrhiza). Inst. Interam. de Ciencias Agrícolas. Informe Técnico Anual. Costa Rica.

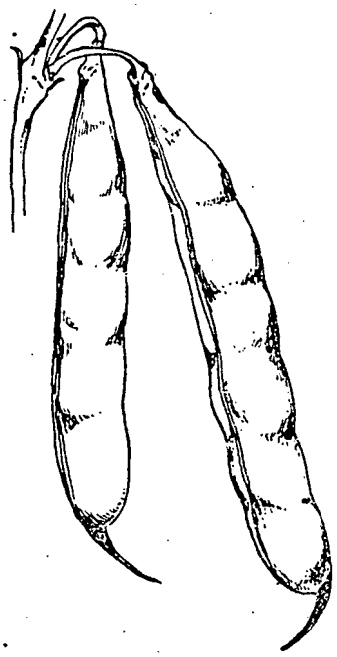
Montaldo, A. 1972 — Cultivo de raíces y tubérculos tropicales. Inst. Interam. de Ciencias Agrícolas de la OEA, Perú

Plasencia, C. y Sanchez, I. 1972 — Ensayo comparativo de 10 clones de arracacha. (Arracacia xanthorrhiza Bencr.) en Cajamarca. Univ. Técnica de Cajamarca. Perú

Romaní, A. 1971 — Curva de enraizamiento en arracacha. Facultad de Agronomía, Univer. Nac. del Cuzco. Tesis de grado. Cuzco

Sanchez, I. 1971 — Notas sobre el cultivo de la arracacha en Cajamarca. Rev. de la Univ. Nac. Técnica de Cajamarca. Año 1, no.1, Perú

Además los autores desean agradecer a los siguientes personas por informaciones personales: A. Gonzales (Venezuela), C. Arango, P. Carmona, H. Parra, F. Patarroyo, O. Perez, M. Trujillo y N. Toro (Colombia).



XXI. FRIJOL

1. Introducción

Phaseolus vulgaris comprende a las caraotas negras de Venezuela, frijol de Colombia, frijol en Perú y purutu o poroto en Bolivia.

Los frijoles se cultivan en la franja inferior (1000-2000 m) de la región andina, en parcelas pequeñas y para consumo local. La producción comercial se hace en las zonas más bajas: la costa de Perú, el valle superior del Cauca, la zona central de Venezuela.

Su cultivo, dentro del marco de nuestro estudio, adquiere mayor importancia en Ecuador y Colombia, a pesar de que en Ecuador no se investiga en frijol. En Venezuela las caraotas son preponderantemente de tierras bajas, y el Estado de Mérida, con ambiente andino, ocupa en 1971 el décimo lugar en hectaraje con unas 2500 ha. En Perú, se la considera más como menestra de Costa, aunque se la cultiva asociada con el maíz y también sola, por encima del límite máximo de la Costa, 1800 m y 2000 m, donde también aparece una menestra nativa como Lupinus mutabilis. Al extremo sur de los Andes, en Bolivia, va declinando en importancia el cultivo del poroto.

Tres especies se cultivan en los Andes, Phaseolus vulgaris, P. lunatus y P. coccineus. Las dos primeras pueden ser nativas de esta región, pues en ella se encuentran tipos silvestres, aunque es factible que se hayan domesticado en las tierras bajas de Centro o Sud América y hayan sido introducidas a los Andes. La antigüedad del cultivo (unos 6000 años) hace improbable esta última hipótesis. La tercera especie, Phaseolus coccineus, fue evidentemente introducida en el período colonial. Se la llama en Colombia "frijol calentano".

En Phaseolus vulgaris hay en los Andes de Colombia a Bolivia formas que por su aislamiento han adquirido características especiales. Son en general de porte bajo, follaje abundante y sistema radical muy desarrollado. Las más características son un grupo de variedades - predominante del sur de Colombia al norte de Bolivia - de semillas esféricas, colores oscuros, mate o brillante, a menudo con manchas circulares finas. A este grupo pertenecen las "ñuñas" del norte de Perú, y los "janka-porotus" del sur de ese país. Las primeras se comen reventadas, como el maíz. Este y otros sistemas de preparación tienden a reemplazar la cocción de los frijoles, que es de larga duración en las tierras altas y consume mucho combustible. Como se dijo anteriormente, en los Andes los frijoles se cultivan en las partes más altas de las "quebradas", muy rara vez en los altiplanos o valles altos, donde son reemplazados por el tarwi.

El pallar (Phaseolus lunatus) se siembra rara vez en las tierras altas. El grupo llamado "Lima", de semillas grandes, planas, de colores claros, es de muy bajo contenido en glucósidos y de él se derivan las formas cultivadas en Europa y Estados Unidos.

En ambas especies hay tipos de crecimiento bajo o trepador. Los primeros han sido objeto de trabajos de selección especialmente para las tierras bajas, y se han desarrollado variedades comerciales en Venezuela, Colombia y Perú. La mayoría de ellas son tipos de semillas claras: blancas, pardas, rojizas. Los frijoles negros de Centro América y Brasil tienen poca aceptación a pesar de sus altos rendimientos.

Es de observer que los ejemplares arqueológicos, abundantes en la costa y las cordilleras occidentales de Perú, muestran que en tamaño de la semilla y las vainas son comparables a las variedades actuales.

En las quebradas y valles interandinos los frijoles se siembran en pequeños lotes, generalmente varios tipos juntos. Esto da un producto irregular pero las poblaciones mezcladas permiten siempre obtener alguna cosecha, a pesar de las ataques de enfermedades o las condiciones adversas del clima.

Tanto en Colombia como Ecuador la asociación de frijol con maíz es una práctica corriente y llega a altitudes en que la leguminosa es afectada por el frío más persistente. En estas alturas aparecen en su reemplazo arvejas, habas y chochos. Los agricultores siguen desde antiguo esta forma de asociar. Como un antecedente de la domesticación de plantas en América se menciona que formas silvestres de teosinte y Phaseolus en México se asociaban naturalmente. Por tanto, parece no primar el concepto técnico de simbiosis, sino el de seguridad de la cosecha, el tutoraje para el frijol en maíces de caña gruesa, y otras veces la mayor resistencia del grano de frijol al ataque de insectos en el suelo que afectan a los granos de maíz en períodos de sequía durante la siembra. Hay otro aspecto a considerar en las prácticas culturales de los agricultores: la dieta balanceada que está al alcance de las gentes de bajos ingresos. Así, en los mercados populares de las partes montañosas de Ecuador y Colombia se venden platos económicos preparados con una combinación de maíz, frijol, carne de cerdo y a veces un agregado de chochos o tarhui.

2. Producción, superficie y rendimientos

Los productores de frijol en Colombia y Ecuador son en un 90% pequeños agricultores. Por los antecedentes mencionados, los datos estadísticos sobre superficie cultivada, producción y rendimiento que se presentan en el cuadro 173 no son tan comparables, excepto los de Colombia y Ecuador.

En Colombia de 1970 a 1973 la tendencia del consumo de frijol aumentó en 5 mil ton y la producción del frijol no responde a la demanda creciente de la población necesitada de fuentes de proteína como es esta leguminosa. Por este motivo los programas de fomento tratan de alcanzar aumentos de la producción por medios técnicos y económicos (Min. de Agricultura, 1972). Los rendimientos promedios de 600 kg/ha se aumentarán durante el quinquenio por lo menos a la mitad de lo que aparece en el cuadro de variedades, mediante la difusión de estas variedades complementada con asistencia técnica y crediticia.

Países	Año	Superficie miles ha	Rendimiento kg/ha	Producción miles ton
Venezuela	1967	72	440	32
	1968	80	330	26
	1969	83	300	25
	1970	71	340	24
	1971	76	360	27
Colombia	1967	69	560	39
	1968	70	580	40
	1969	66	610	40
	1970	66	550	36
	1971	68	580	40
Ecuador	1967	79	480	32
	1968	86	420	36
	1969	85	450	38
	1970	82	570	46
	1971	94	570	53
Perú	1967	70	850	60
	1968	60	670	40
	1969	66	760	50
	1970	66	810	53
	1971	61	790	48
Bolivia	1967	2	670	1
	1968	2	670	1
	1969	2	670	1
	1970	2	670	1
	1971	2	670	1

Fuentes: Anuario Estadístico Agropecuario (V), OPSA (C), Junta Nacional de Planificación (E), Estadística Agraria (P), Anuario de Producción FAO (B)

Figura 173 *Frijol; datos estadísticos de los países andinos.*

Los productores de frijol son pequeños agricultores en un 90% y están localizados en los departamentos del Huila, Antioquía, Santander, Cundinamarca, Nariño, Boyacá, Caldas, Risaralda y Tolima.

Ecuador es el país que sobresale por superficie sembrada, aunque por los bajos rendimientos su producción es inferior a las de Perú y Colombia. A pesar de la importancia que tiene el frijol, y seguramente por ser autosuficiente, el país no está incluído en el Plan Integral. En consecuencia, no aparece como un rubro prioritario en los programas de investigación. En Imbabura (Montoya, 1973) en 1973, el frijol ocupa el quinto lugar entre los cultivos con 16,000 ha. Se estima que en 15,000 ha está asociado con maíz y 1000 ha corresponden a frijol sólo.

De las cifras que se presentan en el cuadro de estadísticas de Perú, cerca del 40% en promedio de la superficie cultivada con frijol corresponde a la Sierra. Aquí los rendimientos son inferiores al nivel nacional. En promedio son de alrededor de 600 kg/ha. Este rendimiento en cultivos de secano es de 570 kg/ha, y con riego casi dobla esta cifra. Con todo, las cifras de rendimiento en secano son casi iguales a las que se obtienen en Colombia.

Perú, al igual que Venezuela, es deficitario en frijol, aunque las cantidades que importa por Perú son mucho menores que las de Venezuela. Con todo, Perú va disminuyendo el volumen de sus importaciones en el trienio considerado.

Según Bocanegra y Echandi (1969), en la Sierra el cultivo de las menestras (leguminosas de grano) se encuentra en estado primitivo, siendo cultivos de subsistencia. Toda la información técnica obtenida en la costa se considera que es para los "agricultores avanzados" del país.

3. Variedades

En Venezuela, en 1971, Mérida ocupó el décimo lugar en superficie cultivada con frijoles, con unas 2500 ha. Ningún centro de investigación agrícola, sea del Ministerio de Agricultura o de la Universidad de los Andes, se ocupa de la investigación de las caraotas de altura.

En consecuencia, la mayor parte de la información se obtuvo localmente. Surge de ella que en la región de Mérida y Mucuchies el frijol es cultivado principalmente por pequeños agricultores en terrenos de 1/4 ha o menores.

Cultivar	Localidad y altitud (m)	Ciclo product. (días)	Mes siembra	Mes cosecha	Tipo
Bogotano	Cacota-N.Santander, 2150	200	Mayo	Nov.	tallo voluble grano rojo
	Icota-N.Santander 2070	200	Mayo	Nov.	id.
Maicero	Socorro-M.Redondo Sant.1600	195	Marzo	Set-Oct.	Tallo voluble
Tolimero	Id.	60	Todo el año	Todo el año	3 cosechas al año; de tronco.
Tapero	Id.	-	-	-	-
Diapata	Id.	-	-	-	-
Guamón	Id.	-	-	-	-
De árbol	Capiro-Rio Negro Antioq. 2070	-	-	-	De tronco
Colorado	Hda. La María-Piendamó, Cauca, 1750	150	Set.	Enero	Grano blanco; de tronco
s/n	Calibío, Cauca, 1870	150	Oct.	Feb.	Tallo voluble, precoz.
s/n	Id.	90	-	-	Tallo voluble, 4 cosechas al año
Sangre de toro	Pedregal, Nariño, 2000	105	Oct.	Enero	De tronco, 3 cosechas al año
Id.	Id.	105	Marzo	Junio	Siembra de invierno, precoz.
Lima	Id.	105	Id.	Id.	Siembra de verano

Fuente: Orozco (1971)

Tabla 174 Datos de cultivares criollos y variedades mejoradas colombianas.

El Instituto Colombiano Agropecuario tiene una colección de aproximadamente 6000 entradas de frijol y de éstas, 1500 corresponden a clima frío que son conservados en Tibaitatá, renovándose cada tres años.

Los ciclos productivos en general están entre 75 días para tipos arbustivos precoces de clima caliente moderado, a 270-330 días para tipos tardíos de talle voluble y que son propios de climas fríos, en altitudes de 2000 a 2600 m.(Orozco, 1971). Alrededor de los 2500 m un ciclo de 240 días para un tipo rastrero es considerado como precoz y 3000 m se considera la altura máxima.

A continuación damos algunos datos sobre cultivares criollos en cuadro 174 y en cuadro 175 lo referente a variedades mejoradas en el Programa de Leguminosas del Instituto Colombiano Agorpecuario.

Variedad	Altitud (m)	Ciclo product. (días)	Rinde kg x ha	Observación
Diacol Catic	1000-2200	85	-	En los 1000 m no se recomienda por ataque de mosaico común y roya
ICA-Cuna	1200-1800	-	1800	A la misma altitud se cultivan otras variedades. Algarroba, Estrada Rosado, Liborino, Uribe Redondo
Diacol Andino	1800-2600	-	1500-2000	Resistente a algunas enfermedades
ICA-Tundama	2300-2600	165-170	1400-1600	Tolerante a antracnosis y roya. Tiene "sangre" peruana

Fuente: Orozco (1971)

Tabla 175 Datos de cultivares criollos y variedades mejoradas colombianas.

Según Higuita (1971) el frijol, por su largo período vegetativo en las condiciones de la sabana de Bogotá, sería objetable para ser incluído en las siembras múltiples.

En Ecuador se han obtenido informaciones de los pequeños agricultores que, como ya se ha dicho, son el 90% de los productores de frijol (cuadro 176).

En Perú, en Huánuco, 2000 m, a la variedad criolla lentreja que tiene tallo voluble se la considera muy rústica, resistante a la polilla y por su hábito de crecimiento llega a ahogar al kikuyu (P. clandestinum).

Chiappe (1969) menciona como problemas que tiene el frijol en la Sierra: variedades de largo período vegetativo, 165 a 180 días (aunque este período para la Costa sería de 150 a 165 días), y mezcla de biotipos posiblemente por cruzamiento natural y de siembras múltiples.

Cultiver	Localidad y altitud (m)	Ciclo product. (días)	Mes siembra	Mes cosecha	Tipo
Sucu	Ancochagua, Imbabura, 2750	270-300	Nov.	Agosto	Tallo voluble, grano bajo. Consumo en verde y seco.
Brutilla o magolito	San Javier del Huerto, Patate, 2000	Verde 120 seco 180	Agosto Agosto	Nov. Enero	Tallo de tronco asociado con tomate.
Panamito	Id. 2000 zona seca	150-165 precoz.	Todo el Año	Todo el año	De tronco, grano blanco. Regado, 5 riegos c/15 días

Tabla 176 Datos de cultivares ecuatorianas.

4. Epocas de siembra

Las épocas de siembra en cultivos de secano en Colombia, que es la modalidad principal, son dos: la del segundo semestre y la del primer semestre. En 1972 las siembras del segundo semestre (Min. de Agricultura, 1972) han tenido mayor superficie que las del primer semestre. Estas épocas son las principales,y, como puede verse en el cuadro de frijoles criollos, hay variaciones de acuerdo al cultivar y localidad. Por ejemplo, Orozco (1971) recalca que por la sensibilidad del frijol al frío, se recomienda sembrarlo en el primer trimestre, en marzo, debido a las heladas que se presentan en los últimos meses del año. En general para las asociaciones de frijol de tallo voluble con maíz, hay coincidencia de épocas, pues se siembran juntas. En cambio los tipos de tronco se siembran solos.

En la Sierra del Perú es un cultivo de primavera-veranc. Se lo siembra entre setiembre y diciembre, influyendo el clima y en una misma región los cultivares de acuerdo a su ciclo productivo. Los tipos más tardíos se siembran antes que los precoces (Chiappe, 1969).

5. Ciclo de producción y condiciones ecológicas

En Venezuela Ortega y Barrios (1972) al describir la variedad Tacarigua, señalan que la mayor parte de las tierras que se dedican al cultivo de la caraota - en Venezuela corresponde a las partes bajas, cuya altitud fluctúa desde 0 m hasta 1200 m s.n.m. El consumo nacional de la caraota (Shell, 1971) se estima en unas 50 mil toneladas de las cuales unas 20 mil toneladas se importan. Colombia es uno de los países proveedores, ya que las caraotas que se producen en el Valle del Cauca son de exportación, junto con otras leguminosas de grano cultivadas en las tierras bajas.

García (1969) presenta los índices agroclimáticos de la caraota que corresponden a la intensidad de la humedad y de la sequedad. Analiza las épocas de siembra oportunas, la variabilidad de esas épocas y los años negativos en el campo experimental de Maracay, 450 m, para un período de

quince años. Se menciona el método seguido y la posibilidad de la zonificación de cultivo de acuerdo a dicho método para regiones más extensas. Se indican como regiones productoras las tropicales, donde existen zonas temperadas por la altitud, como las situadas entre 500 y 2600 m, donde deberían encontrarse los termoperíodos que de acuerdo a la experiencia mundial ubican al frijol en climas de verano cálido.

Son adecuadas las temperaturas medias de 17° C aproximadamente, que corresponden a una latitud de 8° N y una altitud de 2000 m. Las zonas con buena exposición pueden estar situadas varios cientos de metros más arriba, mientras las temperaturas sean superiores a 8° C para la germinación y a 15° C para la floración.

Los valores de humedad al nivel del suelo deben tener un margen estrecho de variación durante el ciclo vegetal. Se obtienen buenas cosechas con precipitaciones de 200 a 350 mm durante el ciclo y aun con 150 mm para ciclos cortos de 75 días. En este caso, la precipitación adecuada es entre 20 y 70 mm durante la florescencia. Lo mejor es una lluvia cada tres o cuatro días o un total de veinte a treinta días de lluvia.

Conforme al método del balance hídrico que se menciona en la primera parte de este estudio, el período adecuado para el cultivo del frijol se subdivide en períodos en los cuales no haya un deficit del balance superior a 100 mm ni un exceso superior a 70 mm, por cada mes del ciclo vegetativo.

En las montañas venezolanas, hasta un nivel de 2000 m, hay que descartar la posibilidad de dificultades causadas por la temperatura. En Bramon, a una altitud de 1100 m, la precipitación pluvial satisfará, con un 80% de probabilidad, las exigencias desde mayo hasta octubre, conforme a las siguientes cifras:

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
p	42	48	48	124	137	178	160	123	100	144	146	76
P (80%)	14	15	23	57	83	101	99	94	63	78	57	19
ET	94	79	96	84	110	104	102	113	112	106	96	89
Def.	80	64	73	27	27	3	3	19	49	28	39	70

Tabla 177 Datos meteorológicos para Bramon.

Sin embargo en Bailadores, a una altitud de 1750 m, pueden producirse restricciones en la temperatura con relación a la maduración, de diciembre a febrero y también en julio. Los datos correspondientes se registran en la figura 178. La demanda de agua será satisfecha durante dos períodos, uno desde fines de marzo hasta mediados de junio y el otro desde fines de setiembre hasta mediados de diciembre. Este último puede ser adecuado solamente para las variedades de corto ciclo.

En la región de Mérida, a altitudes superiores a 2000 m, el ciclo de crecimiento para una variedad criolla es de unos 135 días, con la floración después de 60-65 días y un rendimiento de 800 kg/ha de frijoles secos.

Los datos generalizados en el cuadro 179 corresponden a una temporada de crecimiento desde el 5 de enero hasta el 20 de mayo.

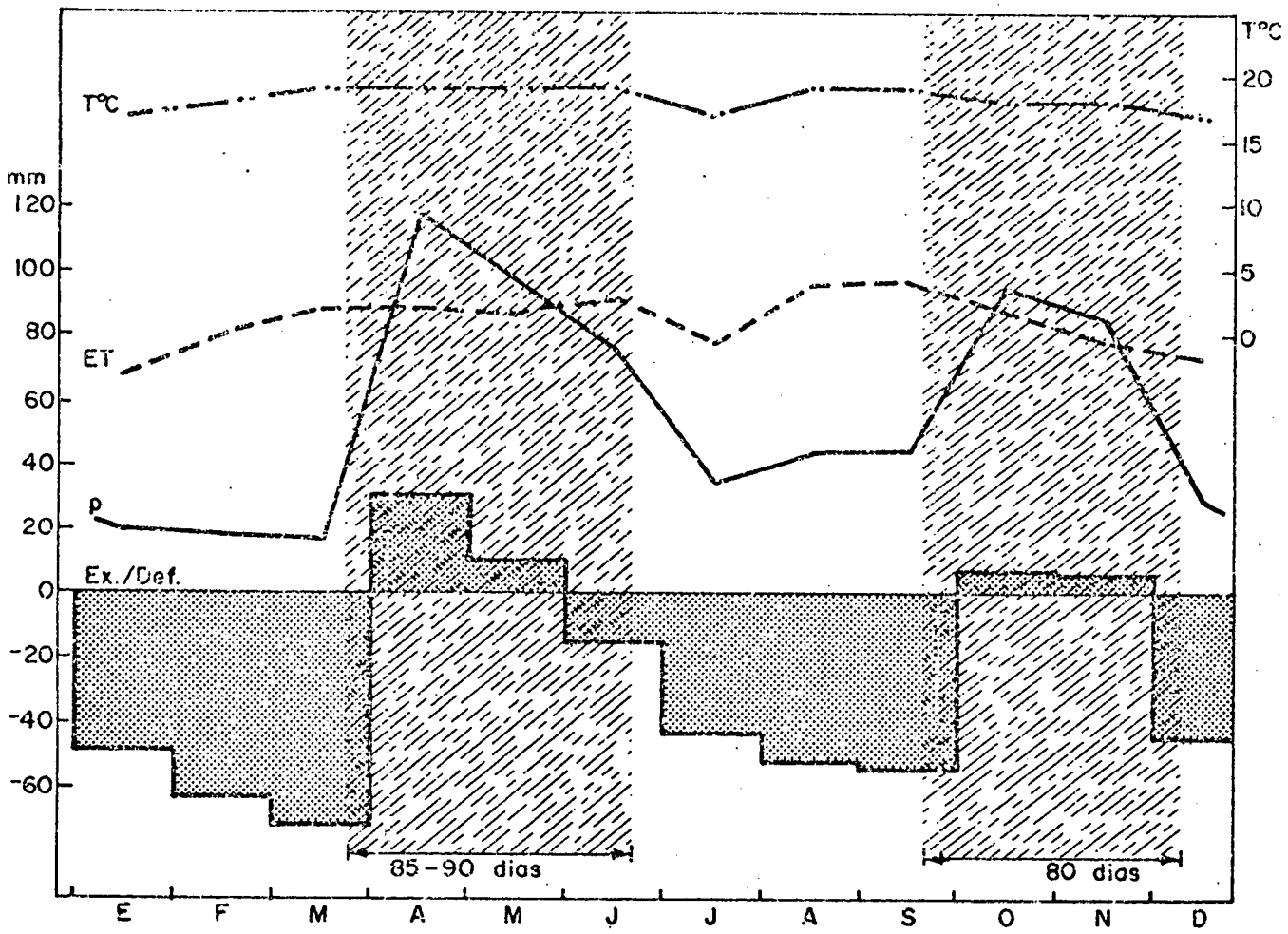


Figura 178 *Períodos de cultivación de frijol en Bailadores.*

	P	ET	Def.	Ex.
Enero	50	85	35	
Febrero	40	90	50	
Marzo	40	105	65	
Abril	150	95		55
Mayo (20 días)	160	65		95
Total para 135 días	440	440	150	150

Figura 179 *Datos metecrologicos para Merida.*

Dado que en esta región la precipitación pluvial es generalmente superior a 1500 mm, se da preferencia al final de la estación seca, combinada eventualmente con riego adicional, debido a la ya analizada susceptibilidad del frijol al exceso de agua.

Es importante, sin embargo, evitar cortos períodos de sequía durante las dos semanas previas a la floración.

En Perú los principales departamentos productores de la Sierra están en el norte y luego en el centro. En 1973, en Huánuco, en altitudes de 1800 a 2500 m, se estimaba en cerca de 2700 ha lo cultivado con frijol asociado con maíz (Fuentes, 1973). El 90% del frijol correspondía a cultivares nativos y el 10% a Canario y Caballero. Esta misma asociación observamos en el Valle de Cajamarca en alturas alrededor de 2650 m y en suelos relativamente planos. En Huancayo el frijol estaba en cuarto lugar y los cultivos corresponden a ceja de selva. En Ayacucho, a 2000-2400 m, hay cultivos de variedades como Caballero, Canario, Panamito. La primera variedad en Tambillo, Bellavista, va hasta 2900 m, que sería lo más alto para poroto en esta parte del país. En Cuzco el frijol iría hasta los 2600 m. A mayores alturas es afectado por el frío. Además tanto la cocción como la digestión del poroto se hacen más lentas.

En una forma general Chiappe (1969) menciona que la temperatura óptima para el desarrollo vegetativo es de 18 a 21° C y que las temperaturas mínimas para el desarrollo de las distintas fases son: 8° C para germinación, 15° C para floración y 18-20° C para maduración de legumbres.

Temperaturas entre 2 y 6° C, en forma prolongada, no son toleradas por las plantas. Las temperaturas más altas, 27 a 30° C, pueden ser toleradas siempre que se tenga una humedad del aire suficiente, que sería alrededor del 50%. Cifras inferiores a esta humedad en floración, con período caluroso, ocasionan caída de flores.

Son perjudiciales para su desarrollo: lluvias superiores a 500 mm, especialmente en terrenos mal drenados, humedad alta del suelo y vientos fuertes. Si el inicio de la floración coincide con algunos de estos elementos desfavorables, se retarda la fase.

La falta de agua reduce los rendimientos del frijol. El número de vainas por planta, el número de granos por vaina y el peso del grano sufren mermas notorias al presentarse sequías en períodos críticos, tales como la floración, la formación de granos y su maduración.

5.1 Asociación y rotación

En cuanto a la asociación de frijol voluble con maíz en los climas fríos (1800 a 2600 m), Orozco (1971) informa que los bajos rendimientos del frijol y maíz se deben principalmente a la susceptibilidad a enfermedades y también al desequilibrio de la asociación, por exceso de enrame y por competencia por luz y fertilizantes. En Tibaitatá se han logrado aumentar los rendimientos con variedades de mejores condiciones que las existentes. La selección de tipos volubles se va adelantando para ser utilizados en siembras asociadas.

Las siembras continuas de frijol en el mismo lote son perjudiciales, porque además de originar desequilibrios en los nutrientes del suelo, favorecen la multiplicación de organismos nocivos al cultivo, por lo cual pueden presentarse ataques severos de plagas y enfermedades.

Las rotaciones más indicadas para el frijol son las que se hacen con gramíneas tales como maíz, sorgo, arroz, trigo, cebada y pastos. Otras rotaciones que pueden hacerse son algodón, tomate, tabaco y papa.

6. Enfermedades y plagas

En Venezuela las principales enfermedades son Ryzoctonia y Fusarium y los insectos más importantes son Laphygma y pulgones.

En cuanto a otras enfermedades en las partes medias, Cardona y Renaud (1967) mencionan en Sanare, Lara, 1450 m, la presencia de la mancha harinosa de la caraota: Ramularia phaseolina registrada por primera vez en el país en estas altitudes como en partes más bajas de dicho Estado.

En Colombia, para 1972 (Min. de Agricultura, 1972) se informa que en algunos municipios del Huila hubieron fuertes pérdidas por cuestiones sanitarias debidas en gran parte a la falta de técnica en los cultivos.

Para los climas medios - 1200 a 1800 m - las principales enfermedades son: Roya, Isariopsis griseola, Fusariosis, Rizoctoniasis, Romularia phaseolirum, Colletotrichum lindemuthianum, Oidium y Ascochyta phaseolorum.

En las regiones frías, 1800 a 2600 m: Sclerotinia sclerotiorum, Antracnosis, Roya, Pseudomonas phaseolicola, Xanthomonas phaseoli e I. griseola.

En las tierras frías las plagas no son tan graves como en las regiones cálidas y templadas.

En Ecuador se encuentran Oidio y la Roya a la cual Magolito sería más susceptible que Panamito. Las plagas más importantes son los insectos cortadores.

En Perú se encuentran las siguientes enfermedades: antracnosis, pudriciones de raíz y esclerotiniosis.

7. Fertilización y almacenamiento

En Colombia, según Orozco (1971), en la mayoría de los suelos de la cordillera de clima fríO, cuando se siembra frijol, el N y P pueden dar respuestas positivas, especialmente fósforo. Como también en su mayoría estos suelos son ácidos, deben considerarse las enmiendas calcáreas.

La recolección debe hacerse tan pronto como las plantas estén completamente secas. Esto facilita la labor de desgrane y el grado de humedad de la semilla permite el almacenamiento en buenas condiciones. Para tratamiento de grano almacenado que se va a utilizar exclusivamente como semilla, se puede emplear DDT del 10% en la proporción de un gramo por kilo de semilla. Es conveniente que tanto la bodega como el equipo estén limpios antes de la cosecha.

Referencias - Frijol

Barrios, G.A. 1966 — Información preliminar sobre ensayos de rendimiento de caraota (Phaseolus vulgaris) bajo condiciones de lluvia y riego. Reg. Agronomía Tropical, Vol.XVI, no.1, pp.95-100. Maracay

Bocanegra, S. y Echandi, E. 1969 — Cultivos de las menestras en el Perú. Min. de Agricultural, Misión Agrícola de la Univ. de la Carolina del Norte, Proyecto de Incremento de la producción de menestras

Cardona, C. y Renaud, J. 1967 — Notas, la mancha harinosa, nueva enfermedad de la caraota en Venezuela. Rev. Agronomía Tropical, Vol.XVII, No.3, pp.213-214, Maracay

Chiappe, L. 1969 — Cultivos alimenticios I. Capítulo Leguminosas. Univ. Nac. Agraria, La Molina

Fuentes, G. 1973 — Información personal. Oficina de Huánuco. Zona Agraria.X.

Garcia, G. 1969 — Zonificación de Phaseolus vulgaris en función de su regimen hídrico. Rev. Agronomía Tropical, Vol.XIX, no.3, pp.197-203. Maracay

Higuita, F. 1971 — Siembras múltiples e intercaladas. ICA. Programa de hortalizas y frutales, Boletín de divulgación no.42

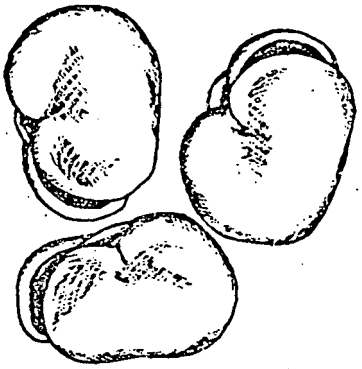
Ministerio de Agricultura 1972 — Programas Agrícolas. Oficina de Pleaneamiento del Sector Agropecuario (OPSA)

Montoya, G. 1973 — Información personal. Delegación del Ministerio de Agricultura, Ibarra, Imbabura

Orozco, S. 1971 — El cultivo del frijol en Colombia. ICA. Regional no.5 Programa de leguminosas de grano y oleaginosas anuales, Boletín de divulgación no.2

Ortega, S. y Barrios, A. 1972 — Tacarigua: nueva variedad de Caraota (Phaseolus vulgaris L.), Rev. Agronomía Tropical, Vol.XXII, no.4 pp.435-438. Maracay

Servicio Shell para el Agricultor 1971 — Leguninosas, Fundación Shell , Serie A, no.34, pp.1-55. Maracay



XXII. HABAS

1. Introducción

Las habas son utilizadas en la alimentación humana, sea en verde o en seco, y luego como forraje. Su rango de adaptación en el Nuevo Mundo es notable. En los Andes de Sud América crecen en todos los niveles; llegan en el sur del altiplano de Perú hasta los 3900 m y resisten temperaturas de menos 4° C según Campos et al (1970). Puede decirse que en este ambiente tienen su lugar de adopción, igual que la cebada, y que conviven con el habitante andino junto con las especies nativas.

"Su contenido de proteína las coloca como uno de los alimentos más recomendados para balancear la dieta de la población. Recientes análisis efectuados en Tibaitatá, Colombia, muestran que algunas variedades de habas contienen de 18 a 26% de proteína, cuando el grano está seco. Una de las características más importantes de las habas es su resistencia a bajas temperaturas. En Tibaitatá se observó que un cultivo de habas en floración soportó cuatro heladas consecutivas, una de ellas a -1.8° C durante casi una hora, sin afectarse su producción y calidad." (Higuita y Rodriguez, 1971).

2. Superficie, producción y rendimientos

Las estadísticas de producción aparecen sólo en tres países: Ecuador, Perú y Bolivia. Puede considerárselas como un cultivo secundario. En Perú aparecen algunas importaciones de productos elaborados pero en volúmenes insignificantes. Las investigaciones en habas en Colombia y Perú son relativamente recientes y son los dos únicos países que tienen tales programas.

		Superf. miles ha	Rendim. kg/ha	Product. miles ton
Bol.	1967	11	640	7
	1968	11	660	7
	1969	6	790	5
	1970	6	860	5
	1971	6	830	5
Ec.	1967	34	600	20
	1968	35	570	20
	1969	34	590	20
	1970	35	570	20
	1971	30	530	16
Perú	1967	23	990	22
	1968	19	890	17
	1969	21	950	20
	1970	24	880	21
	1971	23	880	20

Fuentes: Junta Nacional de Planificación, Estadística Agraria y Anuario, FAO

Tabla 180 Datos estadísticos de países andinos.

3. Ciclo de producción y variedades

En Mérida, Venezuela, se obtuvieron los siguientes datos:

Variedad	Localidad altitud m	Ciclo vegetativo (días) Floración/Madurez		Siembra	Cosecha	Rendim. kg/ha	Heladas Primeras/Ultimas	
Americana	Chachopo 1800	60	120 (precoz)	Nov.	Feb.	2000	Dic.	Feb.
Id.	Id.1800	60	180	Set.	Abril	1500	Dic.	Feb.
Id.	La Venta 1900	60	210	Dic.	Junio	1100	Dic.	Feb.
Criolla (pequeña)	San Rafael de Mucuchíes, 3000	100	290	Marzo 10	Dic.	-		

Tabla 181 Datos sobre variedades de habas en Mérida.

En Chachopo las lluvias son de marzo a octubre y en la Venta de mayo a agosto.

En las partes bajas - 1800 m - se alterna con lechugas, coliflor y otras hortalizas. En San Rafael de Mucuchíes se rota así: papa - trigo - haba - papa. Asociaciones se encuentran hasta 3000 m con papa.

En Colombia los habales más extensos están en Nariño, en el tramo de Santa Ana a Ipiales a 3000 m. Este cultivo y el de papa alternan con extensos pastizales naturales. En la meseta de Tuquerres, en Huaytarillo existen asociaciones de habas y oca.

Higuita y Rodriguez (1971) describen el cultivo de habas, y los mejores rendimientos se obtienen entre 2000 y 3000 m de altitud. Por debajo de los 1800 m de altura, la mayor parte de las flores se caen y los rendimientos disminuyen en forma notoria. Los suelos orgánicos de buen drenaje son mejores que los arcillosos y arenosos.

Se ha observado que las habas soportan temperaturas muy bajas y aún se ha registrado su resistencia a heladas. También es notoria su resistencia a la sequía. Mucha humedad en el ambiente o en el suelo es dañina para las habas porque facilita el ataque de hongos a las hojas y a las raíces.

En Cundinamarca y Boyacá se pueden sembrar a fines del verano o a principios del invierno (marzo-abril). Si siembra en esta época, no necesita agregar riego artificial. Si dispone de riego, se puede sembrar en cualquier época del año.

Las habas se pueden sembrar intercaladas o combinadas con maíz, frijol y arveja, debido a sus diferentes períodos de cosecha, lo cual permite recolectar en forma escalonada. Primero se cosecha arveja, después haba, luego frijol y maíz al mismo tiempo. Se obtienen mejores resultados sembrando surcos de maíz con frijol, y habas con arvejas.

Buenos resultados se obtienen si siembra habas en el mismo terreno ocupado de zanahoria, remolacha, coliflor y repollo, que estén próximos a cosecharse. Con este sistema se evita gastar en la preparación del terreno y economiza suelo, ya que cuando se haga la cosecha de esos productos, las habas tienen un mes de sembrada y unos 20 centímetros de altura.

A continuación se resumen algunas observaciones sobre el terreno para Colombia y Ecuador y se estima la precipitación pluvial media durante la temporada de crecimiento.

Cultivar	Localidad y alt.(m)	Siembra	Cosecha	Ciclo vegetativo Días Floración	Días Madurez	Precip. mm	$\bar{T}$
Criolla	Cácota-N.Santander, 2150	Abril	Nov.	90	240	800	16.0
Criolla	Venta-quemada Boyacá, 2750	Marzo	Oct.	90	240	1500	13.5
s/n	Id. Bojirque Meneses, Bueysaca, Nariño, 2600	Marzo	Nov.	100	270	-	-
		Set.	Abril	90	240	1600	14.0
Blanca	La Esperanza, Nariño, 3050	Nov.	Mayo	80	200	530	13.0
Blanca	San Gabriel, Carchi 2850	Todo el año		90	240	700	11.5
Chaucha	Hacienda Chitan Montufar, Carchi 3000	Nov.	Ago.	90	240	650	11.5
Blanca *	Ancochagua, Imbabura, 2750	Nov.	Ago.	100	280	730	14.0

* Con la sequía caen las flores; no así con precipitaciones fuertes.

Tabla 182 Datos de cultivación de habas en Colombia y Ecuador.

Surge que en la zona ecuatorial entre 2000 y 3000 m de altitud, con temperaturas correspondientes de 11-17° C, la demanda de agua de las habas está en el rango de 2-3 mm/día. Lo mismo que los frijoles, las habas prefieren suelos bien drenados pero son un poco menos exigentes y menos susceptibles al exceso de agua.

En Perú casi el total de la producción de haba seca se concentra en la Sierra. Así de unas 22,000 ha, 18 mil corresponden a secano y 4 mil con riego, con rendimientos promedios de 900 a 1000 kg/ha.

Las regiones y departamentos que se destacan en producción son La Libertad en el norte, Ancash en el centro, y Cuzco en el sur. Conviene destacar también que en el sur está Puno cuyas alturas promedios de los cultivos están alrededor de los 3800 m. Los rendimientos unitarios de los principales departamentos son ligeramente superiores en el centro debido a las condiciones ecológicas más benignas del callejón interandino.

Los niveles superiores que se mencionan están a 3900 m, donde en un ambiente seco y frío las habas resisten temperaturas de hasta 4° C bajo cero (Min. de Agricultura, 1969). Según la experiencia disponible, en Bolivia es posible que las formas más resistentes al frío sean de granos chicos "Uchuculu" en oposición a los de grano grande "Usnaya", cuyo cultivo se hace en regiones más atemperadas; esto en lo referente a los tipos "acriollados" que se vienen cultivando probablemente desde la Colonia.

La época de siembra principal es de octubre a diciembre (Campos et al, 1970), de tal manera que las heladas de la segunda quincena de abril y de mayo no afecten a las vainas que estén completando su madurez. Si afectados los granos en verde por estas bajas de temperatura, se deprecia el producto cuyo destino es el forraje concentrado.

Estas fechas se pueden adelantar en caso de disponerse de riego. Por ejemplo en Huancayo, en la estación experimental, 3150 m, la siembra se hace en agosto para cosecharse en enero. Aquí se complementa la lluvia con riego. Así, se dan tres riegos, dos en la primera fase y uno en floración, y el ciclo vegetativo se completa con lluvias. Los riesgos en lo referente a heladas consisten en las primeras de noviembre, de diciembre y de enero. Las últimas, durante el período vegetativo para las siembras de secano (noviembre-abril), ocurren a partir del 15 de marzo (en un año muy lluvioso las heladas pueden atrasarse hasta mayo). Estos riesgos podrían explicar los bajos rendimientos de los cultivos bajo riego, en comparación con los de secano, en cuanto al promedio nacional.

En altitudes inferiores a 2800 m hay cultivos de invierno bajo riego y gran parte de la producción es de grano verde.

En las siembras grandes de secano, por ejemplo entre Huancayo y Ayacucho, a 3700 m, se ven asociaciones de haba con cebada, y a 3200 m, en Huaraconde, Cuzco, haba con maíz; en Tary, Cuzco a 2900 m, haba con papa, y papa asociada simultáneamente con arvejas y habas.

Resumimos algunas informaciones de las cercanías de Huancayo:

Cultivar	Localidad altitud (m)	Ciclo vegetativo (días) Verde	seco	Rendimiento kg/ha
Pacae Blanco (selección de Mantaro)	Estación experimental Huancayo, 3150	165	190	1000 con fertilización
Jergon	Jauja, 3330	-	180	

Tabla 183 Datos de cultivación de habas en Perú.

Las precipitaciones son de unos 550 mm y las temperaturas promedios son de 11-12° C, con mínimas medias de 6-7° C y máximas medias de 18-20° C.

4. Variedades mejoradas

El Instituto Colombiano Agropecuario tiene un germoplasma superior a 100 líneas. Las más sobresalientes aparecen en el cuadro 184 elaborado como resumen de la información dada por Higuita y Rodriguez (1971).

Variedad	Ciclo productivo (días)	% proteína grano seco	Rendimiento en seco kg/ha
20-001	150	25	3360
20-144	120	24	2200
20-146	110	-	-

Tabla 184 Variedades mejoradas de habas del ICA.

El programa de menestras de la estación experimental La Molina recomienda las siguientes variedades tardías (Bocanegra y Echandi, 1969):

Sierra Norte: Grande Rayada y Mediana Plomiza.
Sierra Central: Pacao Blanco Mantary y Pacae Rojo Mantaro.
Sierra Sur: Verde de Secuani y Kell - Jaos.

Se menciona otras variedades precoces como: Mahon Negra, Mucha Miel, Toucro y Agua Dulce. Se consideran precoces a las de 120 días y tardías las que maduran en 150 a 180 días.

Vásquez (1968) en ensayos experimentales de Huancayo, 3150 m, encontró que las mejores variedades por rendimiento y precocidad son: Jilguero de Sicuani, Amarilla de Andahuaylas, Mucha Miel. Menciona que hay correlación positiva entre altura de planta y rendimiento, pero mayor longitud de vainas no implica mayor rendimiento. Las vainas con dos y tres semillas tienen mayor rendimiento, con correlación negativa entre precocidad y rendimiento, y correlación positiva entre la mayor duración de la floración y el rendimiento.

5. Enfermedades y plagas

En Colombia las enfermedades más importantes (Higuita y Rodriguez, 1971) son:

- Atabacamiento (Cercospora sp.). Más grave en período de lluvias.
- Pudrición del tallo
- Roya

Las plagas más serias son:

- Tostón (Liriomuza sp.)
- El cogollero
- Afidos
- Babosas o caracoles

Se indican los controles químicos.

En Perú las enfermedades, en orden de importancia, son:

- Chupadera fungosa
- Marchitez
- Mancha de la hoja
- Roya
- Podredumbre gris
- Virus.

Como métodos de control se recomiendan las rotaciones, los químicos y el uso de buena semilla.

Las plagas principales son:

- Gusanos de tierra y cortadores del cuello
- Trips
- Agromyza y Liriomyza
- Barrenadores de brotes y perforadores de vainas.

Se recomiendan fórmulas de control químico.

6. Fertilización y almacenaje

La fertilización es muy rara. En Colombia en suelos orgánicos se dan 400-500 kg de abono, a 10-30-10 por hectárea, antes de rastrillar el suelo, o tres semanas después de la siembra. En este caso se coloca el abono en bandas de 10 centímetros de profundidad y a 10 centímetros de distancia de la planta.

Se ha observado en Colombia que la semilla del mismo semestre no germina bien, en tanto que la semilla guardada de dos a cinco años germina muy bien. Por otra parte, los hongos que van en la semilla mueren después de almacenarla por más de cinco años.

Referencias - Habas

Bocanegra, S. y Echandi, E. 1969 — Cultivos de las menestras en el Perú. Min. de Agricultura, Misión Agrícola de la Univ. de Carolina del Norte, Proyecto de Incremento de la producción de menestras

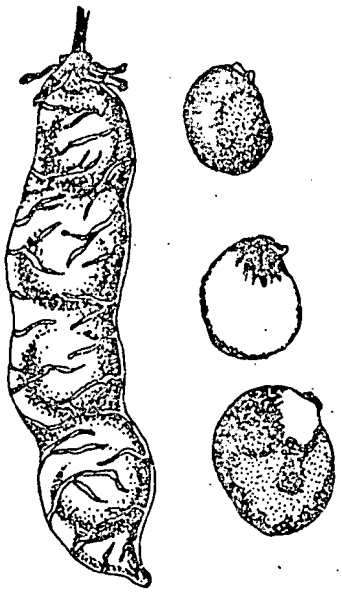
Burns, S. 1971 — El cultivo del haba en la sierra del Perú. Problemas y perspectivas. Est. Exp. Agrícola La Molina

Campos, G., Bocanegra, S. y Melgarejo, J. 1970 — ¿Quiere usted aumentar su cosecha de habas en la sierra? Min. de Agricultura, Programa Nacional de menestras, Hojas de divulgación 1

Higuita, F. y Rodriquez, E. 1971 — El cultivo de las habas. Inst. Colombiano Agropecuario, Programa hortalizas y frutales. Plegable de divulgación no.66

Ministerio de Agricultura 1969 — Curso sobre menestras de Sierra. Comunicación, reforma agraria y extensión agrícola. Programa Nacional de menestras. Ancash

Vasquez, R. 1968 — Rendimiento de ocho variedades de habas precoces en Huancayo. Tesis. Univers. Nac. del Centro.



XXIII. TARWI (Lupinus mutabilis)

1. Introducción

El tarwi, o chocho en Ecuador, Perú y Bolivia, tarhui o tauri en Perú y Bolivia y ullus en el sur de Perú, es un altramuz (Lupinus) domesticado en los Andes, partiendo de elementos nativos. Los Andes es una de las regiones del mundo en que se encuentra más diversidad en Lupinus silvestres.

El tarwi mide hasta 1.5 m de alto, es poco ramificado, con hojas palmeadas, compuestas por 5 a 7 foliolos. El pétalo más grande o estandarte, de color azul oscuro, tiene una mancha amarilla en la base; los otros pétalos son azules o blancos y las flores se tornan de color más claro conforme pasan los días. Las vainas, de 6-10 cm de largo por 2 cm de ancho, tienen de 4 a 6 semillas, elipsoidales o lenticulares, de cerca de 10 mm de largo por 8 mm de ancho, de colores muy variados, según la variedad. Hay tarwis de semillas completamente negras, otros con manchas blancas o amarillas irregulares, y variedades totalmente blancas o amarillas.

El tarwi es uno de los cultivos menores de la región andina sobre los 3000 m, que se cultiva en lotes pequeños, a menudo en filas bordeando los cultivos de quinua, maíz o tubérculos, a fin de proteger a éstos del ganado; pero también se siembra el tarwi sólo.

Después de la recolección se ensacan las semillas y se colocan en corrientes de agua hasta por ocho días, para remover el glucósido que contienen, que es amargo y venenoso. Se cocinan y se comen como mote, maní o "pop-corn". Como contiene, cocinado, más de 20% hasta 40% de proteína, es un cultivo que por su valor alimenticio merece más atención, especialmente en la selección de tipos dulces, con bajo contenido de glucósido (León, 1964).

2. Producción y rendimiento

En el cuadro 185 se da los datos estadísticos para Ecuador y Perú.

Los departamentos que producen más tarwi en Perú son Ancash, La Libertad, Cuzco y Puno. Los rendimientos unitarios son superiores al frijol de altura.

Países y Años	Superficie (ha)	Rendimiento (kg/ha)	Producción (ton)
Ecuador:			
1968	3310	999	3307
1969	2930	499	1461
1970	3660	854	3126

Fuente: Junta Nacional de Planificación

Perú			
1969	1320	1255	1656
1970	1565	925	1445
1971	1700	960	1600

Fuente: Estadística Agraria. Oficina de Estadística

Tabla 185 Datos estadísticos de países andinos para tarwi

3. Cultivación

El cultivo del tarwi hasta ahora es secundario. Se siembra como borde protegiendo papales, maizales y habales. Las microparcelas que se observan desde Venezuela hasta Bolivia toman mayores superficies en Ecuador, y especialmente en Bolivia, donde hay cultivos sólo de tarwi alrededor del lago Titicaca. También en Ecuador y el norte de Perú se planta en lotes uniformes de reducido tamaño, o intercalado con habas. La siembra se hace en surcos de 50 a 60 cm de distancia, dejando de 20 a 30 cm entre plantas. En ensayos sobre densidades de siembra, Moscoso (1972) recomienda 75 kg/ha de semilla con cuatro semillas por golpe.

En Ecuador, en San Gabriel, Carchi, a 2850 m, se siembra todo el año y el ciclo es de 360 días. Se asocia con maíz y en las rotaciones sigue a la papa repetida en el mismo terreno por tres años y luego sigue papa. En Ancochagua, Imbabura, a 2750 m, se siembra al mismo tiempo que el maíz pero se cosecha un mes después del maíz. En Perugachi, Otavalo, 2650 m, se puede observar en una hectárea asociación de chochos, maíz, habas y frijol. En Latacunga, 2700 m, se lo llama también "frejol de altura".

En Perú, en Cajamarca, Suyoscocha, 2800 m, el chocho se siembra en octubre y se cosecha en julio con un ciclo total de unos 300 días. En Cuzco las mejores alturas estarían a 3400 m como Tinta. Algunos agricultores informan que, en alturas menores, 2900 m como Taray, los granos "se vuelven chicos".

En el germoplasma de Cuzco, Perú, se encontró una variabilidad extraordinaria. Hay introducciones precoces con un ciclo de cinco meses desde septiembre a enero y que han sido seleccionados; otras tardías con más de diez meses procedentes del lago Titicaca, son sembradas en agosto y cosechadas alrededor de mayo. Rodriguez (1971) encontró que el tarwi común de Cuzco tiene un ciclo entre 6 y 8 meses. Además determinó la duración de las siguientes fases:

- germinación a primera inflorescencia 36-72 días
- germinación a primera flor 52-88 días
- antesis a madurez del racimo central 51-80 días
- antesis a madurez de los racimos secundarios 73-164 días

El rango de maduración de las vainas fue de 64 días y el ciclo total de la planta desde la siembra hasta la recolección de 177 a 241 días. En la formación de flores y vainas el fotoperíodo es indiferente.

En cuanto a la resistencia al frío, Blanco (1973) observó que durante el primer período de crecimiento el tarwi resiste a heladas, mientras que en fases siguientes temperaturas de 4° C bajo cero afectan la floración y las vainas verdes.

Algunos datos sobre la duración del ciclo en diferentes localidades y los promedios de precipitación y temperatura durante el ciclo se encuentran en el cuadro 186.

Lugar	Alt.m	Siembra	Cosecha	Días total	$\bar{P}$	$\bar{T}x$	$\bar{T}$	$\bar{T}n$
Ecuador:								
San Gabriel	2850	Todo el año		360	900	17.2	11.6	6.6
Imbabura	2750	" " "		"	800	18.7	12.8	7.3
Otavalo	2650	" " "		"	800	20.2	14.2	8.3
Latacunga	2700	" " "		"	450	19.3	13.2	7.5
Perú								
Cajamarca	2800	Oct.	Julio	300	600-660	21.5	15.3	5.8
Cuzco	2900	Set.	Enero	150	300-400	23.8	15.0	6.9
	3400	Oct.	Abril	210	550-650	19.5	13.7	6.3
Puno	3800	Agosto	Mayo	310	600	16.0	8.5	3.6
Bolivia								
El Belén	3900	Set.	Mayo	300	500	14.5	7.9	1.5

Tabla 186 Duración del ciclo y datos climatológicos.

4. Enfermedades y plagas

Un resumen de observaciones y lo informado en Cuzco se da en el siguiente cuadro:

	País
Roya (Uromyces lupini)	Ecuador (Carchi), Perú (Cuzco)
Septoriosis	Ecuador (Carchi)
Antracnosis	Ecuador (Otavalo)
Podredumbre radicular	Perú (Cuzco)
Virosis	Perú (Cuzco)

Según Ortiz y Rado (1972), el barrenador del tallo, Agromyza sp., ataca casi el 100% de plantas en Kcaira, Perú; el control químic dió buen resultado.

REFERENCIAS - TARWI

Ascarza, B. 1972 — Estudio preliminar de los factores que determinan la densidad en el cultivo del tarwi. Prog. Acad. de Agro. y Zootecnia. U. Nac. San Antonio de Abad del Cuzco (Tesis)

Blanco, O. 1973 — Información personal. Director de Investigaciones. Programa de Agronomía. Univers. Nacional del Cuzco

Cardenas, M. 1969 — Manual de Plantas económicas de Bolivia. Imprenta Icthus. Cochabamba

León, J. 1964 — Plantas Alimenticias andinas. Inst. Interamericano de Ciencias Agrícolas. Boletín Técnico No.6, pp.122

Moscosos, N. 1972 — Ensayo sobre densidad de siembra en tarwi. Programa Acad. de Agr. y Zootecnia. Univ. Nac. San Antonio de Abad del Cuzco (Tesis)

Ortiz, R. 1972 — Estudio preliminar del barrenador del tallo del tarwi. Programa Académico de Agronomía y Zootecnia. Univers. Nacional San Antonio de Abad del Cuzco. pp.67 (Tesis)

Rado, C. 1972 — Estudios preliminares en el control químico del díptero Agromyza sp. en tarwi. Prog. Acad. de Agr. y Zootecnia. Univers. Nac. San Antonio de Abad del Cuzco (Tesis)

Rodriguez, R. 1971 — Estudio Agrobotánico del tarwi (Lupinus mutabilis). Prog. Acad. de Agr. y Zootecnia. Univers. Nac. San Antonio de Abad del Cuzco. pp.124 (Tesis)

Romero, R. 1973 — Evaluación del comportamiento forrajero del tarwi. Prog. Acad. de Agr. y Zootecnia. Univ. Nac. San Antonio de Abad del Cuzco (Tesis)

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A. Conclusiones

1. Del análisis detallado de los factores climáticos hecho en la primera parte de esta publicación, surge que las montañas andinas de América del Sur pertenecen a un sistema ecológico que no tiene nada en común con el resto del continente. La región desde los 11°N hasta los 33°S debe considerarse, excepto una zona ecuatorial, como una isla semiárida, y en algunas partes árida, de extensas dimensiones, a lo largo de la parte occidental del continente.

2. Mientras la noción de "semiaridez" implica generalmente condiciones difíciles para el crecimiento de los cultivos y de la vegetación natural, debida en gran medida a un balance hídrico desfavorable, debemos destacar que en las montañas andinas este balance hídrico precario se complica muy a menudo con las condiciones de altitud que determinan bajas temperaturas durante una buena parte del año. A este respecto es bastante notable que mientras, en general, la temperatura máxima se mantiene similar a lo largo de todo el año, las oscilaciones estacionales en las temperaturas medias son provocadas principalmente por las fuertes fluctuaciones de las temperaturas mínimas. Esto, por supuesto, es muy comprensible, dado que las estaciones "frías" representadas por el invierno austral se caracterizan por la ausencia de precipitaciones pluviales y en consecuencia por una fuerte radiación infrarroja efectiva que provoca un fuerto enfriamiento radiativo en la superficie del suelo durante las noches.

3. En esta encuesta agroclimatológica debe verse también que en la región andina que se ha estudiado aparecen también fuertes diferencias debidas a la latitud.

En la zona que se ubica aproximadamente entre los 8° de latitud norte y los 2° de latitud sur, que puede caracterizarse como "ecuatorial", vemos que, conforme a las ilustraciones referentes a las temepraturas medias, éstas se mantienen relativamente constantes durante el año para determinada altitud. Esto se debe a la posición ecuatorial y también al hecho de que, como se ha mostrado en la encuesta, la Zona de Convergencia Intertropical tiene un desplazamiento latitudinal muy limitado sobre los Andes durante el año. La precipitación asociada es de modelo bimodal.

La radiación global media permanece aproximadamente constante a todas las altitudes, y sus fluctuaciones durante el año están dentro de ±20%.

En esas zonas, en consecuencia, vemos que el rango altitudinal de los cultivos está bastante bien delimitado y que se pueden establecer diversas posibilidades de modelos de cultivo debido al modelo bimodal de precipitación pluvial.

4. Fuera de esta restringida zona ecuatorial, que en realidad constituye una parte reducida de la región cubierta por la encuesta, llegamos a las zonas tropicales caracterizadas por un modelo de precipitación monomodal de duración relativamente corta y con propiedades definidas, y por temperaturas medias y mínimas que fluctúan grandemente durante el año.

Estas se convierten en un factor limitativo a través de las temperaturas mínimas que a altitudes más elevadas provocan heladas de intensidad y frecuencia variables, a las cuales algunos cultivos se adaptan bien y otros mucho menos. La radiación global media R_G aumenta con la altitud, pero compensa sólo parcialmente el fuerte aumento de la radiación infrarroja efectiva que causa estas bajas temperaturas mínimas. A este respecto, vale la pena hacer notar que, en general, para las zonas tropicales existen posibilidades de cultivo a altitudes superiores que en las zonas ecuatoriales, consideración que es válida, por supuesto, sólo para la parte estival del año.

5. La segunda parte de la encuesta ha mostrado que, aun cuando las condiciones naturales parecen, a priori, más bien adversas a la agricultura en las montañas andinas y particularmente en las zonas tropicales, es posible sin embargo producir una notable cantidad de cultivos en esta región. En particular tienen gran importancia para las montañas andinas algunos de los cultivos menores que serían completamente insignificantes en el mercado mundial.

6. Algunos acontecimientos recientes ocurridos en todo el mundo, tales como las sequías prolongadas que han provocado escasez de alimentos y de forrajes, desertificación, etc., han provocado un interés creciente en un mejor aplicación de la meteorología y de la climatología a la agricultura.

Dado que la agricultura constituye un porcentaje importante de la producción nacional en muchos de los países más afectados por las fluctuaciones climáticas, una mayor atención y mayores fondos dedicados a la agroclimatología podrían determinar fácilmente cierto aumento porcentual en la producción agrícola o en la prevención de pérdidas, debidas al clima. Una pequeña suma invertida en equipamiento y adiestramiento en agrometeorología podría contribuir, de este modo, a una elevación de varios puntos en el porciento del producto nacional, centuplicando así el valor de tal inversión. Nunca se insistirá demasiado en la importancia de esto.

B. Recomendaciones

1. Tal como se ha demostrado a lo largo de la encuesta y se resume en las precedentes conclusiones, los factores críticos de la producción agrícola en las montañas andinas son la disponibilidad de agua para los cultivos y las bajas temperaturas limitativas. Ambos factores necesitan un estudio intensivo.

2. Hemos tratado de presentar, usando un método racional y uniforme probado, los diversos aspectos del balance hídrico para las 69 estaciones seleccionadas a lo largo de la zona estudiada. También se presentan datos climatológicos de algunas otras estaciones en las "secciones trasversales"

reunidas en el suplemento adjunto. Hay que destacar, sin embargo, que la mayor parte de los datos presentados son resultado de cuidadosas estimaciones efectuadas con métodos probados en escala mundial, y que solamente muy limitadas mediciones experimentales dan sostén a los balances hídricos presentados en esta publicación. Teniendo en cuenta las condiciones agroclimatológicas muy particulares que prevelecen en las montañas, es indispensable que al menos las principales estaciones de investigación agrícola estén equipadas de modo de poder verificar experimentalmente las estimaciones obtenidad en esta publicación. En especial, hay que instalar tanques de evaporación de clase A junto con lisímetros sembrados con pasto, de modo de poder medir la evapotranspiración potencial ET para el pasto y compararla con las estimaciones obtenidas mediante la fórmula de Penman.

3. El balance de radiación, que es de máxima importancia para la fotosíntesis, para la provisión de calor latente para los fenómenos de evaporación y, finalmente, para los procesos de intercambio de radiación de onda larga responsables de las perjudiciales temperaturas mínimas, también debe ser estudiado en forma intensiva.

Se recomienda que por lo menos en una localidad de montaña para cada país se instale un laboratorio de radiación solar, que permita las mediciones de rutina de la radiación total y difusa, así como el calibrado preciso de los instrumentos. Además de este instrumental, estos laboratorios deben hacer mediciones regulares del balance de radiación neto y efectuar observaciones regulares de la duración de la luz solar, haciendo estudios completos de las relaciones entre la radiación total medida por las termopilas y la duración de la luz solar que permitan el establecimiento de factores para la estimación de la radiación según los registros de la duración de la luz solar. Los factores $0.29 + 0.42\ n/N$ utilizados en esta encuesta han sido seleccionados según cuidadosos estudios comparativos y porque nada mejor existía en la región.

Junto con esta instalación básica, las principales estaciones de investigación agrícola deberían tener estaciones agrometeorológicas bien equipadas que, además de todos los elementos que se miden en un estudio climatológico, deberían medir por lo menos la duración de la luz solar y, si es posible, la radiación solar total.

4. Como se ha mostrado en el capítulo de la primera parte que trata de la precipitación pluvial, surge como es habitual que la variabilidad en la precipitación mensual y anual aumenta con la disminución de la cantidad de precipitación pluvial sobre un período dado. Dada la importancia de este factor, hemos tratado de abordar en forma más detallada la estimación de esta variabilidad. También por esta razón es claro que los balances hídricos basados en la precipitación media tienen una significación limitada. En este estudio, sin embargo, se han usado debido a que con mucha frecuencia no se disponía de otras cifras. No obstante, para una estimación más "segura" y más informativa del balance hídrico en una localidad dada, se recomienda que el balance hídrico se establezca partiendo de una probabilidad de precipitación pluvial de 80% más bien que precisamente de la precipitación media.

5. Aunque esta encuesta no se ocupa de la agricultura de riego, se hizo evidente durante la fase preparatoria que en varias zonas y para diferentes cultivos se usaba alguna forma de irrigación adicional. A menudo esto no se menciona en el texto, ya que no era posible analizar su real extensión.

Está comprobado que tales prácticas pueden tener una gran influencia en el desarrollo regular de un cultivo bajo el régimen pluvial muy variable de las montañas andinas, aunque las cantidades de agua de que se trata son a menudo relativamente pequeñas.

Por lo tanto, realmente vale la pena estudiar en detalle estas prácticas, en estrecha relación con otros estudios sistemáticos sobre la variabilidad de las lluvias.

6. Las pruebas comparativas de cultivos efectuadas en todas las estaciones agrícolas experimentales deben ser planeadas y ejecutadas de modo tal que permitan tomar en cuenta de la mejor manera la influencia del clima en el comportamiento del cultivo. En particular, la división de los ciclos de crecimiento en períodos fenológicos principales y la caracterización detallada de estos períodos fenológicos en términos de parámetros climáticos, tendría gran interés. Tales estudios permitirían un mejor conocimiento de las relaciones entre el comportamiento del cultivo y los factores climáticos que influyeron sobre el cultivo durante las fases críticas de su ciclo vegetativo. Los resultados de estos estudios pueden dar una buena guía para estudios posteriores referentes a la adaptación de los cultivo en general.

7. Como se ha visto en la segunda parte de la encuesta, en los Andes se cultivan muchos cultivos. Aunque los procesos de crecimiento y de producción de algunas de ellas son conocidos por su comportamiento en otros continentes, surge también que algunos cultivos autóctonos menores que muestran una notable adaptación al duro clima andino, representan un potencial para regiones donde otros cultivos fracasan. Dado que algunas pruebas comparativas han mostrado que en general este potencial productivo apenas ha sido explotado hasta ahora, es aconsejable que en el futuro se preste cierta atención a la adaptación ecológica de estos cultivos y variedades y que, en particular, todas las pruebas hechas en estaciones experimentales se controlen cuidadosamente en el aspecto agroclimatológico.

8. No se ha escrito mucho sobre las relaciones directas entre los factores climáticos y los rendimientos de los cultivos. Esto se debe principalmente a que es sumamente difícil obtener datos estadísticos homogénos referentes a los rendimientos de los cultivos y a las condiciones climáticas que prevalecen en una misma región montañosa como la que se estudia, y en un mismo período. Este es, sin duda, un campo de investigación agrícola en el cual es aconsejable emprender en el futuro trabajos más sistemáticos.

9. Se notará que en muchos casos se ha usado el término de cultivo asociado o mixto. Aun cuando estos métodos de cultivo no parecen concordar mucho con los modernos sistemas de cultivo, es seguro que presentan ventajas en algunos casos y aseguran, la mayor parte de las veces, una cosecha compuesta que reduce los riesgos de fracaso total del cultivo y contribuye a una dieta variada.

Generalmente, también en las montañas andinas semiáridas la asociación de cultivos significa que el suelo está cubierto mejor y durante una parte más larga del año que con cultivos simples.

10. Después de haber completado la encuesta, se llega a la conclusión de que muchas estimaciones y suposiciones, aunque han sido establecidas de la manera más racional y crítica posible, quedan sujetas a interrogantes y tal vez a críticas.

Tal como se dijo en la introducción a esta encuesta, su objetivo no ha sido el de presentar un informe detallado región por región y cultivo por cultivo de las posibilidades agroclimatológicas de las montañas andinas, sino más bien presentar algunos métodos de investigación basados en la experiencia adquirida en otros ambientes. Estos métodos, adaptados a las condiciones climáticas particulares de los Andes, permitirían el estudio del potencial agroclimatológico de esta zona y la explotación de dicho potencial por los principales cultivos de la región.

Nuestra esperanza es que este estudio lleve a esfuerzos, a realizarse en los diversos países interesados y en algunos otros países que pueden ser afectados por el mismo tipo de problemas ambientales, dirigidos a seguir el enfoque sugerido y, sobre todo, a obtener mediante experimentos sistemáticos la confirmación de algunos de los puntos expuestos en esta encuesta.

ANEXOS

Lat N	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
50°	3.81	6.10	9.41	12.71	15.76	17.12	16.44	14.07	10.85	7.37	4.49	3.22
48°	4.33	6.60	9.81	13.02	15.88	17.15	16.50	14.29	11.19	7.81	4.99	3.72
46°	4.85	7.10	10.21	13.32	16.00	17.19	16.55	14.51	11.53	8.25	5.49	4.27
44°	5.30	7.60	10.61	13.65	16.12	17.23	16.60	14.73	11.87	8.69	6.00	4.70
42°	5.86	8.05	11.00	13.99	16.24	17.26	16.65	14.95	12.20	9.13	6.51	5.19
40°	6.44	8.56	11.40	14.32	16.36	17.29	16.70	15.17	12.54	9.58	7.03	5.68
38°	6.91	8.98	11.75	14.50	16.39	17.22	16.72	15.27	12.81	9.98	7.52	6.10
36°	7.38	9.39	12.10	14.67	16.43	17.16	16.73	15.37	13.08	10.59	8.00	6.62
34°	7.85	9.82	12.44	14.84	16.46	17.09	16.75	15.48	13.35	10.79	8.50	7.18
32°	8.32	10.24	12.77	15.00	16.50	17.02	16.76	15.58	13.63	11.20	8.99	7.76
30°	8.81	10.68	13.14	15.17	16.53	16.95	16.78	15.68	13.90	11.61	9.49	8.31
28°	9.29	11.09	13.39	15.26	16.48	16.83	16.68	15.71	14.08	11.95	9.90	8.79
26°	9.79	11.50	13.65	15.34	16.43	16.71	16.58	15.74	14.26	12.30	10.31	9.27
24°	10.20	11.89	13.90	15.43	16.37	16.59	16.47	15.78	14.45	12.64	10.71	9.73
22°	10.70	11.30	14.16	15.51	16.32	16.47	16.37	15.81	14.64	12.98	11.11	10.20
20°	11.19	12.71	14.41	15.60	16.27	16.36	16.27	15.85	14.83	13.31	11.61	10.68
18°	11.60	13.02	14.60	15.62	16.11	16.14	16.09	15.79	14.94	13.58	12.02	11.12
16°	12.00	13.32	14.69	15.64	15.99	15.92	15.91	15.72	15.04	13.85	12.43	11.57
14°	12.41	13.62	14.89	15.65	15.83	15.70	15.72	15.65	15.14	14.12	12.84	12.02
12°	12.82	13.93	15.08	15.66	15.67	15.48	15.53	15.58	15.24	14.38	13.25	12.47
10°	13.22	14.24	15.26	15.68	15.51	15.26	15.34	15.51	15.34	14.66	13.56	12.88
8°	13.58	14.50	15.34	15.60	15.29	14.99	15.09	15.39	15.34	14.81	13.86	13.27
6°	13.94	14.76	15.42	15.51	15.07	14.71	14.85	15.23	15.34	14.96	14.17	13.66
4°	14.30	15.01	15.50	15.43	14.85	14.44	14.59	15.07	15.34	15.11	14.48	14.05
2°	14.65	15.26	15.59	15.34	14.63	14.17	14.33	14.91	15.34	15.27	14.79	14.44
0°	15.00	15.51	15.68	15.26	14.41	13.90	14.07	14.75	15.34	15.42	15.09	14.83

Tabla I R_A - *hemisferio del norte*

Lat S		F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
50°	17.54	14.66	10.85	7.03	4.24	3.05	3.47	5.51	8.90	12.88	16.53	18.22
48°	17.61	14.86	11.19	7.47	4.73	3.51	3.95	5.99	9.32	13.15	16.60	18.24
46°	17.68	15.06	11.53	7.91	5.22	3.97	4.43	6.47	9.74	13.43	16.67	18.26
44°	17.75	15.27	11.87	8.35	5.71	4.43	4.90	6.94	10.16	13.70	16.73	18.28
42°	17.82	15.47	12.21	8.80	6.12	4.89	5.38	7.42	10.59	13.97	16.80	18.29
40°	17.88	15.68	12.54	9.24	6.61	5.34	5.85	7.88	11.02	14.24	16.87	18.31
38°	17.86	15.82	12.84	9.64	7.07	5.83	6.31	8.32	11.36	14.44	16.95	18.25
36°	17.85	15.96	13.15	10.05	7.53	6.32	6.77	8.76	11.70	14.64	17.04	18.20
34°	17.84	16.10	13.45	10.46	7.99	6.81	7.23	9.20	12.04	14.85	17.12	18.15
32°	17.82	16.23	13.76	10.87	8.45	7.30	7.68	9.64	12.37	15.05	17.21	18.10
30°	17.80	16.36	14.07	11.27	8.90	7.80	8.14	10.09	12.71	15.26	17.29	18.05
28°	17.70	16.39	14.25	11.61	9.32	8.24	8.60	10.47	12.95	15.36	17.22	17.92
26°	17.60	16.43	14.44	11.95	9.74	8.68	9.06	10.85	13.19	15.46	17.15	17.79
24°	17.50	16.46	14.62	12.29	10.16	9,12	9.52	11.22	13.43	15.56	17.08	17.65
22°	17.40	16.50	14.80	12.63	10.59	9.56	9.97	11.59	13.66	15.66	17.01	17.51
20°	17.29	16.53	15.00	12.97	11.02	10.00	10.42	11.95	13.90	15.76	16.95	17.37
18°	17.11	16.47	15.10	13.22	11.37	10.40	10.81	12.26	14.09	15.78	16.80	17.10
16°	16.93	16.42	15.20	13.48	11.73	10.80	11.20	12.56	14.28	15.79	16.65	16.83
14°	16.74	16.37	15.31	13.73	12.09	11.21	11.59	12.87	14.47	15.81	16.50	16.61
12°	16.55	16.32	15.41	13.98	12.45	11.62	11.98	13.17	14.65	15.83	16.35	16.49
10°	16.36	16.27	15.51	14.24	12.80	12.03	12.37	13.48	14.83	15.85	16.19	16.27
8°	16.08	16.11	15.54	14.44	13.12	12.40	12.71	13.73	14.93	15.76	15.97	15.99
6°	15.81	15.96	15.58	14.65	13.44	12.77	13.05	13.99	15.03	15.67	15.75	15.70
4°	15.54	15.81	15.62	14.85	13.76	13.15	13.39	14.25	15.13	15.59	15.53	15.41
2°	15.27	15.66	15.65	15.05	14.08	13.51	13.73	14.50	15.24	15.50	15.31	15.12
0°	15.00	15.51	15.68	15.26	14.41	13.90	14.07	14.75	15.34	15.42	15.09	14.83

Tabla I bis R_A - *hemisferio del sur*

Lats. N	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Lats. S	J	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J
50°	8.5	10.1	11.8	13.8	15.4	16.3	15.9	14.5	12.7	10.8	9.1	8.1
48°	8.8	10.2	11.8	13.6	15.2	16.0	15.6	14.3	12.6	10.9	9.3	8.3
46°	9.1	10.4	11.9	13.5	14.9	15.7	15.4	14.2	12.6	10.9	9.5	8.7
44°	9.3	10.5	11.9	13.4	14.7	15.4	15.2	14.0	12.6	11.0	9.7	8.9
42°	9.4	10.6	11.9	13.4	14.6	15.2	14.9	13.9	12.9	11.1	9.8	9.1
40°	9.6	10.7	11.9	13.3	14.4	15.0	14.7	13.7	12.5	11.2	10.0	9.3
35°	10.1	11.0	11.9	13.1	14.0	14.5	14.3	13.5	12.4	11.3	10.3	9.8
30°	10.4	11.1	12.0	12.9	13.6	14.0	13.9	13.2	12.4	11.5	10.6	10.2
25°	10.7	11.3	12.0	12.7	13.3	13.7	13.5	13.0	12.3	11.6	10.9	10.6
20°	11.0	11.5	12.0	12.6	13.1	13.3	13.2	12.8	12.3	11.7	11.2	10.9
15°	11.3	11.6	12.0	12.5	12.8	13.0	12.9	12.6	12.2	11.8	11.4	11.2
10°	11.6	11.8	12.0	12.3	12.6	12.7	12.6	12.4	12.1	11.8	11.6	11.5
5°	11.8	11.9	12.0	12.2	12.3	12.4	12.3	12.3	12.1	12.0	11.9	11.8
0°	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1

Tabla II *N - latitudes norte y sur.*

n/N	0.29+ 0.42n/N	x0.75	x0.95	0.9n/N +0.1	n/N	0.29+ 0.42n/N	x0.75	x0.95	0.9n/N +0.1
0.01	0.29	0.22	0.28	0.11	0.51	0.50	0.38	0.48	0.56
0.02	0.30	0.22	0.28	0.12	0.52	0.51	0.38	0.48	0.57
0.03	0.30	0.23	0.29	0.13	0.53	0.51	0.38	0.49	0.58
0.04	0.31	0.23	0.29	0.14	0.54	0.52	0.39	0.49	0.59
0.05	0.31	0.23	0.30	0.15	0.55	0.52	0.39	0.50	0.60
0.06	0,32	0.24	0.30	0.15	0.56	0.53	0.39	0.50	0.60
0.07	0.32	0.24	0.30	0.16	0.57	0.53	0.40	0.50	0.61
0.08	0.32	0.24	0.31	0.17	0.58	0.53	0.40	0.51	0.62
0.09	0.33	0.25	0.31	0.18	0.59	0.54	0.40	0.51	0.63
0.10	0.33	0.25	0.32	0.19	0.60	0.54	0.41	0.51	0.64
0.11	0.34	0.25	0.32	0.20	0.61	0.55	0.41	0.52	0.65
0.12	0.34	0.26	0.32	0.21	0.62	0.55	0.41	0.52	0.66
0.13	0.34	0.26	0.33	0.22	0.63	0.55	0.42	0.53	0.67
0.14	0.35	0.26	0.33	0.23	0.64	0.56	0.42	0.53	0.68
0.15	0.35	0.26	0.34	0.24	0.65	0.56	0.42	0.53	0.69
0.16	0.36	0.27	0.34	0.24	0.66	0.57	0.43	0.54	0.69
0.17	0.36	0.27	0.34	0.25	0.67	0.57	0.43	0.54	0.70
0.18	0.37	0.27	0.35	0.26	0.68	0.58	0.43	0.55	0.71
0.19	0.37	0.28	0.35	0.27	0.69	0.58	0.43	0.55	0.72
0.20	0.37	0.28	0.36	0.28	0.70	0.58	0.44	0.55	0.73
0.21	0.38	0.28	0.36	0.29	0.71	0.59	0.44	0.56	0.74
0.22	0.38	0.29	0.36	0.30	0.72	0.59	0.44	0.56	0.75
0.23	0.39	0.29	0.37	0.31	0.73	0.60	0.45	0.57	0.76
0.24	0.39	0.29	0.37	0.32	0.74	0.60	0.45	0.57	0.77
0.25	0.40	0.30	0.38	0.33	0.75	0.61	0.45	0.57	0.78
0.26	0.40	0.30	0.38	0.33	0.76	0.61	0.46	0.58	0.78
0.27	0.40	0.30	0.38	0.34	0.77	0.61	0.46	0.58	0.79
0.28	0.41	0.31	0.39	0.35	0.78	0.62	0.46	0.59	0.80
0.29	0.41	0.31	0.39	0.36	0.79	0.62	0.47	0.59	0.81
0.30	0.42	0.31	0.40	0.37	0.80	0.63	0.47	0.59	0.82
0.31	0.42	0.32	0.40	0.38	0.81	0.63	0.47	0.60	0.83
0.32	0.42	0.32	0.40	0.39	0.82	0.63	0.48	0.60	0.84
0.33	0.43	0.32	0.41	0.40	0.83	0.64	0.48	0.61	0.85
0.34	0.43	0.32	0.41	0.41	0.84	0.64	0.48	0.61	0.86
0.35	0.44	0.33	0.42	0.42	0.85	0.65	0.49	0.61	0.87
0.36	0.44	0.33	0.42	0.42	0.86	0.65	0.49	0.62	0.87
0.37	0.45	0.33	0.42	0.43	0.87	0.66	0.49	0.62	0.88
0.38	0.45	0.34	0.43	0.44	0.88	0.66	0.50	0.63	0.89
0.39	0.45	0.34	0.43	0.45	0.89	0.66	0.50	0.63	0.90
0.40	0.46	0.34	0.44	0.46	0.90	0.67	0.50	0.63	0.91
0.41	0.46	0.35	0.44	0.47	0.91	0.67	0.50	0.64	0.92
0.42	0.47	0.35	0.44	0.48	0.92	0.68	0.51	0.64	0.93
0.43	0.47	0.35	0.45	0.49	0.93	0.68	0.51	0.65	0.94
0.44	0.47	0.36	0.45	0.50	0.94	0.68	0.51	0.65	0.95
0.45	0.48	0.36	0.46	0.51	0.95	0.69	0.52	0.65	0.96
0.46	0.48	0.36	0.46	0.51	0.96	0.69	0.52	0.66	0.96
0.47	0.49	0.37	0.46	0.52	0.97	0.70	0.52	0.66	0.97
0.48	0.49	0.37	0.47	0.53	0.98	0.70	0.53	0.67	0.98
0.49	0.50	0.37	0.47	0.54	0.99	0.71	0.53	0.67	0.99
0.50	0.50	0.38	0.48	0.55					

Tabla III *n/N*

°C	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0	11.02	11.04	11.06	11.08	11.09	11.10	11.12	11.14	11.15	11.17
1	11.18	11.20	11.22	11.24	11.25	11.26	11.28	11.30	11.31	11.33
2	11.35	11.37	11.39	11.41	11.42	11.43	11.45	11.47	11.48	11.50
3	11.51	11.53	11.55	11.57	11.58	11.59	11.61	11.63	11.64	11.66
4	11.68	11.70	11.72	11.74	11.75	11.76	11.78	11.80	11.81	11.83
5	11.85	11.87	11.89	11.90	11.92	11.94	11.96	11.97	11.98	12.00
6	12.02	12.04	12.06	12.08	12.09	12.10	12.12	12.14	12.16	12.18
7	12.20	12.22	12.24	12.26	12.27	12.29	12.31	12.32	12.34	12.36
8	12.37	12.39	12.41	12.43	12.44	12.46	12.48	12.50	12.51	12.53
9	12.55	12.57	12.59	12.60	12.62	12.64	12.66	12.67	12.69	12.71
10	12.73	12.75	12.77	12.79	12.80	12.81	12.83	12.85	12.87	12.89
11	12.91	12.93	12.95	12.97	12.99	13.01	13.02	13.04	13.06	13.08
12	13.09	13.11	13.13	13.14	13.16	13.18	13.20	13.23	13.25	13.27
13	13.28	13.30	13.32	13.34	13.35	13.37	13.39	13.41	13.43	13.45
14	13.46	13.48	13.50	13.52	13.54	13.55	13.57	13.59	13.61	13.63
15	13.65	13.67	13.69	13.71	13.73	13.74	13.76	13.78	13.80	13.82
16	13.84	13.86	13.88	13.90	13.92	13.94	13.95	13.97	13.99	14.01
17	14.03	14.05	14.07	14.09	14.11	14.13	14.15	14.17	14.19	14.21
18	14.23	14.25	14.27	14.29	14.31	14.33	14.35	14.37	14.39	14.41
19	14.43	14.45	14.47	14.49	14.51	14.53	14.54	14.56	14.58	14.60
20	14.62	14.64	14.66	14.68	14.70	14.73	14.75	14.77	14.79	14.81
21	14.83	14.85	14.87	14.89	14.91	14.93	14.95	14.97	14.99	15.01
22	15.03	15.05	15.07	15.09	15.11	15.13	15.15	15.17	15.19	15.21
23	15.23	15.25	15.27	15.29	15.31	15.34	15.36	15.38	15.40	15.42
24	15.44	15.46	15.48	15.50	15.52	15.55	15.57	15.59	15.61	15.63
25	15.65	15.67	15.69	15.71	15.73	15.76	15.78	15.80	15.82	15.84
26	15.86	15.88	15.90	15.92	15.94	15.97	15.99	16.01	16.03	16.05
27	16.07	16.09	16.11	16.14	16.16	16.18	16.20	16.22	16.25	16.27
28	16.29	16.31	16.33	16.35	16.37	16.40	16.42	16.44	16.46	16.48
29	16.50	16.52	16.54	16.57	16.59	16.61	16.63	16.65	16.68	16.70
30	16.72	16.74	16.77	16.79	16.81	16.84	16.86	16.88	16.90	16.93
31	16.95	16.97	16.99	17.02	17.04	17.06	17.08	17.10	17.13	17.15
32	17.17	17.19	17.22	17.24	17.26	17.29	17.31	17.33	17.35	17.38
33	17.40	17.42	17.45	17.47	17.49	17.52	17.54	17.56	17.58	17.61
34	17.65	17.68	17.70	17.72	17.75	17.77	17.79	17.81	17.84	17.86
35	17.88	17.90	17.93	17.95	17.97	18.00	18.02	18.04	18.07	18.09

Tabla IV σT^4

e_d	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0	0.56	0.54	0.52	0.52	0.51	0.50	0.50	0.49	0.49	0.49
1	0.48	0.48	0.47	0.47	0.47	0.46	0.46	0.46	0.45	0.45
2	0.45	0.45	0.44	0.44	0.44	0.44	0.43	0.43	0.43	0.43
3	0.42	0.42	0.42	0.42	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.40
4	0.40	0.40	0.40	0.40	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39
5	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37
6	0.37	0.36	0.36	0.36	0.36	0.36	0.36	0.36	0.35	0.35
7	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34
8	0.34	0.34	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.32
9	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.31	0.31	0.31
10	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
11	0.30	0.30	0.30	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29
12	0.29	0.29	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28
13	0.28	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27
14	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26
15	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.24
16	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24
17	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23
18	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22
19	0.22	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21
20	0.21	0.21	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
21	0.20	0.20	0.20	0.20	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19
22	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.18	0.18	0.18	0.18
23	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.17	0.17
24	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17
25	0.17	0,16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
26	0.16	0.16	0.16	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
27	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.14	0.14	0.14	0.14
28	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14
29	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0. 3	0.13
30	0.13	0.13	0.13	0.13	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
31	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.11	0.11
32	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11
33	0.11	0.11	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
34	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.09	0.09	0.09
35	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
36	0.09	0.09	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
37	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.07	0.07	0.07
38	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
39	0.07	0.07	0.07	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
40	0.06									

Tabla V $0.56 + 0.079 \sqrt{e_d}$

T.	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0	6.11	6.15	6.20	6.24	6.29	6.33	6.38	6.43	6.47	6.52
1	6.57	6.61	6.66	6.71	6.76	6.81	6.86	6.90	6.95	7.00
2	7.05	7.11	7.16	7.21	7.26	7.31	7.36	7.42	7.47	7.52
3	7.58	7.63	7.68	7.74	7.79	7.85	7.90	7.96	8.02	8.07
4	8.13	8.19	8.24	8.30	8.36	8.42	8.48	8.54	8.60	8.66
5	8.72	8.78	8.84	8.90	8.97	9.03	9.09	9.15	9.22	9.28
6	9.35	9.41	9.48	9.54	9.61	9.67	9.74	9.81	9.88	9.94
7	10.01	10.08	10.15	10.22	10.29	10.36	10.43	10.51	10.58	10.65
8	10.72	10.80	10.87	10.94	11.02	11.09	11.17	11.24	11.32	11.40
9	11.47	11.55	11.63	11.71	11.79	11.87	11.95	12.03	12.11	12.19
10	12.27	12.36	12.44	12.52	12.61	12.69	12.78	12.86	12.95	13.03
11	13.12	13.21	13.30	13.38	13.47	13.56	13.65	13.74	13.83	13.93
12	14.02	14.11	14.20	14.30	14.39	14.49	14.58	14.68	14.77	14.87
13	14.97	15.07	15.17	15.27	15.37	15.47	15.57	15.67	15.77	15.87
14	15.98	16.08	16.19	16.29	16.40	16.50	16.61	16.72	16.83	16.94
15	17.04	17.15	17.26	17.38	17.49	17.60	17.71	17.83	17.94	18.06
16	18.17	18.29	18.41	18.53	18.64	18.76	18.88	19.00	19.12	19.25
17	19.37	19.49	19.61	19.74	19.86	19.99	20.12	20.24	20.37	20.50
18	20.63	20.76	20.89	21.02	21.16	21.29	21.42	21.56	21.69	21.83
19	21.96	22.10	22.24	22.38	22.52	22.66	22.80	22.94	23.09	23.23
20	23.37	23.52	23.66	23.81	23.96	24.11	24.26	24.41	24.56	24.71
21	24.86	25.01	25.17	25.32	25.48	25.64	25.79	25.95	26.11	26.27
22	26.43	26.59	26.75	26.92	27.08	27.25	27.41	27.58	27.75	27.92
23	28.09	28.26	28.43	28.60	28.77	28.95	29.12	29.30	29.48	29.65
24	29.83	30.01	30.19	30.37	30.56	30.74	30.92	31.11	31.30	31.48
25	31.67	31.86	32.05	32.24	32.43	32.63	32.82	33.02	33.21	33.41
26	33.61	33.81	34.01	34.21	34.41	34.62	34.82	35.03	35.23	35.44
27	35.65	35.86	36.07	36.28	36.50	36.71	36.92	37.14	37.36	37.58
28	37.80	38.02	38.24	38.46	38.69	38.91	39.14	39.37	39.59	39.82
29	40.06	40.29	40.52	40.76	40.99	41.23	41.47	41.71	41.95	42.19
30	42.43	42.67	42.92	43.17	43.41	43.66	43.91	44.17	44.42	44.67
31	44.93	45.18	45.44	45.70	45.96	46.22	46.49	46.75	47.02	47.28
32	47.55	47.82	48.09	48.36	48.64	48.91	49.19	49.47	49.75	50.03
33	50.31	50.59	50.87	51.16	51.45	51.74	52.03	52.32	52.61	52.90
34	53.20	53.50	53.80	54.10	54.40	54.70	55.00	55.31	55.62	55.93
35	56.24	56.55	56.86	57.18	57.49	57.81	58.13	58.45	58.77	59.10
36	59.42	59.75	60.08	60.41	60.74	61.07	61.41	61.74	62.08	62.42
37	62.76	63.11	63.45	63.80	64.14	64.49	64.84	65.20	65.55	65.91
38	66.26	66.62	66.99	67.35	67.71	68.08	68.45	68.82	69.19	69.56
39	69.93	70.31	70.69	71.07	71.45	71.83	72.22	72.61	72.99	73.39

Tabla VI e_a

U	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0	0.26	0.27	0.29	0.30	0,32	0.33	0.34	0.36	0.37	0.39
1	0.40	0.41	0.43	0.44	0.46	0.47	0.49	0.50	0.51	0.53
2	0.54	0.56	0.57	0.58	0.60	0.61	0.63	0.64	0.65	0.67
3	0.68	0.70	0.71	0.72	0.74	0.75	0.77	0.78	0.79	0.81
4	0.82	0.84	0.85	0.86	0.88	0.89	0.91	0.92	0.93	0.95
5	0.96	0.98	0.99	1.00	1.02	1.03	1.05	1.06	1.07	1.09
6	1.10	1.12	1.13	1.14	1.16	1.17	1.19	1.20	1.22	1.23
7	1.24	0.26	1.27	1.29	1.30	1.31	1.33	1.34	1.36	1.37
8	1.38	1.40	1.41	1.43	1.44	1.45	1.47	1.48	1.50	1.51
9	1.52	1.54	1.55	1.57	1.58	1.59	1.61	1.62	1.64	1.65
10	1.66	1.68	1.69	1.71	1.72	1.73	1.75	1.76	1.78	1.79
11	1.80									

Tabla VII *U m/s*

U	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0	0.26	0.27	0.28	0.28	0.29	0.30	0.30	0.31	0.32	0.33
1	0.33	0.34	0.35	0.35	0.26	0.37	0.38	0.38	0.39	0.40
2	0.41	0.41	0.42	0.43	0.43	0.44	0.45	0.46	0.46	0.47
3	0.48	0.49	0.49	0.50	0.51	0.51	0.52	0.53	0.54	0.54
4	0.55	0.56	0.57	0.57	0.58	0.59	0.59	0.60	0.61	0.62
5	0.62	0.63	0.64	0.65	0.65	0.66	0.67	0.68	0.68	0.69
6	0.70	0.70	0.71	0.72	0.73	0.73	0.74	0.75	0.76	0.76
7	0.77	0.78	0.78	0.79	0.80	0.81	0.81	0.82	0.83	0.84
8	0.84	0.85	0.86	0.86	0.87	0.88	0.89	0.89	0.90	0.91
9	0.92	0.92	0.93	0.94	0.94	0.95	0.96	0.97	0.97	0.98
10	0.99	1.00	1.00	1.01	1.02	1.02	1.03	1.04	1.05	1.05
11	1.06	1.07	1.08	1.08	1.09	1.10	1.11	1.11	1.12	1.13
12	1.13	0.14	1.15	1.16	1.16	1.17	1.18	1.19	1.19	1.20
13	1.21	1.21	1.22	1.23	1.24	1.24	1.25	1.26	1.27	1.27
14	1.28	1.29	1.29	1.30	1.31	1.32	1.32	1.33	1.34	1.34
15	1.35	1.36	1.37	1.37	1.38	1.39	1.40	1.40	1.41	1.42
16	1.43	1.43	1.44	1.45	1.45	1.46	1.47	1.48	1.48	1.49
17	1.50	1.51	1.51	1.52	1.53	1.53	1.54	1.55	1.56	1.56
18	1.57	1.58	1.58	1.59	1.60	1.61	1.61	1.62	1.63	1.64
19	1.64	1.65	1.66	1.66	1.67	1.68	1.69	1.69	1.70	1.71
20	1.72	1.72	1.73	1.74	1.75	1.75	1.76	1.77	1.77	1.78
21	1.79	1.80	1.80	1.81	1.82	1.82	1.83	1.84	1.85	1.85
22	1.86	1.87	1.88	1.88	1.89	1.90	1.91	1.91	1.92	1.93
23	1.93	1.94	1.95	1.96	1.96	1.97	1.98	1.98	1.99	2.00
24	2.01	2.01	2.02	2.03	2.04	2.04	2.05	2.06	2.07	2.07
25	2.08									

Tabla VIII U nudos

U	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0	0.26	0.26	0.27	0.27	0.28	0.28	0.28	0.29	0.29	0.30
1	0.30	0.30	0.31	0.31	0.32	0.32	0.32	0.33	0.33	0.33
2	0.34	0.34	0.35	0.35	0.35	0.36	0.36	0.37	0.37	0.37
3	0.38	0.38	0.39	0.39	0.39	0.40	0.40	0.40	0.41	0.41
4	0.42	0.42	0.42	0.43	0.43	0.44	0.44	0.44	0.45	0.45
5	0.46	0.46	0.46	0.47	0.47	0.48	0.48	0.48	0.49	0.49
6	0.49	0.50	0.50	0.51	0.51	0.51	0.52	0.52	0.53	0.53
7	0.53	0.54	0.54	0.55	0.55	0.55	0.56	0.56	0.56	0.57
8	0.57	0.58	0.58	0.58	0.59	0.59	0.60	0.60	0.60	0.61
9	0.61	0.62	0.62	0.62	0.63	0.63	0.63	0.64	0.64	0.65
10	0.65	0.65	0.66	0.66	0.67	0.67	0.67	0.68	0.68	0.69
11	0.69	0.69	0.70	0.70	0.71	0.71	0.71	0.72	0.72	0.72
12	0.73	0.73	0.74	0.74	0.74	0.75	0.75	0.76	0.76	0.76
13	0.77	0.77	0.78	0.78	0.78	0.79	0.79	0.79	0.80	0.80
14	0.81	0.81	0.81	0.82	0.82	0.83	0.83	0.83	0.84	0.84
15	0.85	0.85	0.85	0.86	0.86	0.87	0.87	0.87	0.88	0.88
16	0.88	0.89	0.89	0.90	0.90	0.90	0.91	0.91	0.92	0.92
17	0.92	0.93	0.93	0.94	0.94	0.94	0.95	0.95	0.95	0.96
18	0.96	0.97	0.97	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99	1.00
19	1.00	1.01	1.01	1.01	1.02	1.02	1.02	1.03	1.03	1.04
20	1.04	1.04	1.05	1.05	1.06	1.06	1.06	1.07	1.07	1.08
21	1.08	1.08	1.09	1.09	1.10	1.10	1.10	1.11	1.11	1.11
22	1.12	1.12	1.13	1.13	1.13	1.14	1.14	1.15	1.15	1.15
23	1.16	1.16	1.17	1.17	1.17	1.18	1.18	1.18	1.19	1.19
24	1.20	1.20	1.20	1.21	1.21	1.22	1.22	1.22	1.23	1.23
25	1.24	1.24	1.24	1.25	1.25	1.26	1.26	1.26	1.27	1.27
26	1.27	1.28	1.28	1.29	1.29	1.29	1.30	1.30	1.31	1.31
27	1.31	1.32	1.32	1.33	1.33	1.33	1.34	1.34	1.34	1.35
28	1.35	1.36	1.36	1.36	1.37	1.37	1.38	1.38	1.38	1.39
29	1.39	1.40	1.40	1.40	1.41	1.41	1.41	1.42	1.42	1.43
30	1.43	1.43	1.44	1.44	1.45	1.45	1.45	1.46	1.46	1.47
31	1.47	1.47	1.48	1.48	1.49	1.49	1.49	1.50	1.50	1.50
32	1.51	1.51	1.52	1.52	1.52	1.53	1.53	1.54	1.54	1.54
33	1.55	1.55	1.56	1.56	1.56	1.57	1.57	1.58	1.58	1.58
34	1.59									

Tabla IX *U km/h*

U	m/sec	knots	km/h
0	0.13	0.13	0.13
1	0.27	0.20	0.17
2	0.41	0.28	0.21
3	0.55	0.35	0.25
4	0.69	0.42	0.29
5	0.83	0.49	0.33
6	0.97	0.57	0.36
7	1.11	0.64	0.40
8	1.25	0.71	0.44
9	1.39	0.79	0.48
10	1.53	0.86	0.52
11	1.67	0.93	0.56
12	1.82	1.00	0.60
13	1.96	1.08	0.64
14	2.10	1.15	0.68
15	2.24	1.22	0.72
16	2.38	1.30	0.75
17	2.52	1.37	0.79
18	2.66	1.44	0.83
19	2.80	1.51	0.87
20	2.94	1.59	0.91
21	3.08	1.66	0.95
22	3.22	1.73	0.99
23	3.36	1.80	1.03
24	3.50	1.88	1.07
25	3.64	1.95	1.11
26	3.78	2.02	1.14
27	3.92	2.10	1.18
28	4.06	2.17	1.22
29	4.20	2.24	1.26
30	4.34	2.31	1.30
31	4.48	2.39	1.34
32	4.62	2.46	1.38
33	4.76	2.53	1.42
34	4.90	2.61	1.46

Tabla X U para Eo

Altitud en metros

T°C	-400	-200	0	200	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800
0	0.63	0.65	0.67	0.69	0.71	0.72	0.74	0.76	0.78	0.80	0.82	0.84
1	0.68	0.70	0.72	0.74	0.75	0.77	0.79	0.81	0.83	0.85	0.87	0.89
2	0.72	0.74	0.76	0.78	0.80	0.82	0.84	0.86	0.88	0.91	0.93	0.95
3	0.77	0.79	0.81	0.83	0.86	0.88	0.90	0.92	0.94	0.97	0.99	1.01
4	0.83	0.85	0.87	0.89	0.91	0.93	0.96	0.98	1.00	1.03	1.05	1.08
5	0.88	0.90	0.92	0.94	0.97	0.99	1.01	1.04	1.07	1.09	1.12	1.15
6	0.94	0.96	0.98	1.00	1.03	1.05	1.08	1.10	1.13	1.16	1.19	1.22
7	1.00	1.02	1.04	1.07	1.09	1.12	1.15	1.17	1.21	1.24	1.27	1.30
8	1.07	1.09	1.11	1.13	1.16	1.19	1.22	1.25	1.28	1.31	1.35	1.38
9	1.11	1.14	1.17	1.20	1.23	1.26	1.29	1.32	1.36	1.39	1.43	1.46
10	1.19	1.22	1.25	1.28	1.31	1.34	1.37	1.41	1.44	1.48	1.52	1.55
11	1.26	1.29	1.32	1.35	1.39	1.42	1.45	1.49	1.53	1.57	1.61	1.65
12	1.34	1.37	1.40	1.43	1.47	1.50	1.54	1.57	1.62	1.66	1.70	1.74
13	1.42	1.45	1.48	1.52	1.55	1.59	1.63	1.67	1.71	1.76	1.80	1.84
14	1.51	1.54	1.57	1.61	1.64	1.68	1.72	1.77	1.81	1.86	1.91	1.95
15	1.58	1.62	1.66	1.70	1.74	1.78	1.82	1.87	1.92	1.97	2.02	2.06
16	1.68	1.72	1.76	1.80	1.85	1.89	1.94	1.98	2.04	2.09	2.14	2.19
17	1.76	1.81	1.86	1.91	1.95	2.00	2.05	2.10	2.15	2.21	2.26	2.32
18	1.87	1.92	1.97	2.02	2.06	2.11	2.17	2.22	2.28	2.33	2.39	2.45
19	1.98	2.03	2.08	2.13	2.18	2.23	2.29	2.34	2.40	2.47	2.53	2.59
20	2.07	2.13	2.19	2.25	2.30	2.36	2.42	2.47	2.54	2.60	2.67	2.73
21	2.22	2.27	2.32	2.37	2.43	2.49	2.55	2.61	2.68	2.75	2.82	2.88
22	2.32	2.38	2.44	2.50	2.56	2.63	2.69	2.75	2.83	2.90	2.97	3.04
23	2.46	2.52	2.58	2.64	2.71	2.77	2.84	2.90	2.98	3.06	3.13	3.21
24	2.60	2.66	2.72	2.78	2.85	2.92	2.99	3.06	3.14	3.22	3.30	3.38
25	2.72	2.79	2.86	2.93	3.00	3.08	3.15	3.22	3.31	3.40	3.48	3.56
26	2.85	2.93	3.01	3.09	3.16	3.24	3.32	3.40	3.49	3.58	3.66	3.75
27	3.01	3.09	3.17	3.25	3.33	3.41	3.49	3.57	3.67	3.76	3.86	3.95
28	3.18	3.26	3.34	3.42	3.50	3.59	3.67	3.76	3.86	3.96	4.06	4.15
29	3.35	3.43	3.51	3.60	3.68	3.77	3.86	3.95	4.06	4.17	4.27	4.37
30	3.51	3.60	3.69	3.78	3.87	3.97	4.06	4.16	4.27	4.38	4.49	-
31	3.68	3.78	3.88	3.98	4.07	4.17	4.27	4.37	4.49	4.60	-	
32	3.87	3.97	4.07	4.18	4.28	4.38	4.49	4.59	4.71	-		
33	4.07	4.17	4.27	4.38	4.48	4.59	4.70	4.81	-			
34	4.26	4.37	4.48	4.59	4.70	4.82	4.93	-				
35	4.47	4.59	4.71	4.83	4.95	5.06	-					

Tabla XI $\frac{\Delta}{\gamma}.\frac{Po}{p}$

Altitud en metros

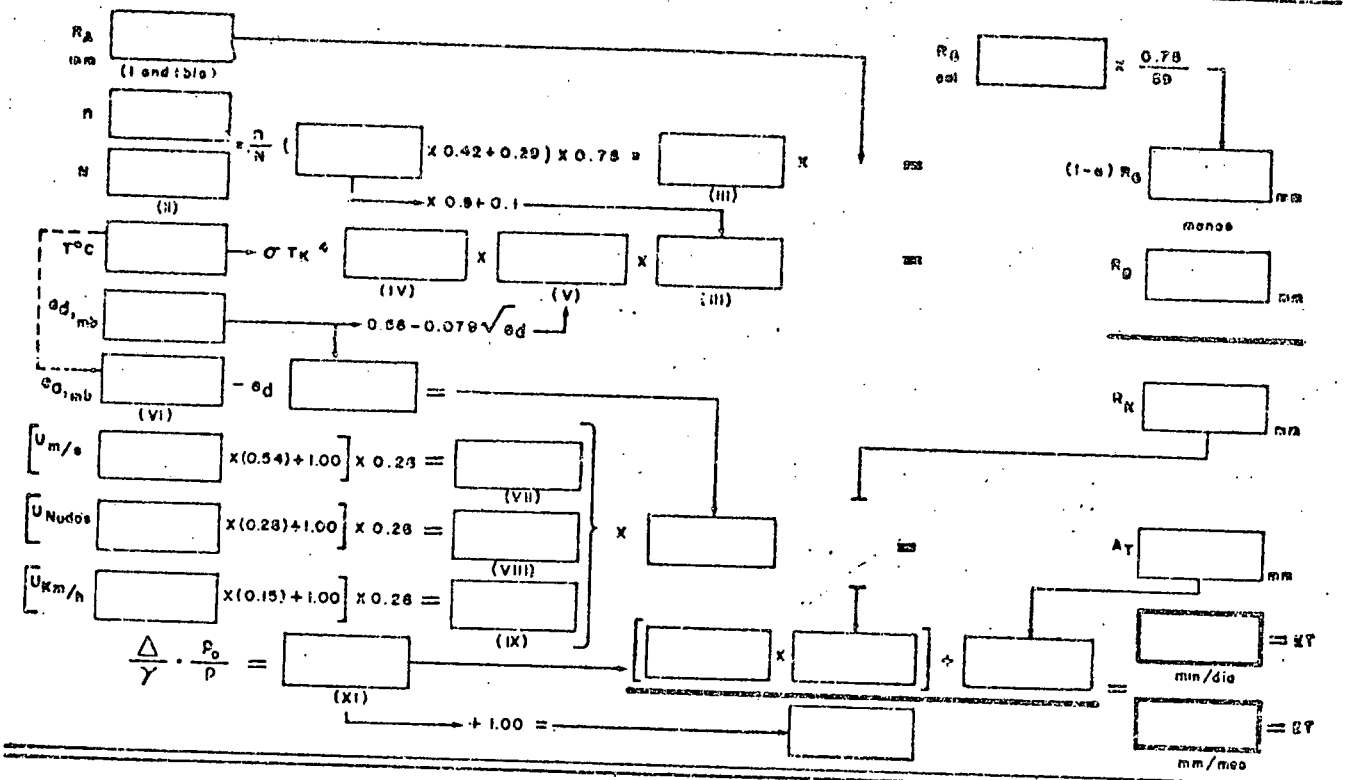
T°C	2000	2200	2400	2600	2800	3000	3200	3400	3600	3800	4000
0	0.86	0.88	0.90	0.93	0.95	0.97	1.00	1.03	1.05	1.08	1.11
1	0.92	0.94	0.96	0.99	1.01	1.04	1.07	1.09	1.12	1.15	1.18
2	0.97	1.00	1.03	1.05	1.07	1.10	1.13	1.16	1.20	1.23	1.26
3	1.04	1.07	1.09	1.12	1.15	1.18	1.21	1.24	1.27	1.31	1.34
4	1.11	1.13	1.16	1.19	1.22	1.25	1.29	1.32	1.36	1.39	1.43
5	1.17	1.21	1.24	1.27	1.30	1.33	1.37	1.40	1.44	1.48	1.51
6	1.25	1.28	1.31	1.35	1.38	1.41	1.45	1.49	1.53	1.57	1.61
7	1.33	1.36	1.40	1.43	1.47	1.51	1.55	1.59	1.63	1.67	1.71
8	1.41	1.45	1.48	1.52	1.56	1.60	1.64	1.69	1.73	1.77	1.82
9	1.50	1.54	1.58	1.62	1.66	1.70	1.74	1.79	1.84	1.88	1.93
10	1.59	1.63	1.67	1.72	1.76	1.80	1.85	1.90	1.95	2.00	2.05
11	1.68	1.73	1.77	1.82	1.86	1.91	1.96	2.01	2.07	2.12	2.17
12	1.78	1.83	1.87	1.92	1.97	2.02	2.07	2.13	2.18	2.24	2.30
13	1.89	1.94	1.99	2.04	2.09	2.14	2.20	2.26	2.32	2.37	2.43
14	2.00	2.05	2.10	2.16	2.21	2.26	2.32	2.39	2.45	2.51	2.58
15	2.11	2.17	2.22	2.28	2.34	2.40	2.46	2.53	2.59	2.66	2.72
16	2.24	2.30	2.36	2.42	2.48	2.54	2.61	2.68	2.75	2.82	2.89
17	2.37	2.43	2.50	2.56	2.62	2.69	2.76	2.84	2.91	2.98	3.06
18	2.51	2.57	2.64	2.71	2.77	2.84	2.92	3.00	3.08	3.15	3.23
19	2.65	2.72	2.79	2.86	2.93	3.00	3.08	3.17	3.25	3.33	3.42
20	2.80	2.87	2.94	3.02	3.09	3.17	3.26	3.34	3.43	-	-
21	2.95	3.03	3.11	3.19	3.26	3.35	3.44	3.53	-	-	-
22	3.11	3.19	3.28	3.36	3.44	3.53	3.62	-	-	-	-
23	3.29	3.37	3.46	3.55	3.63	3.72	-	-	-	-	-
24	3.46	3.55	3.64	3.74	3.83	-	-	-	-	-	-
25	3.64	3.74	3.84	3.94	-	-	-	-	-	-	-
26	3.84	3.94	4.04	-							
27	4.04	4.15	-								
28	4.25	-									
29	-										

Tabla XI Bis $\frac{\Delta . Po}{\gamma\ p}$

FAO/UNESCO/ONM ESTUDIOS AGROCLIMATOLOGICOS

EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL (PENMAN)

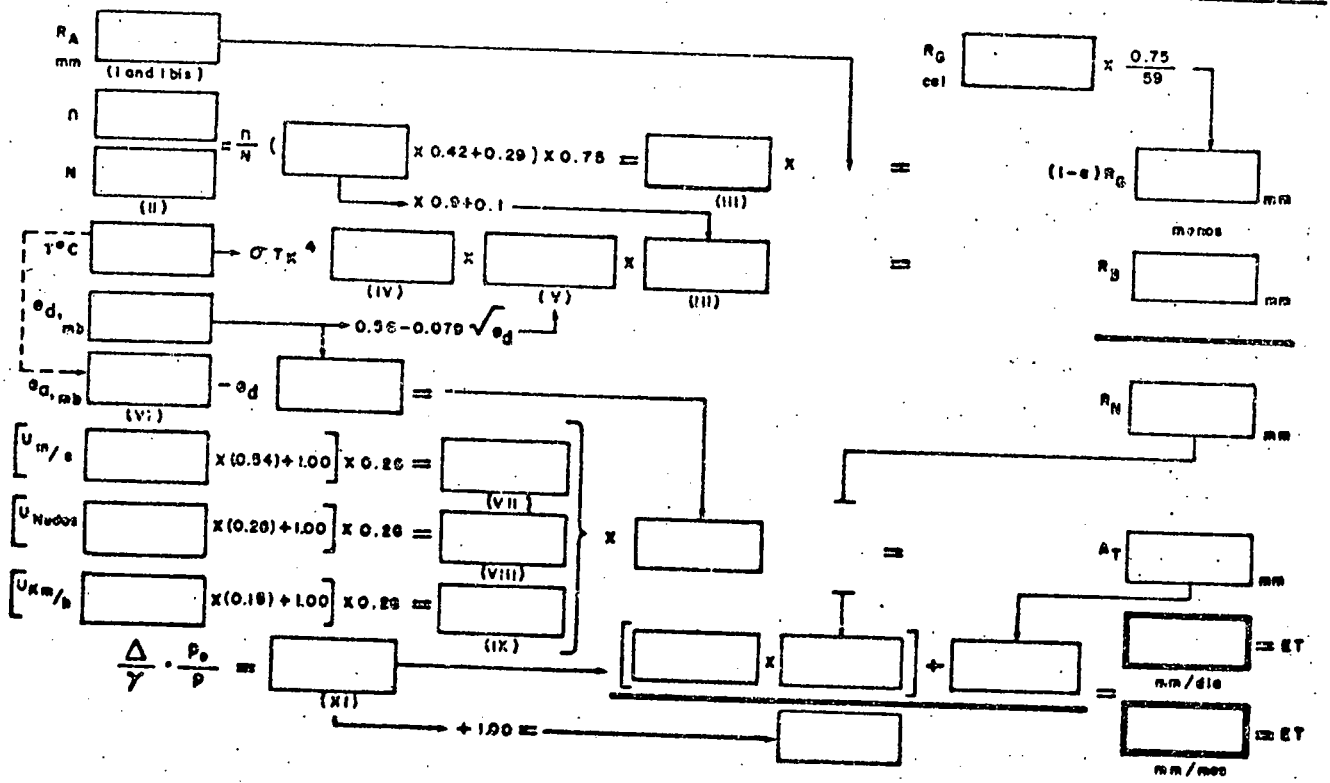
PAIS _____ ESTACION _____ LAT. _____ LONG. _____ ALT. _____ PERIODO _____



FAO/UNESCO/ONM ESTUDIOS AGROCLIMATOLOGICOS

EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL (PENMAN)

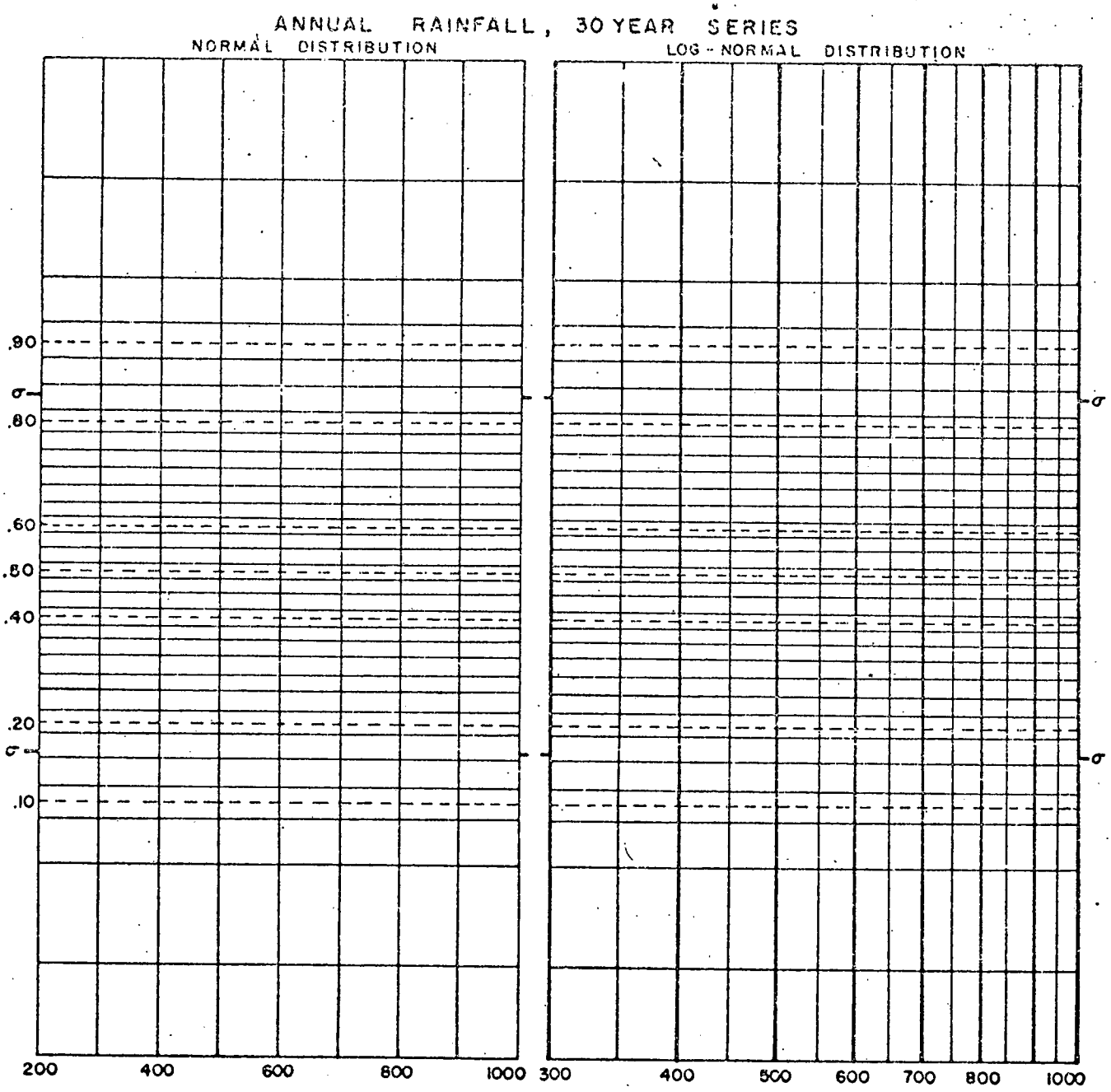
PAIS _____ ESTACION _____ LAT. _____ LONG. _____ ALT. _____ PERIODO _____



RAINFALL 30 YEAR SERIES NORMAL DISTRIBUTION

PLACE _____ PERIOD _____
COUNTRY _____ YEARS _____

Yr.	p	p-p̄	(p-p̄)²


ANNUAL RAINFALL, 30 YEAR SERIES
NORMAL DISTRIBUTION
LOG - NORMAL DISTRIBUTION
.90
σ
.80
.60
.50
.40
.20
σ
.10
σ
σ
200
400
600
800
1000
300
400
500
600
700
800
1000

BALANCE HIDRICO ESTACION: PAIS: METODO:

Fechas	P. Pr. I	P. Int. I	P. Hum. I	F. Hum. I	F. Int. I	C. Alm. I	P. Pr. II	P. Int. II	P. Hum. II	F. Hum. II	F. Int. II	C. Alm. II
Duración días	Prep. I	Interm. I	Hum. I	C. Alm. I	Prep. II	Interm. II	Hum. II	C. Alm. II	Et		P	
									años		años	

	mm					Almacenaje 100 mm				Almacenaje 200 mm			
	Et	P	Def. Agua DA	Exced. Agua EA	Pérdida por Evap.	Var. de Almac.	Almac.	Escurr.	Precip. effect.	Var. de Almac.	Almac.	Escurr.	Precip. effect.
E													
F													
M													
A													
M													
J													
J													
A													
S													
O													
N													
D													
TOTAL													

BALANCE HIDRICO ESTACION: PAIS: METODO:

Fechas	P. Pr. I	P. Int. I	P. Hum. I	F. Hum. I	F. Int. I	C. Alm. I	P. Pr. II	P. Int. II	P. Hum. II	F. Hum. II	F. Int. II	C. Alm. II
Duración días	Prep. I	Interm. I	Hum. I	C. Alm. I	Prep. II	Interm. II	Hum. II	C. Alm. II	Et		P	
									años		años	

	mm					Almacenaje 100 mm				Almacenaje 200 mm			
	Et	P	Def. Agua DA	Exced Agua EA	Pérdida por Evap.	Var. de Almac.	Almac.	Escurr.	Precip. effect.	Var. de Almac	Almac.	Escurr.	Precip. effect.
E													
F													
M													
A													
M													
J													
J													
A													
S													
O													
N													
O													
TOTAL													

BALANCE HIDRICO Cultivo: País:

Lugar: Lat: Long: Alt:

No: Metodo: Cap. de almacenaje:

$\bar{P}$ anual: P 80 %: P 80/$\bar{P}$ anual:

Periodo: ET / P

Indice de disponibilidad hídrica = % de demanda del cultivo satisfecho por precipitación en 4 años de cada 5.

PERIODO, MES O DECADA	ET mm	Coef. Cultivo	Demanda Cultivo (DC) mm	P mm	Coef. P80/$\bar{P}$	P80% mm	DC - P mm	P - DC mm	Var. Almac. mm	Total Almac. mm	Excedente mm	Deficit mm	Precip. effect mm

PERIODO, MES O DECADA	A = ΣP80	B = ΣEx	C = ΣDC	ID = (A-B)/C	