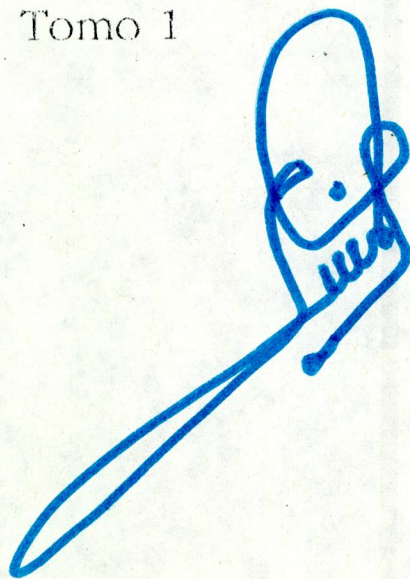


IV JORNADAS NACIONALES DE HIDROLOGIA,
METEOROLOGIA Y CLIMATOLOGIA

PONENCIA

Tomo 1

A handwritten signature in blue ink, consisting of a large, stylized loop at the top, followed by a smaller loop and a long, sweeping stroke that extends downwards and to the left.

Caracas, 23 al 26 de Marzo de 1992

INDICE

EXPOSICION DE 20 INDICES DE ESTABILIDAD ATMOSFERICA PARA LA PREDICCION DE TORMENTAS Y CHAPARRONES <i>Daniel Suárez Calzadilla</i>	1
BASES CONCEPTUALES PARA LA SISTEMATIZACION E INTERPRETACION DE LA INFORMACION SOBRE REQUERIMIENTOS AGROECOLOGICOS DE LOS CULTIVOS <i>Ing. Agr. Antonio J. Sánchez e Ing. Agr. Diego A. Machado</i>	12
AVANCES EN EL DESARROLLO DEL BANCO DE INFORMACION AGROCLIMATICA DEL FONAIAP <i>Avilán, William y Graterol, Orlando</i>	18
ZONIFICACION EDAFOCLIMATICA PARA EL ESTABLECIMIENTO DE CULTIVOS FRUTALES EN EL AREA DE CIUDAD BOLIVAR Y ALREDEDORES <i>Geog. Jesús Méndez e Ing. Asdrúbal Oliveros</i>	24
ANALISIS DE LA DISTRIBUCION DE LA PRECIPITACION EN EL DELTA DEL ORINOCO UTILIZANDO IMAGENES DE SATELITE METEOROLOGICO <i>Ing. Hidromet. Margarita Núñez, Geog. Jesús Méndez, Ing. Hidromet. María Martínez e Ing. Hidromet. Nelson Hernández</i>	29
ESTUDIO DE LA VARIABILIDAD Y DISTRIBUCION DE LA PRECIPITACION EN LA CUENCA DEL RIO CARONI <i>Ing. Ricardo R. Ponte Ramírez, Geóg. Cira E. Brillembourg y Geóg. Jorge Camacho</i>	35
CAMBIOS CLIMÁTICOS POR EFECTO INVERNADERO O DEFORESTACIÓN Y BALANCE HÍDRICO EN LA ESTACIÓN BARINAS-AEROPUERTO <i>Carlos Maytin, Rigoberto Andressen y Milítza Rodríguez</i>	42
DETERMINACION DE LA PROFUNDIDAD OPTICA DE AEROSOLES EN UNA ATMOSFERA MARINA DE LATITUD TROPICAL <i>César O. Noguera D.</i>	48
EL RELAMPAGO DEL CATATUMBO EN BASE A LAS IMAGENES DEL SATELITE GOES <i>Luis F. García, Elvira Leltchitskaya, y César Noguera</i>	66
EL DEPARTAMENTO DE ALERTA CONTRA INUNDACIONES <i>Héctor Fuenmayor y Luis Felipe García</i>	75
SALINIZACION DE ACUIFEROS COSTEROS EN VENEZUELA <i>Jorge Alvarado</i>	80
SOBRE-EXPLORACION DE ACUIFEROS EN VENEZUELA <i>Jorge Alvarado</i>	96
EVALUACION Y PROSPECCION DE LOS RECURSOS HIDRAULICOS EN ANZOATEGUI CENTRAL <i>Alvarado R., J.; Fermín R., A.; Decarli, F. y Contreras, D.M.</i>	106
PROYECTO PILOTO DE REGIONALIZACION DE PARAMETROS CLIMATICOS EN UNA ZONA AL NOR-OESTE DE VENEZUELA EN EL CONTEXTO DEL SISTEMA DE INFORMACION COMPUTARIZADA DEL AMBIENTE (SICA) <i>María Teresa Martelo, Carmen Meneses, Clemencia Rivas y Luis León</i>	117
LA CONSERVACION VS LA PRODUCCION DE SEDIMENTOS EN LA CUENCA DEL ALTO BOCONO <i>Ing. Civil Msc. Fernando Velásquez</i>	124

DISPONIBILIDAD DE AGUA Y RENDIMIENTO DEL AJONJOLI EN PORTUGUESA <i>Juan Carlos Coronado y Alex Moreno Sotomayor</i>	130
FACTIBILIDAD DEL MONITOREO DE LA VEGETACION TROPICAL MEDIANTE EL USO DE DATOS DIGITALES SATELITARIOS GOES (Caso Venezuela) <i>Prof. Luis G. Hidalgo</i>	140
RECONSIDERACION DE LOS MECANISMOS CONVECTIVOS EN LA REGION TROPICAL NORTE-CENTRO DE SURAMERICA <i>Prof. Luis G. Hidalgo</i>	150
UTILIZACION DE LAS FORMACIONES ACUIFERAS Y SUELOS ARCILLOSOS DE BAJA RESISTIVIDAD PARA LA DISIPACION DE DESCARGAS ATMOSFERICAS PRODUCIDAS POR TORMENTAS ELECTRICAS, POR MEDIO DE UN SISTEMA DE PUESTA A TIERRA CONSTITUIDO POR ELECTRODOS INTERCONECTADOS A PROFUNDIDAD (EIP) EN ESTACIONES DE TELECOMUNICACIONES <i>Ing. Jesús Enrique Rivas</i>	157
FALSOS RESIDUALES Y FALSO ERROR ESTANDAR DE ESTIMACION <i>J.M. Guevara Díaz</i>	167
ANALISIS PRELIMINAR DE SEQUIAS EN LA CUENCA DEL RIO CHAMA A NIVELES ANUAL Y MENSUAL <i>Ing. For. MSc. Gustavo A. Silva León</i>	172
APROXIMACIONES GEOMORFOLOGICAS EN UN SECTOR DE LA CUENCA BAJA DEL RIO CARONI <i>Prof. José María Villavicencio Ch.</i>	181
METODOLOGIA PARA ZONIFICACION DE CULTIVOS <i>Geógrafo Vidal Sáez, Ing. Hidrometeorologista María T. Martelo</i>	186
SISTEMA DE INFORMACION COMPUTARIZADA DEL AMBIENTE <i>Freddy Flores, Luis León, Ramiro Salcedo, Victor Rondón, Victor Vilachá</i>	193

IV ENCUENTRO NACIONAL
CLIMA, AGUA Y TIERRA

IV JORNADAS NACIONALES DE
HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y CLIMATOLOGIA

ESTUDIOS DE APLICACION E INTERPRETACION
PREDICCION

EXPOSICION DE 20 INDICES DE ESTABILIDAD ATMOSFERICA
PARA LA PREDICCION DE TORMENTAS Y CHAPARRONES

DANIEL SUAREZ CALZADILLA

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA HIDROMETEOROLOGICA

EXPOSICION DE MOTIVOS

La importancia de este trabajo radica en el hecho de dar a conocer una serie de índices de estabilidad atmosférica, y en explicar, cómo se aplica a una observación de radiosonda (RAOB) cada uno de los 21 índices recolectados, los cuales tienen como fin dar una orientación de la estabilidad de la atmósfera, y por ende de la probabilidad o posibilidad de predecir la ocurrencia, o no, de al menos un chaparrón o una tormenta eléctrica.

En el pronóstico del tiempo, específicamente el severo, llegar a determinar un índice, que proporcione una idea aceptable de la inestabilidad atmosférica, y que sus valores tengan una buena correlación con la ocurrencia de precipitaciones de diferentes intensidades, sería de gran utilidad en la predicción de calamidades para alertar tanto al hombre en sí como a cualquier tipo de navegación.

1. Indices de Estabilidad Atmosférica

1.1 Índice de Estabilidad

Medida numérica de la estabilidad estática de una capa atmosférica dada, usada particularmente para evaluar la probabilidad de chaparrones o tormentas.

1.2 Requerimientos Principales en un Índice de Inestabilidad para uso Sinóptico, según Boyden [1]

- i) El índice debe obtenerse rápidamente.
- ii) El rango de valores del índice debe ser bastante grande para que el patrón de isopletas muestre características sobresaltantes.
- iii) El índice debería ser determinado para una extensión pequeña, ya que la temperatura de la superficie, debido a la distribución de tierra y mar, podría influenciar seriamente el patrón de isopletas.
- iv) Debe ser posible pronosticar el patrón futuro de los patrones presente y pasado del índice de estabilidad. Puesto que el cambio, probablemente, ha de ser dominado por advección, es deseable que la capa desde la cual el índice es evaluado no debería ser profunda, porque entonces el índice cambiaría por cizalladura a lo largo de la dirección del viento usado para estimar la advección.
- v) El índice debe tener una relación bien definida con las condiciones meteorológicas en circunstancias específicas.

2. Indices de Estabilidad Atmosférica de Uso Común

2.1 Índice de Bailey {2}

Está definido por dos parámetros: El gradiente entre 850 hPa y 500 hPa: $T_{85} - T_{50}$; y la suma de las depresiones del punto de rocío en 700 hPa y 600 hPa: $DD_{70} + DD_{60}$. Bailey, con los valores de los dos parámetros, elabora un diagrama de dispersión para la predicción de tormentas locales (Fig.2.1)

Area A: Tormentas aisladas, con una probabilidad de 12 a 1 de al menos un pluviómetro registrando lluvia en la red.

Area B: Tormentas dispersas, con una probabilidad de 4 a 1 de lluvia reportada.

Area C: Ninguna lluvia.

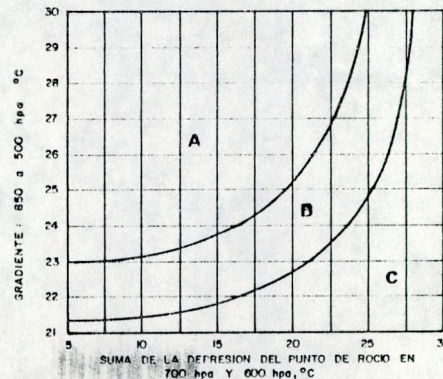


Fig.2.1 Diagrama de dispersión de Bailey

2.2 Indice CAPE de Betts y Otros {3}

El índice CAPE, que da una buena indicación de la energía potencial convectiva, es determinado mediante la integral siguiente:

$$CAPE = g \int_{CCL}^{EL} \frac{(\theta' - \theta)}{\theta} dz$$

- g: Gravedad (m/seg²)
- CCL: Nivel de condensación convectivo (m)
- EL: Nivel de equilibrio de la parcela que asciende (m)
- θ': Temperatura potencial de la parcela (°K)
- θ: Temperatura potencial del medio ambiente (°K)

2.3 Indice Revised de Biltoft [4]

Biltoft determinó que las condiciones siguientes deberían comprobarse para determinar cumulonimbus en aire frío con potencial de tormenta:

1. La isoterma de -20°C debe de estar más alta que 700 hPa. Sondeos con una altura de dicha temperatura por debajo de 700 hPa son demasiados fríos para que ocurra actividad de tormenta; 2. RI ≤ +3. RI se determina en un diagrama termodinámico como sigue (Fig.2.2):

1. Se halla la relación de mezcla media w (A-A') y la temperatura potencial media θ (B-B') para los 150 hPa más bajos del sondeo.
2. Con w medio y θ media, se halla el LCL, luego se asciende por la adiabática húmeda hasta el nivel de presión p': corte de la isoterma de -20°C con la curva de estado del sondeo, se obtiene T''': RI = T20 - T''' (T20 = -20°C).

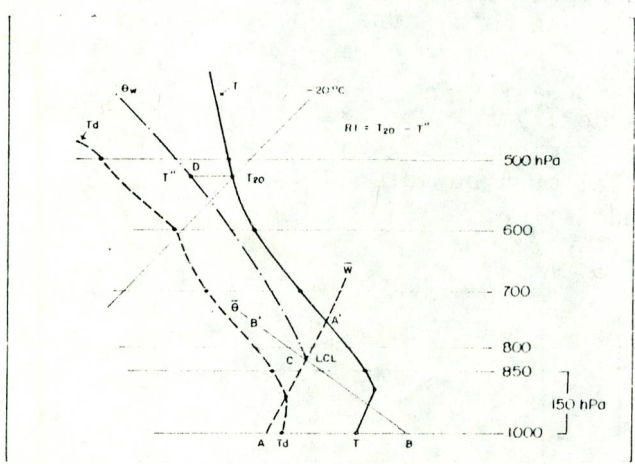


Fig.2.2 Cálculo del Índice RI de Biltoft

2.4 Indice de Boyden [1]

Este índice viene dado por la fórmula siguiente: BI = Z - T70 - 200

Z: Espesor 1000-700 hPa en dm, y T70: Temperatura del aire en 700 hPa en °C. Las tormentas son más probables cuando BI ≥ 94.

2.5 Indice de Energía de Darkow [5]

Darkow formuló su índice de energía como la diferencia algebraica entre la energía total del aire en los niveles de 500 hPa y 850 hPa:
 $EI = ET500 - ET850$.

Valores Cuantitativos del Indice de Energía

Valores del Indice	Intensidad de Tormenta
0.0 a -1.0	-Posibles, pero no severas
-1.0 a -2.0	-Posibles, pero severas y aisladas
< -2.0	-Altamente probables, severas y asociadas a tornados

Siendo la energía total: $ET = (T + 2.5w + 9.8Z)cp$ cal/gr

T: Temperatura del aire en °A; w: Relación de mezcla en gr/Kg; Z: Altura geopotencial en km; cp: Calor específico a presión constante en cal/gr°A.

2.6 Indice de Druyan y Sant [6]

El índice de Druyan y Sant: $I = w/L$, es calculado a intervalos de 50 hPa desde 1000 mb o desde la superficie hasta el nivel de 600 hPa (Fig.2.3). En esta fórmula, w es la relación de mezcla de cada observación del punto de rocío y L (cb) es la diferencia de presión entre la observación y su LCL la cual es $\geq 1cb$ (p.e., L es igual a uno si el aire está saturado). De acuerdo a Schell y Krown, un perfil de radiosonda debería de mostrar un decrecimiento más bien súbito de I en cierto nivel atmosférico. La presión en esta zona de transición, llamada Ptr, es aproximadamente el tope de la capa húmeda. Krown sugiere que para el rango 600 hPa < Ptr < 675 hPa, la lluvia es virtualmente segura. La influencia de I y Ptr en la inminencia de lluvia la demostraron mediante un gráfico (Fig.2.4), con I como abscisa y Ptr como ordenada, y en el cual se marcó cada evento de precipitación con un símbolo apropiado.

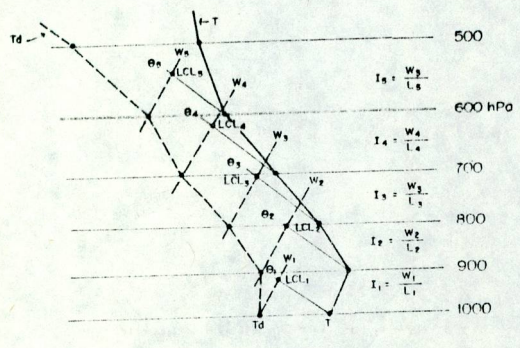


Fig.2.3 Cálculo del Índice I de Druyan y Sant

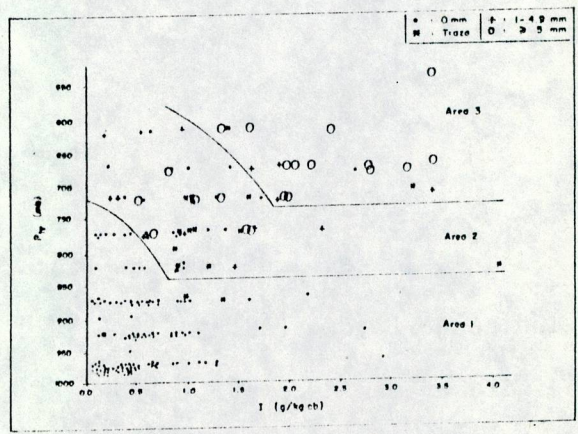


Fig.2.4 Diagrama I, Ptr de Druyan y Sant

2.7 Índice de Fawbush-Miller [7]

El índice de Fawbush-Miller usa una "capa húmeda" de profundidad variable, la cual es definida como un estrato desde la superficie cuyo límite superior es el nivel de presión donde la humedad relativa llega primero a hacerse menor de 65%. Si su extensión vertical pasa de 6000 pies, se usa solamente la capa de 150 hPa más baja para determinar la temperatura del bulbo húmedo (T_w). El FMI se determina en un diagrama termodinámico (Fig.2.5) como sigue:

1. Calcular la humedad relativa con suficientes puntos en la parte más baja del sondeo para identificar la "capa húmeda".
2. Plotear la curva T_w para la capa húmeda y determinar el valor medio de T_w en dicha capa (punto M).
3. Desde M trazar una adiabática húmeda hasta 500 hPa. Se obtiene el valor de la temperatura de la parcela saturada (T'): $FMI = T_{500} - T'$

Fawbush-Miller clasifican la estabilidad relativa como sigue:

Valores del Índice

Estabilidad

> +1

-Relativamente estable

Entre 0 y -2

-Ligeramente inestable

Entre -2 y -6

-Moderadamente inestable

< -6

-Fuertemente inestable

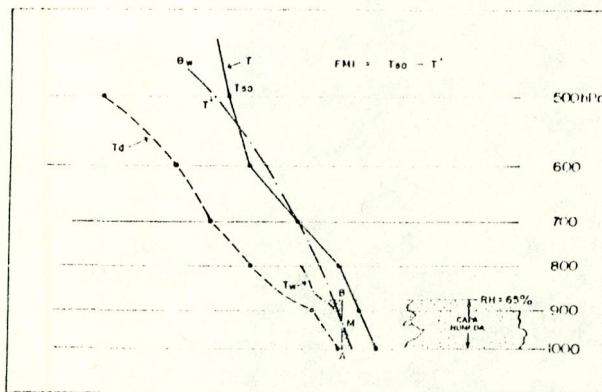


Fig.2.5 Cálculo del Índice FMI de Fawbush y Miller

2.8 Índice Lifted de Galway [8]

Galway ideó el Índice Lifted (LI) para predecir inestabilidad latente en horas de la tarde. LI se calcula mediante un diagrama termodinámico (Fig.2.6) como sigue:

1. Se determina gráficamente la relación de mezcla media observada en los 3000 pies cercanos al suelo (método de áreas iguales).
2. Luego, donde se espera calentamiento (o enfriamiento significativo) el sondeo real es modificado a través de los 3000 pies. Esta modificación se hace asumiendo un gradiente de temperatura adiabático seco (sólo en los 3000 pies más bajos) mediante el pronóstico de la temperatura máxima de la tarde (si no se asume un gradiente adiabático seco, se usa la temperatura media de los 3000 pies).

3. El corte de esta temperatura potencial (o temperatura media de la capa de 3000 pies) con la relación de mezcla media, determina el LCL para una parcela media en la capa baja.
4. Se sube la parcela por la adiabática húmeda que pasa por el LCL hasta el nivel de 500 hPa. Se obtiene T' : $LI = T_{50} - T'$

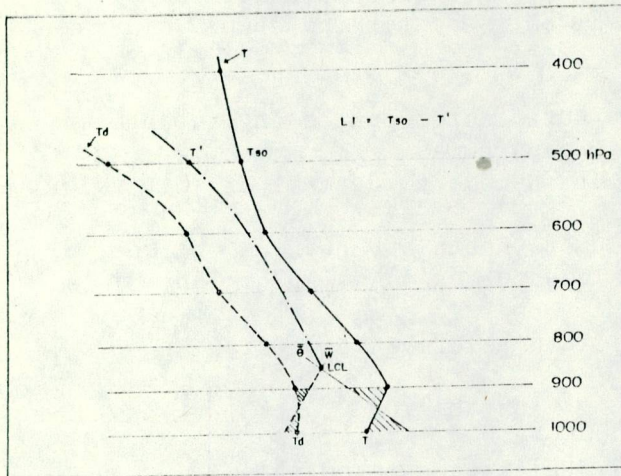


Fig.2.6 Cálculo del Índice LI de Galway

2.9 Índice de Gray (9)

Gray definió el término "Fuerza Ascensional Potencial" de cúmulos, como la diferencia de la temperatura potencial equivalente (θ_e) entre superficie y 500 hPa: $FAP = \theta_{eSup} - \theta_{e500}$

2.10 Índice de Humedad (10)

Litynska y Piwowski mencionan el índice W que viene a ser el resultado de la suma de las depresiones del punto de rocío, obtenidas mediante datos de RAOB, en los niveles de 850, 700 y 500 hPa:

$$W = (T - T_d)_{850} + (T - T_d)_{700} + (T - T_d)_{500}$$

Según los valores del índice SI (Showalter) y de W, el pronóstico de tormenta fue formulado en tres categorías:

CATEGORIA	PROBABILIDAD DE TORMENTAS LOCALES
1. $SI \leq 1^\circ C$ y $W \leq 20$	Alta
2. $-1^\circ C < SI < +1^\circ C$ y $W < 30$	Baja
3. $SI \geq +1^\circ C$ ó $W \geq 20$	Ninguna

2.11 Índice de Jefferson [11]

Jefferson modificó el índice de Rackliff: $\Delta T = \theta_{w900} - T_{500}$, de la manera siguiente: $T_J = 1.6 \theta_{w900} - T_{500} - 11$

θ_{w900} : Temperatura potencial del bulbo húmedo en 900 hPa; T_{500} : Temperatura del bulbo seco en 500 hPa. Para $T_J \geq 30$ hay condiciones de tormentas de verano en las Islas Británicas.

2.12 Indice Modificado de Jefferson [12]

Jefferson modificó luego el índice Tj mediante la fórmula siguiente:

$$Tmj = 1.6\theta w900 - T500 - 1/2Td700 - 8$$

Td700: Depresión del punto de rocío en 700 hPa.

2.13 Indice de Rackliff [13]

Rackliff concretó su índice usando como base la temperatura potencial del bulbo húmedo en 900 hPa ($\theta w900$) y la temperatura del bulbo seco en 500 hPa (T500). Su índice es: $\Delta T = \theta w900 - T500$. Para $\Delta T \geq 30$ es probable la ocurrencia de tormentas.

2.14 Indice de Randerson [14]

Randerson desarrolló una ecuación para la predicción local de Cb en Nevada, E.U.A. Utilizó nueve predictores (vi) que fueron introducidos en un programa de análisis discriminante que calcula los coeficientes (ai) de la función lineal $Z^* = a1v1 + a2v2 + \dots + anv_n$; La ecuación de regresión resultante es:

$$Z^* = 165.19V1 - 14.63V2 + 11.73V3 + 31.52V4 + 38.22V5 - 17.30V6 + 85.89V7 + 12.69V8 - 12.85V9$$

- V1 = Presión atmosférica en superficie (hPa)
- V2 = Temperatura en superficie (°C)
- V3 = Depresión del punto de rocío en superficie (°C)
- V4 = Temperatura en 850 hPa (°C)
- V5 = Depresión del punto de rocío en 800 hPa (°C)
- V6 = Altura de 700 hPa (m)
- V7 = Temperatura en 500 hPa (°C)
- V8 = Componente u del viento en 500 hPa (nudos)
- V9 = Temperatura del punto de rocío en 500 hPa (°C)

El índice Z de Randerson viene dado por la expresión siguiente: $Z = 0.01(Z^* - 93200)$, de tal manera que para la frecuencia relativa (probabilidad P) de 50%, $Z = 0$. Además, para niveles mayores de 50%, Z será negativo. En general, para $Z < 4.0$, $P > 90\%$ y para $Z > 5.0$, $P < 10\%$.

2.15 Indice de Sansom {15}

Sansom utiliza un índice para predecir tormentas y precipitaciones, el cual viene dado por la ecuación siguiente: $S = Y - 2X + 6$

Y: Es el índice SI de Showalter; X: La relación de mezcla en 500 hPa. Sansom, encontró valores que variaron entre +6 y -10. Valores positivos indican estabilidad.

2.16 Indice de Precipitación de Schell [16]

Schell creó un "Indice de Precipitación" el cual puede indicar, con un

alto grado de probabilidad, si ocurrirá o no precipitación en la estación, dentro de las próximas 8 horas a partir de un sondeo. El cálculo del índice se hace en un diagrama termodinámico como sigue:

1. Para cada nivel de presión dado, hasta 600 hPa, se determina el LCL. Cada índice I será igual a w entre L , siendo w la relación de mezcla en cada nivel de presión y L la diferencia entre la presión original y la presión en el LCL (P_s) en centibares ($L = P - P_s$; $P > P_s$). Si $P = P_s$, $L = 1$ cb. (Ver índice de Druyan y Sant, pág. 3).
2. El índice se obtiene promediando los respectivos w/L , obtenidos para los puntos del sondeo. Schell clasifica su índice en tres categorías:

Valor del Índice (gr/Kg)cb	Probabilidad
0.0 a 1.0	-Despreciable
1.1 a 3.0	-Moderada
> 3.0	-Alta

2.17 Índice de Showalter [17]

Showalter propuso un índice que permite una verificación rápida de la posibilidad de tormenta. Su índice se calcula en un diagrama termodinámico (Fig.2.7) de la manera siguiente:

1. Con la temperatura del aire (T_{85}) y la del punto de rocío (T_{d85}) en 850 hPa se determina el LCL.
2. Desde el LCL85 se asciende la parcela por una adiabática de saturación hasta 500 hPa. La temperatura así levantada se denomina T' .
3. Se sustrae algebraicamente la temperatura de la parcela levantada (T') a la del medio ambiente observada (T_{50}): $SI = T_{50} - T'$.

La experiencia ha indicado que cualquier índice positivo de $+3^\circ$ o menos es muy probable que esté asociado con chaparrones y muy posible que se produzcan tormentas aisladas. La probabilidad de tormentas se incrementa cuando el índice varía desde $+1^\circ$ a -2° . Valores entre -3° y -6° pueden ser indicativos de tormentas severas. Valores de -6° ó menores son sospechosos de tornados.

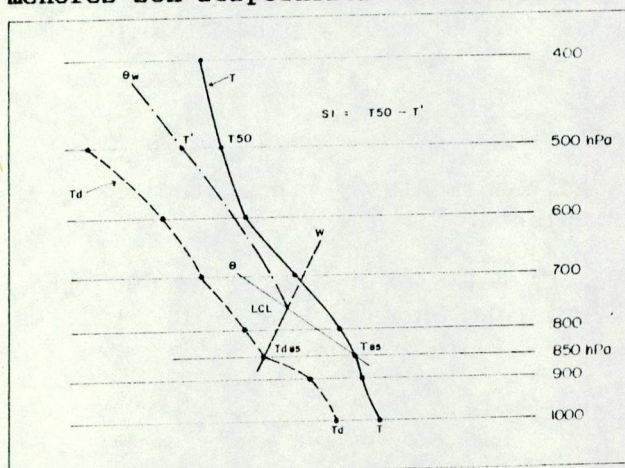


Fig.2.7 Cálculo del Índice SI de Showalter

2.18 Indice Convectivo de Sly [18]

Sly modificó el índice de Jefferson mediante un índice convectivo, para predecir cumulonimbus en Edmonton, Canada, que combina un punto de rocío representativo de la tarde, la temperatura máxima del día y la temperatura en el nivel de 500 hPa a la hora de máximo calentamiento: $C = 1.6\theta_{w21m} - T500_{00} - 11$

θ_{w21m} : Temperatura potencial del bulbo húmedo ($^{\circ}\text{C}$), calculada usando la temperatura máxima del día (T_{max}) y el punto de rocío de las 2100 UTC (14 MST); $T500_{00}$: Temperatura en 500 hPa ($^{\circ}\text{C}$) a las 0000 UTC (17 MST) del día siguiente. Tanto $T500$ como T_{max} para el día son pronosticadas junto con un punto de rocío representativo de la tarde. Si se emplea el RAOB de las 1200 UTC (08 HLV) de Maracay (80413), se sugiere usar el pronóstico de la $T_{máx}$, el del punto de rocío de las 1800 UTC (14 HLV) y el de la $T500$ de la tarde. Para $C \geq 31$ el porcentaje de ocurrencia de Cb es grande.

2.19 Indice Total-Totals {19}

Atkinson menciona el índice TT, el cual viene dado por la expresión siguiente: $TT = (T85 - T50) + (Td85 - T50)$

$T85$: Temperatura del aire en 850 hPa; $Td85$: Temperatura del punto de rocío en 850 hPa; $T50$: Temperatura del aire en 500 hPa.

Henry {20} proporciona valores del índice y el respectivo tiempo asociado:

Valores del Indice TT	Tiempo Asociado
40 a 55	- Tormentas
> 55	- Tormentas severas

2.20 Indice K de Whiting {21}

Whiting propuso el índice K para pronosticar tormentas de masas de aire durante el verano: $K = (T85 - T50) + Td85 - DD70$

$T85$: Temperatura del aire en 850 hPa; $Td85$: Temperatura del punto de rocío en 850 hPa; $T50$: Temperatura del aire en 500 hPa; $DD70$: Depresión del punto de rocío en 700 hPa.

Whiting indica la cobertura de área, para los Estados Unidos, de las tormentas de masas de aire con relación a los valores del Indice K.

Valores del Indice K	Frecuencia de Clase
1. < 20	-Ninguna
2. > 20 y < 25	-Tormentas aisladas
3. > 25 y < 30	-Tormentas muy dispersas
4. > 30 y < 35	-Tormentas dispersas
5. > 35	-Tormentas numerosas

REFERENCIAS

- [1] BOYDEN, C. J.: A Simple Instability Index for Use as a Synoptic Parameter; Met. Mag., Vol 92, 1963, p198-210.
- [2] BAILEY, R. E.: Local Thunderstorm Forecasting, Development of Practical Short Range Weather Prediction Techniques; in: Weather Forecasting for Aeronautics, by J. J. George ET AL., Academic Press Inc., New York, 1960, p407-409.
- [3] BETTS, A.K., ET AL: Structure and Motion of Tropical Squall Lines over Venezuela; Quart. J.R. Met. Soc., 102, 1976, p395-404, en: Analise da Performance dos Indices de Instabilidade como Previsores de Tempestades na Regiao de Sao Paulo; por B. Assis y Maria Faus da Silva, I CONGRESSO INTERAMERICANO DE METEOROLOGIA, IV CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, Brasilia-20 a 24 de Outubro de 1986, ANAIS-VOLUME II, Editado pela Sociedade Brasileira de METEOROLOGIA, Belo Horizonte-MG, p65-70.
- [4] BILTOFT, CH. A.: Thunderstorm Potential of Cold Air Cumulonimbi; Journal of Applied Meteorology, Vol. 13, Feb. 1974, p22-26.
- [5] DARKOW, G.L.: The Total Energy Environment of Severe Storms; Journal of Applied Meteorology, Vol. 7, April 1968, p199-206.
- [6] DRUYAN, L. M., SANT, YISRAELA: Objective 12 h Precipitation Forecasts using a Single Radiosonde; Bull. Amer. Meteor. Soc., Vol. 59, No 11, Nov 1978, p1438-1441.
- [7] AIR WEATHER SERVICE: Use of the Skew-T, Log p Diagram in Analysis and Forecasting; AWSM 105-124, United States Air Force, July 1969, p5-33 a 5-37.
- [8] GALWAY, J. G.: The Lifted Index as a Predictor of Latent Instability; Bull. Amer. Meteor. Soc., Vol. 37, 1956, p528-529.
- [9] GRAY, W.: Global View of the Origin of Tropical Disturbances and Storms; Mon. Wea. Rev., Vol 96 (10), Oct 1968, p669-700.
- [10] LITYNSKA, Y., PIWKOWSKI, H., PARFINIEWICZ, J.: The Prediction of Air Mass-Thunderstorms and Hails; WMO-No 450, 1976, p128-130.
- [11] JEFFERSON, C. J.: A Modified Instability Index; Met. Mag., Vol 92, 1963, p92-96.
- [12] JEFFERSON, C. J.: A Further Development of the Instability Index; Met. Mag., Vol 92, 1963, p313-316.
- [13] RACKLIFF, P. G.: Application of an Instability Index to Regional Forecasting; Met. Mag., Vol 91, N° 1078, May 1962, p113-120.
- [14] RANDERSON, D.: Determining the Relative Frequency of Occurrence of Local Cumulonimbus Activity through Discriminant Analysis; Mon. Wea. Rev., Vol.105, June 1977, p709-712..
- [15] SANSOM, H.W.: A Moisture/Stability Index as an Aid to Local Forecasting in East Africa; Tech. Memo. No 9, East African Met. Dept., Nairobi, 1963; in: Forecasters' Guide to Tropical Meteorology; T.R. 240; by G. Atkinson, Air Weather Service, United States Air Force, April 1971, p11-21 a 11-22.
- [16] SCHELL, I. I.: Single-Radiosonde Analysis in Local 8-Hour Forecasting of Precipitation; Bull. Ame. Meteor. Soc., Vol. 26, April, 1946, p164-168.
- [17] SHOWALTER, A. K.: A Stability Index for Thunderstorm Forecasting; Bull. Amer. Met. Soc., Vol. 34, June 1953, p250-252.
- [18] SLY, W. K.: A Convective Index as an Indicator of Cumulonimbus Development; Jou of Applied Meteorology, Vol. 5, Dec. 1966, p839-846.
- [19] ATKINSON, G.: Forecasters' Guide to Tropical Meteorology; T.R. 240, AWS, United States Air Force, April 1971, p11-20.
- [20] HENRY, W. K.: Curso de Extensión de Conocimientos sobre Agua en la Atmósfera; UCV, Fac. de Ingeniería, Dpto. de Meteorología e Hidrología, Caracas, Junio 1978.
- [21] WHITING, R. M.: Use of K-Index in Thunderstorm Forecasting; in: Weather Forecasting for Aeronautics; by J. George ET AL., Academic Press Inc., New York, 1960, p409-415.

BASES CONCEPTUALES PARA LA SISTEMATIZACION E INTERPRETACION DE LA INFORMACION SOBRE REQUERIMIENTOS AGROECOLOGICOS DE LOS CULTIVOS.

Ing. Agr. ANTONIO J. SANCHEZ * Ing. Agr. DIEGO A. MACHADO P. **

INTRODUCCION.

La información referente a las características de los cultivos y cultivares que se siembran en el país, así como de sus requerimientos agroecológicos, no se encuentra suficientemente organizada, generalmente se presenta en publicaciones científicas y boletines técnicos dispersos en las bibliotecas de las instituciones de investigación y docencia agrícola. Esta situación, además de las diferentes formas de enfoque y de presentación dificulta su utilización e interpretación para los procesos de investigación, evaluación de tierras y asistencia técnica.

En búsqueda de una solución a esta problemática se propone un esquema que se inicia con el rubro al cual el cultivo pertenece; identificando su nombre común y el nombre científico, la clase y el nombre del cultivar, así como el tipo cuando exista. Otro aspecto para lo cual también se propone un ordenamiento es en base al tipo de ciclo y las etapas de crecimiento y desarrollo por su relación con los principales requerimientos agroecológicos que inciden en la producción.

La separación o identificación de cada una de estas categorías obedece a fines prácticos en base a definiciones operativas, que permiten la organización, interpretación y consulta de información sobre las características y requerimientos agroecológicos de los cultivos y/o cultivares más importantes que se siembran en el país, con la finalidad de proveer información para los procesos de evaluación de tierra, interpretación de resultados experimentales, asistencia técnica y transferencia de tecnología.

CONCEPTO O DEFINICIONES BASICAS.

Cultivos Anuales: los que cumplen su ciclos de crecimiento, desarrollo y producción en un período de tiempo inferior a un año; aquí se distinguen:

Cultivos anuales con períodos de floración y fructificación diferenciado: Se refiere a las especies que presentan etapas de floración y fructificación bien definidas, distinguiendose las siguientes etapas:

Germinación o establecimiento, Crecimiento vegetativo, Pre-Floración, Floración, Fructificación, Madurez fisiológica y Cosecha.

Cultivos anuales con períodos de floración y fructificación indiferenciado: Se refiere a las plantas cuya floración continua después de la formación de los primeros frutos. Se distinguen las siguientes etapas: **Germinación o establecimiento, Crecimiento Vegetativo, Floración y crecimiento, Fructificación y floración, Cosecha y madurez fisiológica.**

Cultivos anuales con estructuras hipogeas, de acumulación de productos (raíces y tubérculos): En estas especie el proceso de floración no se presenta regularmente y la reproducción es generalmente asexual., se distinguen las siguientes etapas: **Emergencia o establecimiento, crecimiento vegetativo, Formación de cosecha, Madurez fisiológica, Cosecha.**

Cultivos Semipermanentes: Se refiere a plantas de tipo arbustiva o herbácea cuyo ciclo de vida productiva varia entre 1 y 8 años.

Estas especies presentan en sentido general dos agrupaciones:

Cultivos semipermanentes de fructificación continua. Sus etapas son: Establecimiento o fase juvenil, Floración, Fructificación y Floración, Fructificación y cosecha, Senilidad.

Cultivos semipermanentes que producen socas o rebrotes. Sus etapas son: Germinación o establecimiento, Producción de renuevos, Alargamiento del tallo, Formación de cosecha o floración, Maduración, Cosecha.

Cultivos Permanentes: Se refiere especies vegetales de conformación arborea cuyos ciclos de vida productiva alcanzan períodos de tiempos superiores a 8 años. Dichos cultivos una vez que inician el período productivo cumplen anualmente procesos o etapas de crecimiento vegetativo, floración, fructificación y maduración, presentan la siguiente secuencia de períodos en su ciclo de vida:

Establecimiento o fase juvenil, Crecimiento, Producción ascendente Plena Producción, Producción descendentes, Senilidad.

Requerimientos Agroecológicos. Son definidos en los mismos términos en que se expresan las cualidades de la tierra en su evaluación por la metodología de la FAO 1985, en base a lo cual se establecen factores o características edafoclimáticas que individuales o combinadas permiten definir los requerimientos o tolerancia a condiciones ambientales por fases de crecimiento y/o para todo el ciclo de las plantas a varios niveles de abstracción: detallado o puntual, intermedio y general.

En los cuadros siguientes se muestra la relación entre los requerimientos y nivel detalle, los factores considerados y el ciclo o las etapas de crecimiento de las plantas.

REQUERIMIENTO	NIVEL	FACTORES	PER. CREC.	ETA. CREC.	ANUAL	DEPENDIENTES	INDEPENDIENTES
Radiación	General	Radiación Promedio	X		X		
	Intermed	Radiación Promedio	X		X		X
		Longitud del día	X		X		X
		Horas de sol	X		X		X
	Detallad	Radiación Promedio			X		X
		Longitud del día			X		X
		Horas de sol			X		X
Temperatura	General	Medía	X		X		
	Intermed	Medía Máxima	X		X		X
		Medía Mínima	X		X		X
	Detallad	Medía Máxima			X		X
		Medía Mínima			X		X

REQUERIMIENTO	NIVEL	FACTORES	PER.CREC.	ETA. CREC	ANUAL	DEPENDIENTES	INDEPENDIENTE	
Húmedad Edáfica	General	Precipitación caída	X		X			
		Meses húmedos			X	X		
	Intermed	Precipitación efect.	X		X			
		Meses Húmedos			X			
	Detallad	Agua útil		X				
Oxigenación	General	Clase de drenaje						
	Intermed	Clase de drenaje				x		
		Macroporosidad					X	
	Detallad	Clase de drenaje					X	
		Día d sobresaturación			X	X	X	
Nutrientes	General	pH				X		
		Materia Organica				X		
	Intermed	P2 O5 ppm o meq						X
		K2 O " "						X
		Ca O " "						X
		Mg O " "						X
	Detallad	P2 O5 " "						X
		K2 O " "						X
		Ca O " "						X
		mg O " "						X
		Fe " "						X
		Cu " "						X
		Zn " "						X
		B " "						X
Retención de Nutrientes	General	Grupos Texturales 1						
	Intermed	Grupos Texturales 1				X		
		Materia Organica					X	
	Detallad	Grupos Texturales 1					X	
		C.I.C					X	
% Saturación de base						X		
Condición Edáficas Para la Germinación	General	Pendientes				X		
		Grupos Texturales 2				X		
		Pendiente					X	
		Grupos Texturales 2					X	
	Detallad	Grados de plasticidad					X	
		Pendiente					X	
		Indice de encostramen					X	
		Esqueleto Grueso					X	

REQUERIMIENTO	NIVEL	FACTORES	PER.CREC.	ETA. CREC	ANUAL	DEPENDIENTES	INDEPENDIENTE	
Condiciones Edáficas Para el enraizamiento	General	Grupos Texturales 2				X		
		Profundidad efectiva				X		
	Intermed	Grupos de consist. 3				X		
		Profundidad efectiva				X		
	Detallad	Grupos Texturales				X		
		Densidad aparente				X		
Humedad Atmosférica	General	% de humedad relativa	X		X			
	Intermed	% de " " "	X	X				
	Detallad	% de humedad relativa	X		X			
Condic. p/l Maduración	General	Lluvia caída promedio				X		
	Intermed	Lluvia caída				X		
		Amplitud termica					X	
	Detallad	Días o/Lluvia 10 mm					X	
		Amplitud termica					X	
Tolerancia a inundación	General	Intensidad de inund.	X		X		X	
	Intermed	" " " "	X		X			
	Detallad	" " " "		X		X		
Toler. a Condió. Climat.	General	Temperaturas Minimas	X		X		X	
	Intermed	Precipitaciones altas	X		X		X	
	Detallad	Velocidad del viento	X		X		X	
Toler. a Excesos d sales	General	Clases d salinidad ***	X		X			
	Intermed	Conductividad Electric	X		X			
	Detallad	Condiotividad Electric		X				
Tolerancia a contenidos de sodio en el suelo	General	Clases de sodicidad*	X					
	Intermed	% de sodio considerab	X					
	Detallad	% de sodio " "		X				
Tolerancia a elementos Toxicos	General	PH						
	Intermed	Al intercambiables	X				X	
		Mm " " "	X				X	
		Carbonato soluble	X				X	
		Sulfato soluble	X				X	
Tolerancia a elementos Toxicos	Detallad	Al intercambiables		X			X	
		Mm " " "		X			X	
		Carbonatos solubles		X			X	
		Sulfato soluble		X				

(1) Se consideran 3 agrupaciones texturales: 1) a, af, Fa, 2) F, FA, FAa, FL FAL 3) A- Aa-AL

(2) Se consideran las siguientes agrupaciones : a-aF-Fa-F., FA-FAs-Aa., FL- FAc-AL-A.

(3) Se consideran los siguientes grupos de consistencia en humedo: 1) desde sueltos hasta friables 2) de firme a muy firme y 3) extremadamente firme. * Cuando se trata de cultivos permanentes o semipermanentes.

MODELOS O TABLAS DE DECISIONES PARA LA INTERPRETACION DE LOS REQUERIMIENTOS O TOLERANCIA A CONDICIONES AGROECOLOGICAS.

De acuerdo a la naturaleza de los factores considerados, por nivel de detalle se desarrollan un conjunto de tablas para cada requerimiento, donde se establece su grado de apropiabilidad (optimo, bueno, marginal o inadecuado) en base a valores individuales o combinados cuando se trate de dos o mas factores diagnosticos los cuales pueden ser dependientes o independientes; a continuación algunos ejemplos:

1- Requerimiento definido en base a un solo Factor Diagnostico.

Ejm: Oxigenación a nivel general.

Clase	Clase de drenaje de suelo
Optimo	
Bueno	
Marginal	
Inadecuado	

2.- Requerimientos definidos en base a dos ó mas factores independiente.

Ejm: Requerimientos de temperatura por etapa de crecimiento a nivel detallado.

CLASE	Media Minima		Media Maxima	
	Lim. Inf.	Lim. Sup.	Lim. Inf.	Lim. Sup.
Optima				
Buena				
Marginal				
Inadecuado				

3.- Requerimientos definidos por dos o mas factores dependientes

Ejm: Requerimientos de humedad para cultivos permanentes (Nivel General).

Clase	Precipitación caída		No. de Meses húmedos
	Limite Inf.	Limite Sup.	
Optimo			
Bueno			
Marginal			
Inadecuado			

BIBLIOGRAFIA

- Arias, I. Farias, J. y Barreto, L.; Manejo de Pastos Promisorios en el Oriente del Quárico; FONAIAP. Serie A No. 6 1984
- Avilán, L. Leal, F y Batista, D.; Manual de Fruticultura Cultivo y Producción. Editorial America; C.A. 1475 p. 1989.
- Barrios, J.; Caracterización del Cultivo de Ocumo en el área de influencia de la Estación Experimental Samán Mocho. Fac de Agronomía UCV. Trabajo de ascenso 1.990.
- FAO. Las Necesidades de Agua de los Cultivos. Estudio de Riego y Drenaje No. 24. 1977.
- Efecto del agua Sobre el Rendimiento de los cultivos. Estudio de Riego y Drenaje No. 33 1980.
- Directivas de Evaluación de Tierras para la Agricultura de Secano. Boletín de Suelos No. 52 1985.
- Pronósticos Agrometeorológico del Rendimiento de los cultivos. Estudio de Producción y Protección Vegetal No. 73 1988.
- Folquer, F. La Batata (Camote). Estudio de la Planta y su Producción Comercial Edic. Buenos Aires. 144 p. 1978.
- Guzmán, E. y Puerta, M.; Caracterización biométrica de los cultivares de Sorgo granífero en el Nor-Oriente del Quárico. FONAIAP Serie B No. 1-07 1984.
- Igbokwe, M.; Growth an development of *Colonasia* and *Xanthosoma* spp. under upland conditions. In: Proceedings of the Second Triennial Symposium of the International Society for Tropical Root Crops. Cameroon. 1984.
- León, J.; Fundamentos Botánicos de los Cultivos Tropicales. I.I.C.A. San José, Costa Rica. 1988.
- Montaldo, A.; Bibliografía de Raíces y Tubérculos tropicales. Rev. Fac. Agron. (Maracay). Alcance 13. 1967.
- ; Cultivo de raíces y tubérculos tropicales. I.I.C.A. San José, Costa Rica. 1979.
- ; La yuca o mandioca. I.I.C.A. San José, Costa Rica 1979.
- ; Cultivo y mejoramiento de la papa. IICA. San José, Costa Rica. 1984.
- Ovalles, F. y Comerma, J.; Metodología para la selección y caracterización de sitios Experimentales Agropecuarios FONAIAP-CENIAP. Serie B No. 18 1991.
- Sánchez, A. Bascones, L. y Rosales A.; Evaluación de Tierras para el cultivo del naranjo I. Agronomía Tropical 38 (1-3): 85-96 1988.
- Sis C Land Evaluation.; International Trading Centro for postgraduate Soil scientists State Universit y Gent Belgium. 1986.

IV ENCUENTRO NACIONAL DE CLIMA, AGUA Y TIERRA.
IV JORNADAS NACIONALES DE HIDROLOGIA Y CLIMATOLOGIA.

AVANCES EN EL DESARROLLO DEL BANCO DE INFORMACION AGROCLIMATICA
DEL FONAIAP.

Avilán, William y Graterol, Orlando

Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Instituto de
Investigaciones Agrícolas Generales.

INTRODUCCION:

El procesamiento y archivo de los datos meteorológicos es una necesidad inaplazable dentro de la estructura actual del servicio de meteorología.

A medida que aumenta la información meteorológica procedente de las estaciones experimentales del FONAIAP se incrementan los problemas de cómputo y archivo. Dificultades derivadas del manejo manual de esta información han impedido que los datos se procesen en forma adecuada, confiable y oportuna, limitando por tal motivo su utilización. Para superar esta situación, se elaboró un proyecto de servicio a fin de ordenar y confeccionar dicha información en forma automatizada, completa y actualizada en un banco de datos con una configuración de SISTEMA AGROCLIMATICO, como herramienta para atender las necesidades de la investigación agrícola y demás usuarios de dicho sector.

ESTRATEGIAS :

Para lograr los objetivos de organizar el servicio de información meteorológica tendente a mejorar su capacidad de respuesta en cuanto a : A) Disponibilidad de un servicio actualizado de la información agroclimática, B) Suministro rápido, confiable y oportuno de información climática a los investigadores y demás usuarios del sector agropecuario, C) Estudio analítico de los elementos del clima, sus variaciones, anomalías, tendencias, etc., D) Preparación de boletines, reportes, publicaciones periódicas a nivel regional y local, se codificaron las planillas contentivas de la información agroclimática básica a fin de facilitar su transcripción y posterior manejo, en la computadora.

Se desarrollaron un stock de programas en Fortran y Basic e igualmente se utilizaron programas utilitarios del sistema RMSX -11M de la Computadora Digital PDP-11/44 de nuestro centro de cómputo, ahora ejecutables en microcomputadoras. El sistema está configurado en forma modular : MODULO DE CAPTURA Y VALIDACION DE DATOS. Mediante este módulo se ingresan datos climáticos y agroclimáticos de las planillas MGR-1 y MGR-2 provenientes de cada una de las estaciones del FONAIAP. La validación del dato se efectúa determinando si está dentro del rango establecido en cada parámetro. MODULO DE MANTENIMIENTO DE ARCHIVO. Se compone de los siguientes programas : mantenimiento del archivo maestro de estaciones; mantenimiento de la base de datos climatológicos; mantenimiento de la base de datos agroclimatológico y mantenimiento de la base de datos por estación. PROGRAMA DE MANEJO DE ARCHIVOS. Estos programas permiten adicionar, modificar o eliminar registros de los archivos del sistema. MODULO DE EMISION DE REPORTES Y CONSULTAS. Consta de todos los programas que generan los listados del presente sistema de información. ENTRADAS. Todos los datos que se transcriben son diarios, correspondientes a períodos de 24 horas, la entrada de datos y mantenimiento se ejecuta en forma interactiva desde un terminal de video de la planilla MGR -1 y MGR -2. ARCHIVOS : MAESTRO DE ESTACIONES: Contiene toda la información referente a la identificación de cada una de las estaciones. MAESTRO DE DATOS CLIMATOLOGICOS : Contiene las respectivas observaciones diarias registradas en cada estación.

RESULTADOS.

El sistema permite a través de procedimientos simples y lógicos, archivar y localizar la información en forma rápida y confiable, siguiendo las instrucciones para el manejo de los archivos. Está estructurado en forma modular, con funciones específicas en cada módulo, que permite la captura, validación de los datos, emisión de reportes, consultas y mantenimiento de los archivos del sistema. Todos los datos que se transcriben son diarios correspondientes a períodos de 24 horas. La entrada de datos y mantenimiento de archivos se ejecutan en forma interactiva desde un terminal de video. El sistema reporta promedios y totales diarios para todas las variables climáticas y agroclimáticas, decádicos de temperatura máxima y mínima, decádicos de precipitación, probabilidad de precipitación de período variables, promedios y totales mensuales por estación y por año, permite obtener información básica de apoyo a las necesidades de la investigación en el campo agroecológico, recomendaciones importantes a los productores y demás usuarios del sector agropecuario tales como la fecha de siembra o cosecha más convenientes para los cultivos y boletines climatológicos mensuales para cada localidad de gran utilidad en el campo agropecuario. La información climática y Agrometeorológica actualmente disponible en nuestro Banco de Información es la señalada en el CUADRO NRO.2: dirección del viento a las 08: a.m. y 02: p.m., precipitación, evaporación, temperatura máxima y mínima, húmeda relativa, nubosidad, insolación, radiación, temperatura máxima y mínima a 10 cm. sobre el suelo, temperatura en la superficie del suelo, a las 8: a.m. y 2: p.m. a los 2, 5, 10, 20, 50 y 100 cm., recorrido del viento a los 0,5, 2,5, y 10 m. Los cuadros Nros. 3 y 4 muestran a manera de ejemplo, unos de los múltiples reportes que pueden ser procesados por el sistema.

BIBLIOGRAFIA

- BURCH. J., STRATER, F., Sistemas de información. Editorial Limusa
- MINISTERIO DE LA DEFENSA, Servicio de Meteorología. Banco Nacional de Datos Climatológicos. Mimeografiado 17 Pág. 1986.
- S. ATRE, DATA BASE. STRUCTURED TECHNIQUES FOR DESIGN, Performanse, and Management. Jhon Wiley & Sons 1980.
- VICTORIA JUAN, J. Algunas recomendaciones para la Organización del Banco Hidrometeorológico a nivel Nacional. MARNR 1982.

CUADRO 1. Estaciones con información diaria solamente de precipitación, temperatura máxima y mínima para el período señalado.

ESTACION	IDENTIFICACION DEL ARCHIVO	PERIODO	AÑOS
EL TIGRE	PRE8202.DAT	71-83	13
	TMA8202.DAT	71-83	13
	TMI8202.DAT	71-83	13
MARACAY-CENIAP.	PRE2604.DAT	50-83	34
	TMA2604.DAT	61-83	23
	TMI2604.DAT	61-83	23
OCUMARE DE LA COSTA	PRE4701.DAT	51-83	33
	TMA4701.DAT	64-83	20
	TMI4701.DAT	64-83	20
BARINITAS	PRE7402.DAT	61-83	23
	TMA7402.DAT	61-83	23
	TMI7402.DAT	61-83	23
CHIRGUA	PRE2101.DAT	42-83	42
	PRE2901.DAT	40-80	41
	PRE7205.DAT	54-83	30
VALENCIA BANCO DE SAN PEDRO	TMA7502.DAT	54-83	30
	TMI7502.DAT	54-83	30
	PRE7601.DAT	42-83	42
SANARE	PRE2500.DAT	70-83	14
	PRE1301.DAT	63-83	21
	TMA1301.DAT	64-83	20
BOBARE	TMI1301.DAT	64-83	20
	PRE2305.DAT	41-83	43
	TMA2305.DAT	61-82	22
EL CUJI	TMI2305.DAT	61-82	22
	PRE7901.DAT	51-83	33
	PRE1501.DAT	42-80	39
CAUCAGUA	TMA1501.DAT	41-70	30
	TMI1501.DAT	42-70	29
	PRE2001.DAT	50-83	34
MUCUCHIES CARIPE	TMA2001.DAT	61-83	23
	TMI2001.DAT	61-83	23
	PRE6303.DAT	38-83	46
TUREN	PRE0103.DAT	50-83	34
	TMA0103.DAT	60-83	24
	TMI0103.DAT	60-83	24
BRAMON YARITAGUA	PRE6302.DAT	71-83	13
	TMA6302.DAT	74-83	10
	TMI6302.DAT	74-83	10
EL GUAYABO	PRE9102.DAT	73-83	11
	TMA9102.DAT	73-83	11
	TMI9102.DAT	73-83	11
EL LARAL			

CUADRO 2. Estaciones con información climática y/o agroclimáticas para el período 1983 a 1988.

ESTACION	SERIAL	Identificación del Archivo	
		CLIMATICO (1)	AGROCLIMATICO (2)
CENIAP - MARACAY	2604	CL12604.IDX	AGR2604.IDX
BANCO DE SAN PEDRO	7502	CL17502.IDX	AGR7502.IDX
CAUCAGUA	2305	CL12305.IDX	***
BRAMON	6303	CL16303.IDX	AGR6303.IDX
MUCUCHIES	7901	CL17901.IDX	AGR7901.IDX
EL CUJI	1301	CL11301.IDX	AGR1301.IDX
YARITAGUA	0103	CL10103.IDX	AGR0103.IDX
ARAURE	6201	CL16201.IDX	AGR6201.IDX
COLONIA TUREN	2001	CL12001.IDX	AGR2001.IDX
CHIRGUA	2102	CL12102.IDX	***
SANARE	7601	CL17601.IDX	***
QUIBOR-TAMATA	2302	CL12302.IDX	***
BOBARE	2500	CL12500.IDX	***
OCUMARE DE LA COSTA	4701	CL14701.IDX	AGR4701.IDX
EL GUAYABO	6302	CL16303.IDX	***
CABRUTA	6202	CL16202.IDX	***
BARINITAS	7402	CL17402.IDX	***
CIUDAD BOLIVAR	3503	CL13503.IDX	***
PADRON	2308	CL12308.IDX	***
PUEBLO HONDO	2902	CL12902.IDX	***
BAILADORES	2802	CL12802.IDX	***

*** = NO REGISTRA INFORMACION AGROCLIMATICA.

CUADRO 3. Probabilidad de lluvia por décadas en 20 años (1961-1980)
para la Estación MARACAY - CENIAP.

MES	DECADA	LLUVIA MEDIA	< 20MM %	20-40MM %	> 40MM %
ENE	1	1	100	0	0
ENE	2	1	100	0	0
ENE	3	2	95	5	0
FEB	1	1	100	0	0
FEB	2	1	100	0	0
FEB	3	1	100	0	0
MAR	1	1	100	0	0
MAR	2	3	95	5	0
MAR	3	4	90	5	5
ABR	1	2	95	5	0
ABR	2	13	70	25	5
ABR	3	19	65	15	20
MAY	1	33	40	20	40
MAY	2	28	60	20	20
MAY	3	48	35	15	50
JUN	1	54	25	20	55
JUN	2	33	25	50	25
JUN	3	36	40	15	45
JUL	1	36	35	15	50
JUL	2	36	20	50	30
JUL	3	53	20	30	50
AGO	1	49	25	25	50
AGO	2	61	15	20	65
AGO	3	58	15	10	75
SEP	1	52	25	15	60
SEP	2	50	20	25	55
SEP	3	41	25	15	60
OCT	1	51	20	35	45
OCT	2	41	10	50	40
OCT	3	38	25	35	40
NOV	1	30	45	25	30
NOV	2	25	55	20	25
NOV	3	15	65	30	5
DIC	1	17	65	25	10
DIC	2	4	90	10	0
DIC	3	1	100	0	0

CUADRO 4. Resumen climatológico de la Estación MARACAY - CENIAP, correspondiente al mes de Agosto de 1989.

LATITUD : 10-17		LONGITUD: 67-37	ALTURA: 455.
RADIACION DIRECTA Y DIFUSA CAL/CM2.			
TOTAL:	14323.	MEDIA : 462.	
MAXIMA ABSOLUTA	579.	DIA: 29	
MINIMA ABSOLUTA	274.	DIA: 05	
DIAS DESPEJADOS	0.	(1 A 4 OCTAVOS)	
DIAS CON NUBES DISPERSAS	10.	(5 A 7 OCTAVOS)	
DIAS CON CIELO ABIERTO	14.	(8/8 OCTAVOS)	
DIAS CON CIELO CUBIERTO	5.		
TEMPERATURA GRD. C			
MEDIA	25.7	OSCILACION MEDIA: 12.1	
MAXIMA MEDIA	31.7		
MINIMA MEDIA	19.6		
MAXIMA ABSOLUTA	33.2	DIA: 24	
MINIMA ABSOLUTA	18.2	DIA: 14	
PRECIPITACION mm			
TOTAL :	232.6		
MAXIMA EN 24 HORAS:	68.0		
DIAS DE PRECIPITACION =	0.0 mm	0	
DIAS DE PRECIPITACION >=	0.1 mm	20	
DIAS DE PRECIPITACION >=	1.0 mm	18	
DIAS DE PRECIPITACION >=	10.0 mm	6	
DIAS DE PRECIPITACION >=	25.0 mm	2	
DIAS DE PRECIPITACION >=	50.0 mm	1	
DIAS DE PRECIPITACION >=	75.0 mm	0	
DIAS DE PRECIPITACION >=	100.0 mm	0	
EVAPORACION mm (TINA "A")			
TOTAL :	130.6	MEDIA: 4.4	
MAXIMA ABSOLUTA	8.3	DIA: 20	
MINIMA ABSOLUTA	2.2	DIA: 12	
VELOCIDAD MEDIA DEL VIENTO A 0.5 m.:		0.4 Km/h.	
HUMEDAD RELATIVA %			
A LAS 8 AM:	79.5		
A LAS 2 PM:	54.1		
INSOLACION Horas y Décimas			
TOTAL :	200.8	MEDIA: 6.5	
MAXIMA ABSOLUTA	14.6	DIA: 17	
MINIMA ABSOLUTA	1.5	DIA: 26	
VIENTOS			
RECORRIDO DEL VIENTO PROMEDIO A 10 m :		8.9 Km/h.	
VELOCIDAD MEDIA A LAS 8.AM.		0.2	
VELOCIDAD MEDIA A LAS 2.PM.		2.3	
DIRECCION DOMINANTE A LAS 8.AM: SE.		A LAS 2 PM: SW.	
NUBES			
MEDIA A LAS 8.AM.	5.2	OCTAVOS	
MEDIA A LAS 2.PM.	6.1	OCTAVOS.	

IV ENCUENTRO NACIONAL DE CLIMA, AGUA Y TIERRA
IV JORNADAS NACIONALES DE HIDROLOGIA,
METEOROLOGIA Y CLIMATOLOGIA

ZONIFICACION EDAFOCLIMATICA PARA EL ESTABLECIMIENTO
DE CULTIVOS FRUTALES EN EL AREA DE
CIUDAD BOLIVAR Y ALREDEDORES

AUTORES: Geog. Jesús Mendez¹

Ing. Asdrúbal Oliveros¹

¹ C.V.G. TECHIN C.A., Proyecto para el Inventario de los Recursos Naturales de la Región Guayana (PIRNRG). Telf. (085) 25378. Fax (085) 25334. Edif. C.V.G. Av. Germania - Ciudad Bolívar.

INTRODUCCION

Para el mejor aprovechamiento del medio natural de los alrededores de Ciudad Bolívar, con el fin de establecer cultivos frutales, debe disponerse de información adecuada de los parámetros que limitan su potencialidad; básicamente edafoclimáticas. Su estudio y caracterización permitiría planificar un desarrollo frutícola en la zona. En función de lo antes expuesto, este trabajo persigue los siguientes objetivos:

- Elaborar una zonificación edafoclimática del área y determinar las zonas con mayor potencial para la siembra de frutales.
- Analizar las variables climáticas: Precipitación, Evaporación, Temperatura, Humedad relativa y Vientos; y Edáficas: Pendiente, Profundidad, Textura, pH, CIC Y SB (Cuadro 3), más importantes en el establecimiento de estos cultivos.

MATERIALES Y METODOS

Localización Del Area

Comprende el Municipio Autónomo Heres y una pequeña parte del norte del Municipio Autónomo Raúl Leoni, del Estado Bolívar. Geográficamente ocupa las coordenadas 07°25' y 08°22' de latitud norte y los 62°55' y 64°17' de longitud oeste. Abarca una extensión de 6.655 Km².

Materiales

Se utilizó la información climática y de suelos correspondiente a las hojas NC-20-14 y NB-20-02 a escala 1:250.000. Levantadas por C.V.G. TECMIN C.A. los requerimientos, edafoclimáticos fueron tomados del cuadro resumen de "Adaptabilidad Agroecológica de Ciertos Cultivos" (Javier López y FONAIAP, 1982).

Metodología

Para el análisis del clima se utilizó un total de 7 estaciones, de las cuales 5 se localizan dentro del área de estudio. La información climatológica a nivel mensual, abarcó un período de registro de 12 años.

El régimen hídrico fue analizado según la metodología de Thornthwaite, donde no se conocía la temperatura media mensual, ésta se calculó por correlación lineal simple. Se elaboraron balances hídricos mensuales para las estaciones: Ciudad Bolívar, la Hornallita y los Hicoteos, utilizando un almacenamiento de 100 mm. Las características climáticas se resumen en el Cuadro Nº 1.

La metodología utilizada para el estudio de las variables edáficas comprende las siguientes fases:

- Selección y recopilación de la información pre-existente.

- Interpretación de sensores remotos
- Definición de Unidades Cartográficas
- Trabajo de Campo
- Análisis de Laboratorio
- Elaboración de mapas

RESULTADO Y DISCUSION

La precipitación varía desde menos de 800 mm hasta los 1.600 mm, y la evaporación fluctúa desde los 2.400 mm hasta 2.850 mm, lo que origina un periodo de déficit hídrico muy marcado durante el año. Los valores promedios de temperatura, insolación, humedad relativa y viento, están dentro de los límites aceptables para la adaptabilidad de frutales. Los sectores más afectados por baja precipitación y alta evaporación se ubican en la zona de vida bosque muy seco tropical y transición del bosque muy seco tropical con el seco tropical. Los menos afectados se ubican en el bosque seco tropical y transición al bosque húmedo tropical. Allí el periodo de déficit hídrico tiene una duración de 5 meses (noviembre - abril), además existe un periodo de exceso de agua que se prolonga por 4 meses (junio - septiembre).

Los frutales que presentan mayor factibilidad de adaptación, de acuerdo a las variables climáticas son:

sin riego: Mango, Limón, Mercey, Guayaba, Patilla, Melón y Piña.

Con riego: Higo, Lechoza, Aguacate, Mandarina, Naranja, Nispero, Parchita y Vid.

- Las unidades cartográficas con mayor potencial son: UR₂-Pe, UR₁-Pe, UE₁-Pe y URE₂-Lo (Figura 1); ellas sólo presentan limitaciones con relación a baja fertilidad. El resto de las variables edáficas que necesitan los cultivos son adecuadas.
- Las unidades cartográficas UAR₁-Mo, UR₄-Lo, UER₃-Lo, UE₁-Lo, UER₂-Lo, UER₄-Lo, UI₁-PL y TM₁-PL. Presentan limitaciones severas, derivadas esencialmente de: topografía escarpada a muy quebrada, suelos superficiales, superficies muy disectadas, drenaje algo excesivo a pobre, rocosidad media a baja, alto contenido de fragmentos gruesos en el perfil, poca profundidad efectiva de los suelos, suelos fuerte a extremadamente ácidos y baja a muy baja fertilidad natural.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- El régimen pluviométrico es de tipo unimodal, con un promedio anual de 1150 mm y una estación lluviosa que va de mayo a octubre.
- La temperatura media mensual exhibe poca variabilidad temporal y espacial. La insolación es relativamente alta (7,6 horas), la humedad relativa es baja (73%) la velocidad del viento es de 11 km/hora.
- Las bajas precipitaciones y la alta evaporación incide

notablemente en el contenido de agua del suelo, afectando la disponibilidad de agua.

- Al noreste del área hay déficit hídrico durante todo el año, este sector forma parte del bosque muy seco tropical y transición del bosque muy seco al seco tropical allí el período lluvioso óptimo tiene una duración de 3 meses (junio-agosto). El sector localizado al suroeste del área, forma parte del bosque seco tropical y la transición del bosque seco al bosque húmedo tropical, allí el período de déficit hídrico tiene una duración de 5 meses (noviembre-marzo) y el período de exceso tiene una duración de 4 meses (junio-septiembre).
- Los suelos de las unidades cartográficas de la zona de estudio, se caracterizan por presentar una baja fertilidad natural.
- Las unidades cartográficas con menor potencial deben ser destinadas a uso conservacionista. Presentando severas restricciones; tales como: topografía escarpada a muy escarpada, alta susceptibilidad a la erosión, poca profundidad efectiva, baja capacidad de almacenamiento de humedad aprovechable, rápida permeabilidad, bajos a muy bajos niveles de nutrientes, pH fuerte a extremadamente ácido, drenaje algo excesivo a excesivo y localmente problemas de inundación estacional y drenaje.
- Las unidades UR₂-Pe, UR₁-Pe, URE₂-Lo y UE₁-Pl, presentan potencialidad para el cultivo de frutales; siendo ésta moderada, debido básicamente a la combinación de las siguientes características: baja a muy baja fertilidad, pH fuerte a extremadamente ácido, topografía ondulada a muy quebrada, moderada a alta susceptibilidad a la erosión, baja a moderadas proporciones de esqueleto grueso en el perfil, localmente bajas a moderadas proporciones de afloramientos rocosos, drenaje algo excesivo y localmente presencia de áreas depresionales alargadas con problemas de drenaje restringido.

Recomendaciones

- Realizar mediciones lisimétricas para el conocimiento de las cantidades de aguas perdidas por evapotranspiración,
- Realizar estudios del nivel freático y la posibilidad de utilizar las aguas del Orinoco, con fines de riego.
- Se recomienda hacer un estudio de factibilidad económica del cultivo de frutales, relacionándolo con las condiciones edáficas y climáticas de la zona, a mayor escala de detalle (1:25.000).

BIBLIOGRAFIA

- C.V.G. Técnica Minera C.A. (1990). Proyecto Inventario de los Recursos Naturales de la Región Guayana. Informe de Avance, Hojas NC-20-14 y NB-20-2, Clima, Geología, Geomorfología, Suelos, Vegetación.

Tomo I y II. (En publicación).

FONAIP (1982). Algunas Exigencias Agroecológicas en 58 Especies de Cultivo con Potencial de Producción en el Trópico Americano. 195 p.

S.V.C.S. (1984). Normas para la Elaboración y Presentación de Resúmenes y Trabajos. 16 p.

CUADRO 2. CARACTERIZACIÓN HIDRICA DEL AREA EN BASE A LOS BALANCES HIDRICOS

ESTACION REPRESENTATIVA	LOCALIDAD	MESES COM PP) ETP	PERIODO DE EXCESO DE AGUA	PERIODO CON DEFICIT DE AGUA	PERIODO LLUVIOSO DEFICIT = 0 O MENOR DE 5 mm
CIUDAD BOLIVAR	MORSETE DEL AREA	JUNIO Y AGOSTO	NO SE PRESENTAN EXCESOS DE AGUA	SEPTIEMBRE A MAYO, MARZO MES MAS CRITICO DEFICIT SOBREPASA LOS 140 mm.	JUNIO - AGOSTO
LA HORNALLITA Y LOS HICOTEOS	SUR Y OESTE DEL AREA	MAYO - SEPTIEMBRE	COMIENZA EN JUNIO Y FINALIZA EN AGOSTO O SEPTIEMBRE	COMIENZA EN NOVIEMBRE O DICIEMBRE. FINALIZA EN ABRIL. MARZO MES MAS CRITICO. DEFICIT PROMEDIO DE 150 mm.	JUNIO - SEPTIEMBRE

CUADRO 3. VARIABLES EDAFICAS PARA LA ADAPTABILIDAD DE CULTIVOS FRUTALES

FRUTALES	TEXTURA	DRENAJE	FERTILIDAD	PROFUNDIDAD (cm)	PH	OTROS
AGUACATE II	Fa-FR	BUENO	Median. exigentes	Profundos >1.5	4.8-7.5	No tolera salinidad
GRAPEFRUIT II	Fa-F-FA	"	"	>1.2	5.0-7.5	Med. tolerante a salin.
SURABAMA II	F-FA	"	"	>1.0	5.0-7.0	--
GUAYABA I	F-FA	"	"	>1.2	4.3-8.3	--
HIGO II	F-FA	"	"	>1.5	5.5-7.0	--
LICHOTA II	F-FA	"	Exigentes	>0.90	5-8.0	Tolera salinidad
LINON I	F-Fa-FA	"	Median. exigentes	>0.90	5.0-7.5	Med. tolerante a salin.
PANDORINA II	F-Fa-FA	"	"	>1.20	6.0-7.0	Med. tolerante a salin.
PANGO I	F-Fa-FA	"	"	>1.5	5.0-7.0	No tolera salinidad
NELON I	Fa	"	Existentes	--	7-7.5	Susceptible a salinidad
NEREY I	a-Fa-aF	"	No exigentes	>1.5	4.5-6.5	Tolera acidez
NARANJA II	Fa-s-FA	"	Median. exigentes	>1.20	6-7	Med. tolera salinidad y poco tolera acidez
NISPERO II	Fa-FL-FA	"	"	>1.20	5-7.5	cierta toler. salinidad
PANCITA II	F	"	"	--	4.5-7	--
PATILLA I	Fa	"	Exigentes	--	5-6.8	Toler. acidez no alcal.
PINA I	Fa-Fa	"	Median. exigentes	--	4.5-5.5	No tolera salinidad
VIDO II	Fa	"	"	--	5.5-7	Med. toler. alcalinidad

FUENTE: JAVIER LOPEZ S.D. FONAIP 1982.

I SIN RIEGO
II CON RIEGO

CUADRO 1. CARACTERISTICAS CLIMATICAS DEL AREA DE CIUDAD BOLIVAR Y ALREDEDORES

VARIABLES CLIMATICAS	VARIACION TEMPORAL		VARIACION ESPACIAL (AMEOS 2. FIGURAS DEL 1 AL 6)	VALOR PROMEDIO ANUAL
	MESES DE MAXIMOS Y VALOR PROMEDIO	MESES DE MINIMA Y VALOR PROMEDIO		
PRECIPITACION	JULIO - AGOSTO I= DE 120 mm a 236 mm	FEBRERO - MARZO I= DE 7,6 mm a 12,7 mm	LA PRECIPITACION AUMENTA EN SENTIDO NOROESTE DESDE (800 mm. EN LA PARTE NOROESTE DEL AREA (ESTE DE CIUDAD BOLIVAR), HASTA ALCANZAR ALGO >1600 mm EN EL EXTREMO SURESTE DE LA ZONA.	1.150 mm
EVAPORACION AL SOL (TIPO TIPO A)	MARZO Y OCTUBRE I= 322 mm y 244 mm RESPECTIVAMENTE	JUNIO - JULIO Y DICIEMBRE I= 198 mm	LA EVAPORACION MAS ALTA (2950 mm) SE LOCALIZA AL NORTE DE LA HORNALLITA Y AL OESTE DE CIUDAD BOLIVAR. EL VALOR MAS BAJO (2400 mm) SE OBSERVA EN EL EXTREMO ORIENTAL DEL AREA.	2.800 mm
TEMPERATURA MEDIA	ABRIL Y SEPT. - OCTUBRE I= 28°C	JUNIO - JULIO Y DIC. - ENERO I= 27,6°C	LA TEMPERATURA MEDIA EN EL AREA NO PRESENTA UNA MARCADA VARIACION ESPACIAL DEBIDO A QUE EL RELIEVE ES MAS O MENOS UNIFORME. ESTA OSCILA ENTRE 27,8°C Y 26°C.	26°C a 27°C
TEMPERATURA MAXIMA MEDIA	ABRIL Y OCTUBRE I= 35°C y 34°C	JULIO Y DIC. I= 32,6°C		31°C a 33°C
TEMPERATURA MINIMA MEDIA	MAYO Y SEPT. - NOVIEMBRE I= 24,1°C	ENERO - FEBRERO Y JULIO I= 23°C		21°C a 23°C
INSOLACION	SEPT. - NOV. y ENERO - MARZO I= 8,4 HORAS y 8,2 HORAS RESPECTIVAMENTE	JUNIO I= 6,4 HORAS	LOS VALORES DE INSOLACION MAS ALTOS (7.8 HORAS) SE LOCALIZAN HACIA LA PARTE OESTE DEL AREA, ENTRE LA HORNALLITA Y CIUDAD BOLIVAR. LOS VALORES MAS BAJOS (7.2 HORAS) SE OBSERVAN HACIA EL EXTREMO NOROESTE DE LA ZONA.	7.6 HORAS
HUMEDAD RELATIVA	JUNIO - AGOSTO I= 60%	MARZO - ABRIL I= 74%	LA HUMEDAD RELATIVA AUMENTA EN SENTIDO OESTE-ESTE, DESDE 70% EN LA PARTE NOROCCIDENTAL DE LA ZONA, HASTA ALCANZAR 75% EN LA PARTE ORIENTAL DE LA MISMA.	75%
VIENTO 10 m/SUELO	FEBRERO - MARZO I= 15,3 Km/h	SEPTIEMBRE I= 8,4 Km/h		11.3 Km/h DIRECCION PREV. ESTE

IV ENCUENTRO NACIONAL DE CLIMA, AGUA Y TIERRA
IV JORNADAS NACIONALES DE HIDROLOGIA,
METEOROLOGIA Y CLIMATOLOGIA

ANALISIS DE LA DISTRIBUCION DE LA PRECIPITACION
EN EL DELTA DEL ORINOCO UTILIZANDO IMAGENES DE
SATELITE METEOROLOGICO

AUTORES: Ing. Hidromet. Margarita Núñez¹
Geog. Jesús Méndez¹
Ing. Hidromet. María Martínez¹

ASESOR: Ing. Hidromet. Nelson Hernández

¹ C.V.G. TECMIN C.A., Proyecto para el Inventario de los Recursos Naturales de la Región Guayana (PIRNRG). Telf. (085) 25378. Fax (085) 25334. Edif. C.V.G. Av. Germania - Ciudad Bolívar.

I. INTRODUCCION

La Unidad de Hidrometeorología del Proyecto Inventario de CVG-TECMIN, tiene como objetivo el estudio del clima en la Región Guayana.

En vista de la escasez de información climatológica en algunas áreas y la dificultad para trazar las isolíneas, se ha hecho necesario utilizar correlaciones cualitativas, apoyadas en la observación de las imágenes diarias de satélite meteorológico.

El presente trabajo trata sobre la metodología utilizada y los resultados obtenidos en el análisis isoyético de la zona cubierta por las hojas NC-20-11, NC-20-12, NC-20-15 y NC-20-16 a escala 1:250.000, la cual corresponde al Delta del Orinoco y alrededores.

II. OBJETIVOS

- Analizar la distribución espacial de la precipitación en el área del Delta del Orinoco y alrededores utilizando la observación visual de las imágenes de satélite meteorológico y el análisis climatológico convencional.

III. MATERIALES Y METODOS

1. Información Básica Necesaria

Para realizar el objetivo propuesto fue necesario trabajar con la siguiente información básica.

- Mapas cartográficos a escala no menor de 1:500.000 de toda el área de estudio que permita el análisis a macro escala.
- Mapas cartográficos a escala mayor de 1:250.000, con el objeto de verificar las líneas de altura (curvas de nivel) y la exposición de algunos sitios dentro del área de estudio.
- Foto mosaico de radar a escala 1:250.000 de toda el área de estudio.
- Registro de datos de precipitación de todas las estaciones del área a nivel anual y mensual, pertenecientes a MARNR, CVG y FAV.
- Imágenes de Satélite Meteorológico pertenecientes a CVG-EDELCA.

2. Metodología

Los datos de las estaciones fueron sometidos a un chequeo y se determinó el periodo de estudio correspondiente a los años 1974-1985.

En vista de la dificultad para trazar las isolíneas, se utilizó además una correlación cualitativa. Esto consiste en la observación visual de las imágenes diarias obtenidas por los

satélites meteorológicos para determinar las áreas con mayor período de tiempo cubiertas con nubes de gran desarrollo vertical (cumulonimbus), con el fin de precisar el comportamiento espacial de la pluviosidad en la zona.

Las imágenes tomadas desde un satélite artificial se pueden considerar como radiografías de nubes, ya que por medio de una longitud de onda adecuada se puede detectar la radiación emitida por minúsculas gotas de agua y hielo.

En este estudio se utilizaron imágenes en infrarrojo, en las cuales se observa la distribución espacial de la radiación calorífica emitida por los cuerpos. Mientras más caliente está un cuerpo, mayor radiación térmica emitirá, lo cual se relaciona con su temperatura de acuerdo a la ley de Stefan Boltzman $E = \sigma T^4$.

En las imágenes utilizadas existen diferentes tonalidades que van de negro al blanco, pasando por diferentes tonos de grises; el negro corresponde a las temperaturas más elevadas 27°C, 30°C o más y el blanco a temperaturas cercanas a los -80°C, esto corresponde respectivamente a una zona despejada y una zona con nubes de gran desarrollo vertical (cumulonimbus). Esta codificación es arbitraria y se hace relacionando los valores de radiación medidos por el satélite con unos contadores similares a los códigos del ASDC utilizados en computación.

Para este análisis se utilizaron las imágenes tomadas por el GOES (Geostationary y Operational Environmental Satellite), las cuales pertenecen a CVG-EDELCA y corresponden a las imágenes diarias (12:00, 18:00 y 21:00 TG) de los años 81, 82 y 83. El GOES es un satélite estacionario, ubicado a 36.000 Km de altitud, no gira alrededor de la tierra, sino que posee movimientos sincronizados con el planeta (velocidad igual a 11.000 Km/h), su posición es sobre la vertical del ecuador y 100° de longitud oeste; su velocidad angular es de 111 rev./min. y su resolución de 1/2 milla.

El método utilizado se basa en las siguientes hipótesis:

1. La precipitación en el área proviene de nubes del tipo cumulonimbus (convección).
2. Las nubes se desarrollan y precipitan en un período de dos horas aproximadamente (Riehl, 1977).
3. La precipitación en su gran mayoría ocurre durante el día.

De acuerdo a esto se toman los siguientes criterios:

1. La zona que aparezca cubierta durante todo el período, es decir, en las tres imágenes del día, se le asigna un total de diez horas.
2. La zona que aparezca cubierta en dos imágenes consecutivas, se le asignan dos horas de nubosidad más el tiempo entre imagen; esto es semicubierto.

3. La zona que aparezca cubierta en una sola de las tres imágenes del día, se le asignan dos horas de nubosidad; esto es semidespejado.
4. La zona que no aparezca cubierta en ninguna de las tres imágenes del día tiene cero horas de nubosidad; esto es despejado.

Luego se elaboró una malla de 75 puntos que cubría toda el área del Delta, separados uno del otro por una distancia de medio grado. Cada uno de los puntos fue observado en cada una de las imágenes y se sumaron las horas en que aparecía con nubosidad; luego fueron totalizadas las horas de todo el mes y los años para cada punto.

De esta manera se obtuvo el total de horas con nubosidad para cada uno de los 75 puntos, lo que permitió el trazado de las isolíneas respectivas.

IV. RESULTADOS

El área de estudio cubierta por las hojas NC-20-11, NC-20-12, NC-20-15 y NC-20-16 recibe en promedio una precipitación total anual de 1800 mm.

Según el mapa de isoyetas, la mayor pluviosidad de la zona se observa en un centro de 2900 mm localizado en la parte más suroriental del área, a partir de allí la precipitación disminuye hasta los 2100 mm en los alrededores de Río Grande y Brazo Imataca y por debajo de este valor al noreste de Curiapo. Seguidamente se nota un nuevo incremento de la precipitación en dirección norte, localizándose un centro de 2500 mm en los alrededores de San José de Yaruara. Hacia la parte noroccidental del área se observa un centro de unos 2000 mm de precipitación, esto es en los alrededores de la Reserva Forestal de Guarapiche; también existe otro centro (2000 mm) al norte de Sierra Imataca.

Las menores precipitaciones, se observan en el sector occidental del área, específicamente en unos centros de 1000 mm localizados en los alrededores de Tucupita, Los Barrancos y al este de Upata. Un gran centro de baja precipitación (800 mm) se extiende al oeste de Puerto Ordaz.

Según la clasificación climática de Holdridge, el área se encuentra enmarcada principalmente en las zonas de vida Bosque seco Tropical (Bs-T), transición entre el Bosque seco y Bosque húmedo Tropical (T[Bs-Bh]T) y finalmente el Bosque húmedo Tropical (Bh-T).

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. Conclusiones

El mapa de isoyetas obtenido a través de este análisis muestra la posición de los centros de máxima y mínima precipitación en el área

del Delta del Orinoco, lo cual resulta un gran avance en el estudio del comportamiento espacial de la pluviosidad en esta zona, ya que permite conocer la configuración de las isolíneas en un área de escasa información climatológica. Por lo tanto se puede concluir que la metodología utilizada, con todas sus limitaciones, es de gran ayuda en el trazado de las isolíneas.

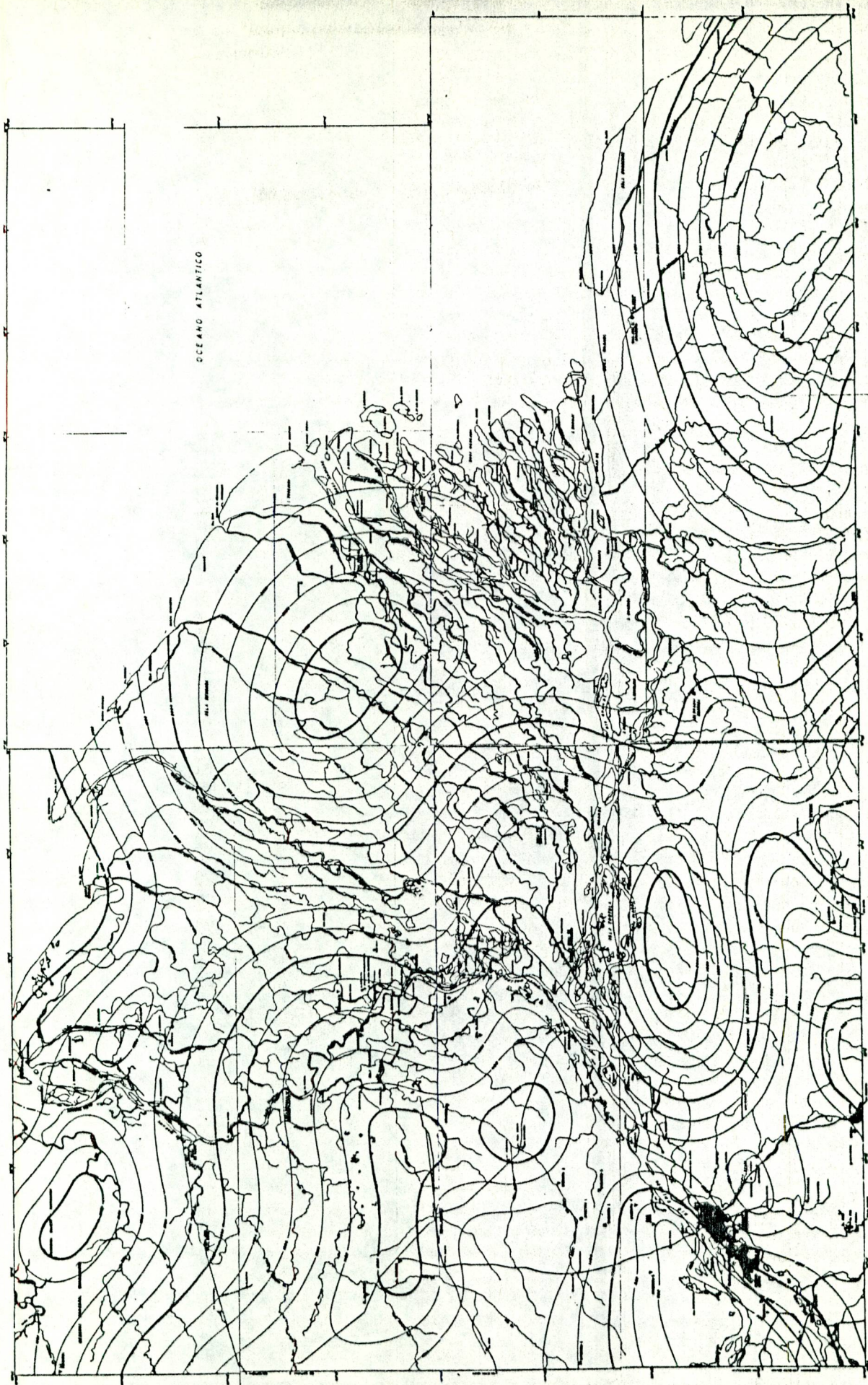
2. Recomendaciones

- Aumentar el número de imágenes recibidas por día.
- Aumentar la resolución de las imágenes a fin de identificar las zonas de sombra, textura y brillantez de las masas nubosas, que podrían indicar valores aproximados de precipitación mediante un algoritmo adecuado.
- Transmitir las imágenes directamente del satélite a un computador que analice las diferentes tonalidades de grises para obtener resultados más satisfactorios.

VI. BIBLIOGRAFIA

- C.V.G. TECHMIN C.A., 1991. Proyecto Inventario de los Recursos Naturales de la Región Guayana. Informe de Avance, Hojas NC-20-11, NC-20-12, NC-20-15 y NC-20-16, Clima, Geología, Geomorfología, Suelos, Vegetación. Tomo I y II. Ciudad Bolívar.
- Lugo Marlina, 1987. Estudio de la Radiación Solar y la Insolación en el Estado Bolívar y el Territorio Federal Amazonas. Tesis Ing. Hidrom. Facultad de Ingeniería. Universidad Central de Venezuela. Caracas.
- Nienwolt S., 1975. Tropical Climatology An Introduction to the Climates of the low Latitudes. Unwim Brothers Limited, The Gresham Press, Old Working, Surrey. Nairobi.
- Noaa. National Oceanic and Atmospheric Administration 1976. Estimation of Daily Precipitation over China and the User Using Satellite Imagery. Ness 81.
- _____ 1977. A Scheme for Estimating Convective Rainfall from Satellite Imagery. Ness 86.

DISTRIBUCION ESPACIAL DE LA PRECIPITACION EN EL DELTA DEL ORINOCO Y SUS ALREDEDORES



IV Encuentro Nacional de Clima, Agua y Tierra
IV Jornadas Nacionales de Hidrología, Meteorología y Climatología

Estudio de la Variabilidad y Distribución de la Precipitación en la Cuenca del Río Caroní.

Ing. Ricardo R. Ponte Ramirez
ULA-Fac. Ciencias Forestales-IGCRN
Geog. Cira E. Brillembourg
Geog. Jorge Camacho

Introducción.

La cuenca del río Caroní ocupa el primer lugar en importancia en cuanto a su potencial hidroeléctrico y el segundo, después del Orinoco, en cuanto a la extensión territorial de su cuenca y a la magnitud de sus caudales, es evidente el papel fundamental que juega la precipitación sobre la región, por lo tanto un estudio de la distribución temporal y espacial de la precipitación es necesario ya que produce notables efectos sobre el medio ambiente, influyendo en los patrones de drenajes naturales, la vegetación, la humedad del suelo y las actividades socioeconómicas del hombre.

Objetivos

Estudiar la variabilidad y distribución de la precipitación en la Cuenca del Río Caroní; determinar zonas homogéneas de precipitación estacional y de períodos secos y lluviosos; determinar los modelos de regresión lineal de temperatura en función de la altitud; y determinar las relaciones existentes entre la precipitación y el viento en la cuenca.

Características Generales del Área de Estudio

El área de estudio esta conformada por la cuenca del río Caroní, situada al Sur de Venezuela, en el Estado Bolívar y formando parte de la cuenca del río Orinoco.

Se localiza entre los $8^{\circ} 40'$ y $3^{\circ} 40'$ de latitud Norte y los $60^{\circ} 20'$ y los $64^{\circ} 10'$ de longitud Oeste, abarca una superficie de 100.120 Km^2 .

El río Caroní vierte en el Orinoco un promedio anual de $1.450.000 \text{ m}^3/\text{km}^2$. El desnivel total desde sus cabeceras hasta su desembocadura se estima en 900 m ; o sea una pendiente media de 64.4 m por Km de recorrido.

Nace en la frontera con Brasil, en las vertientes septentrionales de la Sierra de Pacarima, cerca de Santa Elena de Uairén. De allí corre consistentemente hacia el Noreste hasta su confluencia con

el Cuquemán. El río Caroní discurre sobre un lecho rocoso, que a veces presenta considerable anchura, en tanto que otras veces se estrecha hasta casi formar gargantas o represas. Sus principales afluentes son: El Paragua, Carrao, Cuquenán, Aponguao, Arauriquen, Icabarú, etc.

La cuenca del río Caroní esta orientada hacia el norte, privilegiada por encontrarse al Este del Continente y está influenciada por los vientos alisios del Noreste y del Sureste. Esto explica el hecho de que se suceden grandes diferencias en el caudal que lo hacen ser el primer afluente del Orinoco.

La totalidad de esta gran región se halla plenamente ubicada en la zona tropical, bajo la influencia de la Convergencia Intertropical (ZCIT), además de los factores climáticos y geográficos como son: la topografía, masas de aire Ecuatorial Continental (Ec) y masas de aire Tropical Continental (Tc).

Metodología

A fin de cumplir con los objetivos propuestos, se establecieron una serie de pasos metodológicos (fig.3.1), para definir algunos parámetros del clima a través de la aplicación de ciertas técnicas como:

El Método Isopercentual, el cual es utilizado por ser una región donde la precipitación es controlada por la topografía. Se fundamenta en que mientras la topografía suele alterar la cantidad de lluvia observada en cualquier lugar, el mecanismo causante de la precipitación podría producir una distribución temporal, tal que, un porcentaje uniforme podría ser observado dentro de la región que esta siendo influenciada (Ponte, 1976).

La aplicación de este método permitió definir áreas homogéneas de precipitación estacional y estaciones seca y lluviosa para estudiar la distribución espacial y temporal de la precipitación en el área. Las regiones homogéneas de precipitación fueron determinadas por estaciones con códigos idénticos. Debe considerarse que el proceso de redondeo, resulta en algunos casos, un cambio pequeño de los datos entre el mapa estacional y el zonificado, por lo tanto, un 4 ó 5 % en el mapa estacional podría aparecer como cero en el mapa codificado. Se definieron 5 regiones homogéneas, lo cual indica que la precipitación no presenta una distribución uniforme, sino que varia espacial y temporalmente (mapas 8 y 9).

Meses de Máxima y Mínima Precipitación

Esta técnica se utiliza para determinar, a partir de las medias mensuales de precipitación, áreas homogéneas con respecto a la ocurrencia de máxima y mínima precipitación. Para ello, se tomaron las tres medias mensuales consecutivas con el total de precipitación más elevado considerando el mes del medio como el de máxima precipitación. Se aplicó el mismo procedimiento para determinar el mes más seco. Después de seleccionar las estaciones con el mismo mes de máximo o mínima precipitación media mensual se realizaron mapas para delimitar regiones homogéneas de precipitación. (mapas 10, 11 y 12).

Relación de la Precipitación Media Anual y la Altitud

En los trópicos es característica general el incremento de la precipitación hasta una cierta altitud. En la cuenca del río Caroní, al pretender obtener una correlación entre la precipitación y la altitud nos encontramos con un coeficiente de correlación bastante bajo ($r = 0.016$), indicando que la correlación entre ambas variables es baja. Por lo tanto, mediante la elaboración del gráfico 4.1 se trata de explicar la relación existente entre la precipitación y la altura, a lo largo de valles y redes hidrográficas.

Distribución Espacial y Temporal de la Temperatura

Al aplicar los métodos del gradiente altotérmico (tabla 4.5) y regresión lineal (tabla 4.6), observamos que existe muy poca variación en las temperaturas medias calculadas por ambos métodos, sin embargo, al seleccionar tres estaciones pilotos (Las Babas, Caroní y Kanavayen) con sus respectivos registros de temperatura media para el período 1959 - 1989, el método de regresión lineal es el que produjo los resultados más parecidos a los observados, por lo tanto se seleccionó como el más adecuado.

Influencia de la Circulación de los Vientos para la estación lluviosa y seca.

La circulación general de los vientos, es tal vez, el elemento más importante como factor definitorio y regulador de las características del tiempo y del clima regional.

Para explicar su influencia de manera muy general se elaboraron gráficos compuestos por la velocidad de los vientos, dirección prevaleciente y nubosidad, promedios mensuales de precipitación para las estaciones seca y lluviosa (figuras 4.4 y 4.5).

Las figuras 4.4 y 4.5 tratan de mostrar de una manera sencilla la influencia que tiene la ZCIT como responsable principal de las lluvias en Venezuela y sobre todo en esta región del país.

La figura 4.4 muestra para la estación seca (diciembre a marzo) el predominio de los vientos alisios del ENE debido al desplazamiento hacia el Sur de la ZCIT y la intensificación y avance del centro de Alta Presión de las Azores. Se observa una disminución gradual de las precipitaciones en todas las estaciones durante los meses de diciembre, enero y febrero, salvo para el mes de marzo, donde las estaciones Kanavayen y Urimán comienzan a ser influenciadas por la ZCIT en su movimiento migratorio hacia el Norte señalando la entrada de la estación lluviosa en la región.

La figura 4.5 muestra para la estación lluviosa (abril - noviembre) la influencia de la ZCIT sobre el área en su movimiento hacia el Norte. Se nota un cambio en la dirección y velocidad de los vientos prevalecientes (componente Sur); la nubosidad se incrementa y la precipitación va en aumento.

Durante la estación lluviosa la masa de aire ecuatorial continental (Ec) acompaña a la ZCIT en su recorrido sobre el área siendo responsable del 80 % de las lluvias caídas en esta parte del territorio venezolano.

Para el mes de julio la ZCIT se sitúa cerca del paralelo 5 Norte influenciando de esta manera la parte media y alta de la cuenca del río Caroní.

A partir del mes de septiembre comienza la ZCIT a moverse lentamente hacia el Sur, para el mes de febrero se encuentra cerca del paralelo 10 Sur. Las precipitaciones a partir del mes de septiembre comienzan a disminuir gradualmente hasta noviembre ya que para diciembre se vuelve a observar el cambio de dirección y velocidad de los vientos de componente Sur a ENE dando inicio a la estación seca.

Caracterización Climatológica de los regímenes de precipitación y Temperatura.

La cuenca del río Caroní se caracteriza por presentar un régimen de precipitación ecuatorial de acuerdo a Strahler (1981), con gran uniformidad de las temperaturas medias mensuales y una variación marcada en la precipitación.

Bibliografía.

Andressen, R. y Ponte R., R.R., Climatología e Hidrología. Estudio Integral de los Ríos Chama y Capazón. Subproyecto No 11. Universidad de Los Andes, Fac. Ciencias Forestales, Instituto de Geografía y Conservación de Recursos Naturales, Mérida, 1973, 112 pp.

Golbrunner, A.W., Las Causas Meteorológicas de las Lluvias de Extraordinaria Magnitud en Venezuela, Ministerio de la Defensa, Servicio de Meteorología y Comunicaciones, Caracas, 1963, 359 pp.

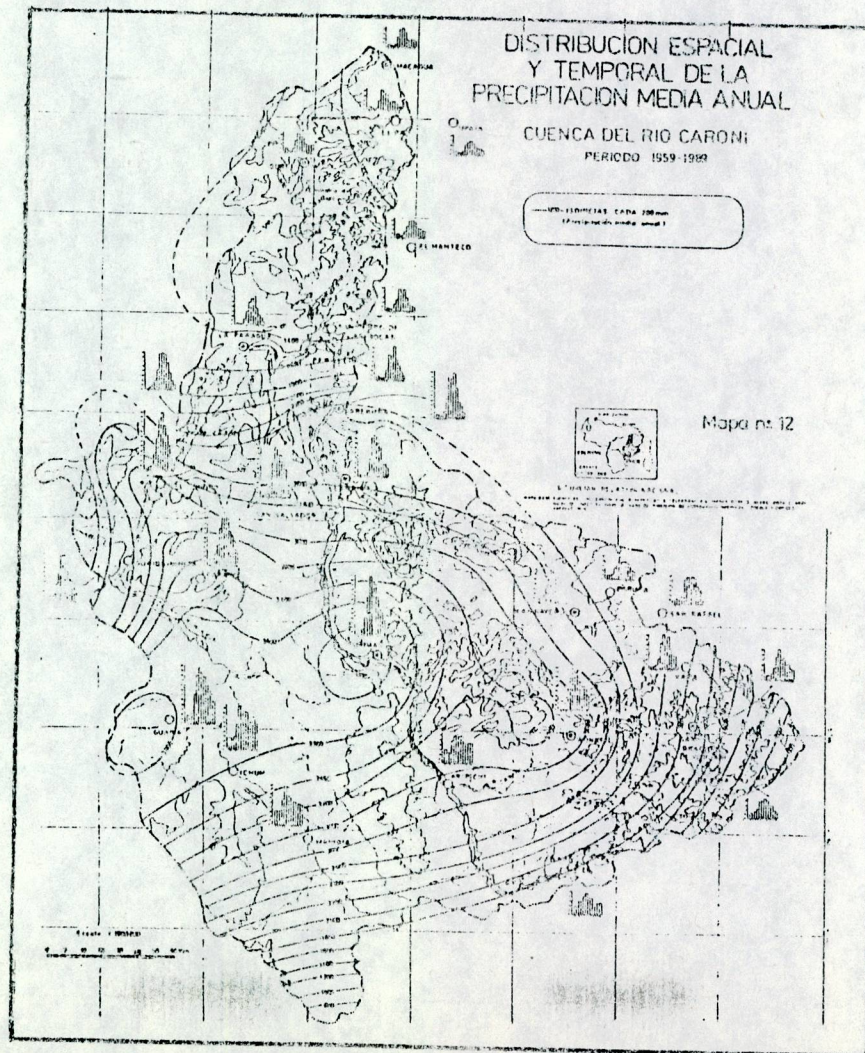
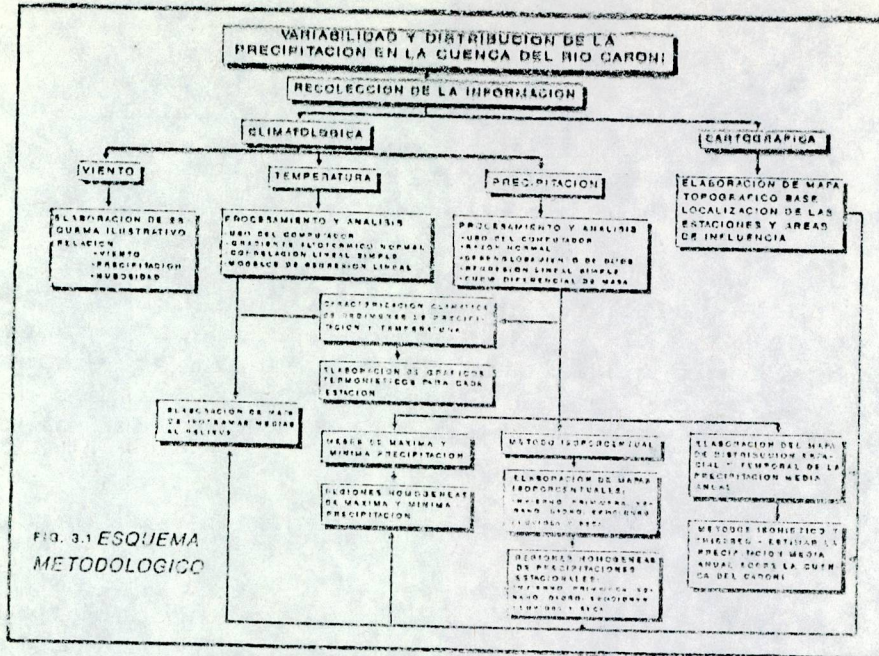
Perdomo, E. J., Caracterización de la Precipitación en la Cuenca del Río Caroní Período 1976 - 1985, C.V.G., EDELCA, Pto. Ordaz, 1985, 21 pp.

Ponte R., R. R., Investigación de la variabilidad y Distribución de la Precipitación en la Cuenca de los Ríos Chama y Mocotíes. Estado Mérida-Venezuela, ULA, Fac. Ciencias Forestales, Instituto de Geografía y Conservación de Recursos Naturales, Trabajo de Ascenso, Mérida, 1976, 44 pp.

Rabinovich, J., Modelo Buri. Análisis de un Conflicto de Intereses en el Uso de Recursos Naturales en una Cuenca Tropical, IVIC, Centro de Ecología, Caracas, 1977, 231 pp.

Rojas, L., Estudio Preliminar de los Aspectos Físicos de la Cuenca del Río Caroní, U.C.V., Escuela de Geografía, Caracas, 1974, 107 pp.

Strahler, A., Geografía Física, Ediciones Omega s. a., Barcelona, España, 1977, 721 pp.

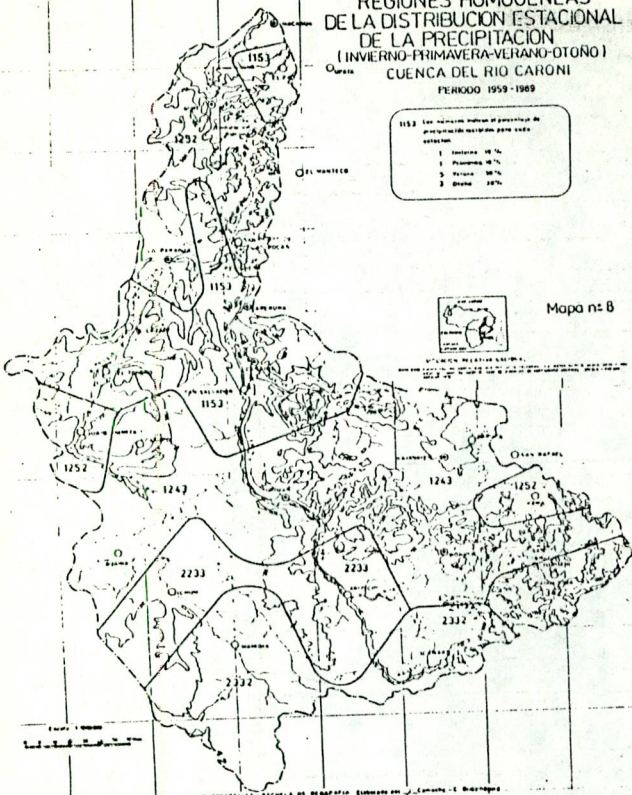


REGIONES HOMOGENEAS DE LA DISTRIBUCION ESTACIONAL DE LA PRECIPITACION (INVIERNO-PRIMAVERA-VERANO-OTOÑO) CUENCA DEL RIO CARONI PERIODO 1959-1969

1153 Las isohietas indican la precipitación de precipitación mensual para cada estación:

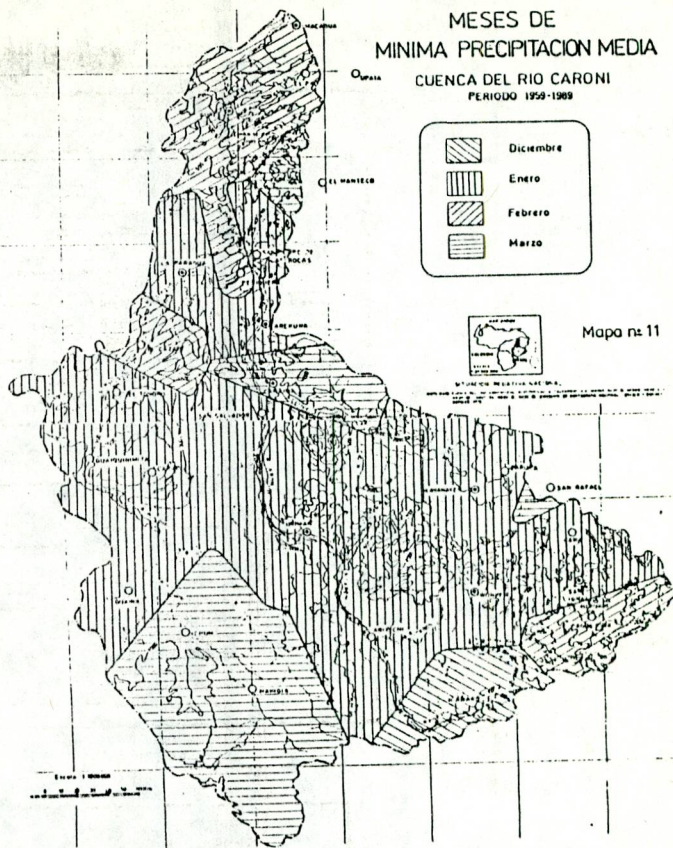
- 1 Invierno 40 %
- 2 Primavera 30 %
- 3 Verano 20 %
- 4 Otoño 10 %

Mapa n° 8



MESES DE MINIMA PRECIPITACION MEDIA CUENCA DEL RIO CARONI PERIODO 1959-1969

Mapa n° 11

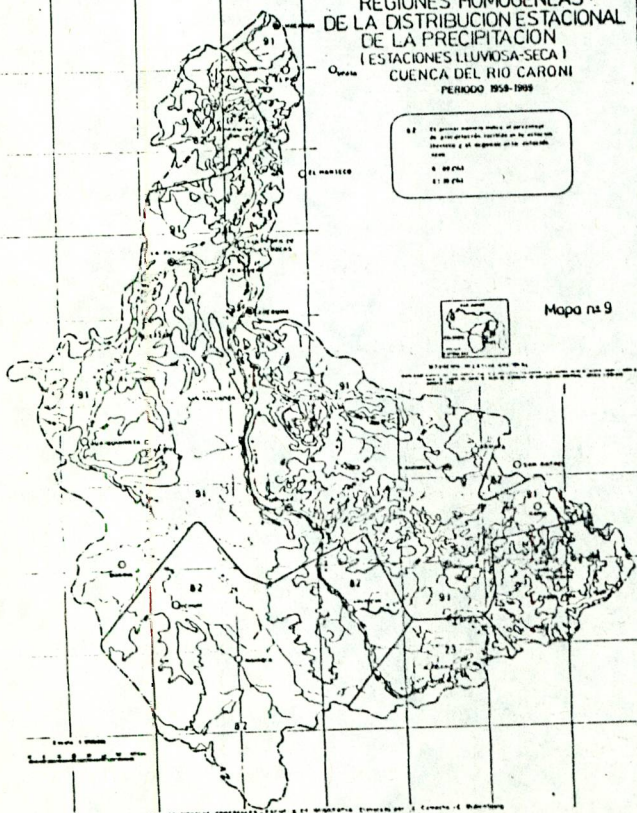


REGIONES HOMOGENEAS DE LA DISTRIBUCION ESTACIONAL DE LA PRECIPITACION (ESTACIONES LUVIOSA-SECA) CUENCA DEL RIO CARONI PERIODO 1959-1969

82 El porcentaje indica el número de días con precipitación superior a 2.5 mm en las estaciones lluviosas y el porcentaje de los días con precipitación inferior a 2.5 mm en las estaciones secas:

- 1 80 %
- 2 80 %

Mapa n° 9



MESES DE MAXIMA PRECIPITACION MEDIA CUENCA DEL RIO CARONI PERIODO 1959-1969

Mapa n° 10

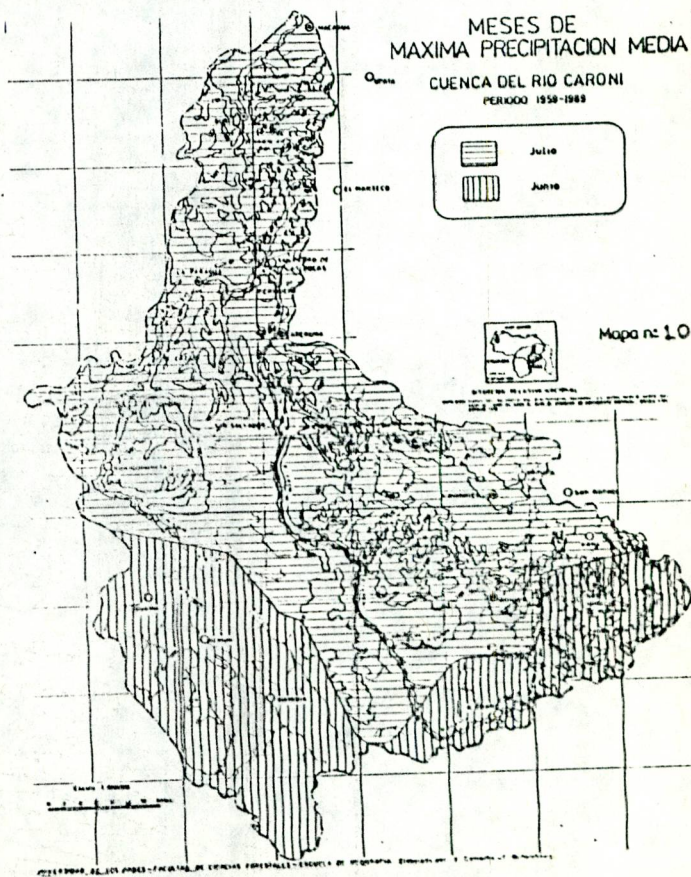


Fig. 47 PRECIPITACION MEDIA MENSUAL, VIENTOS-DIRECCION, NUBOSIDAD PARA LA ESTACION SECA.

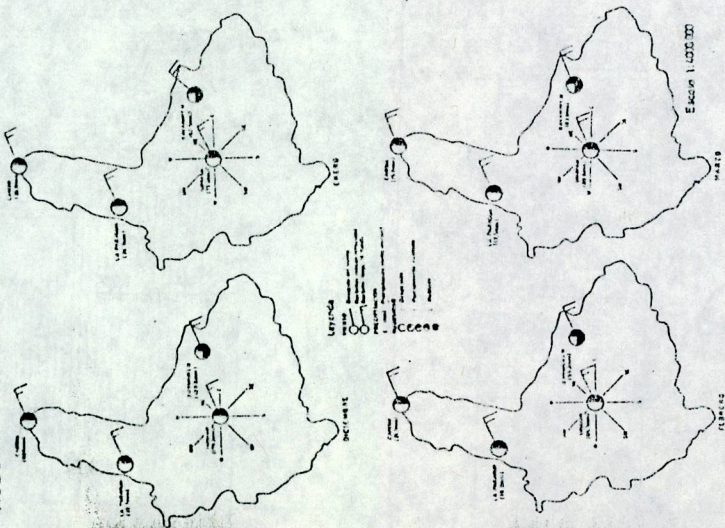
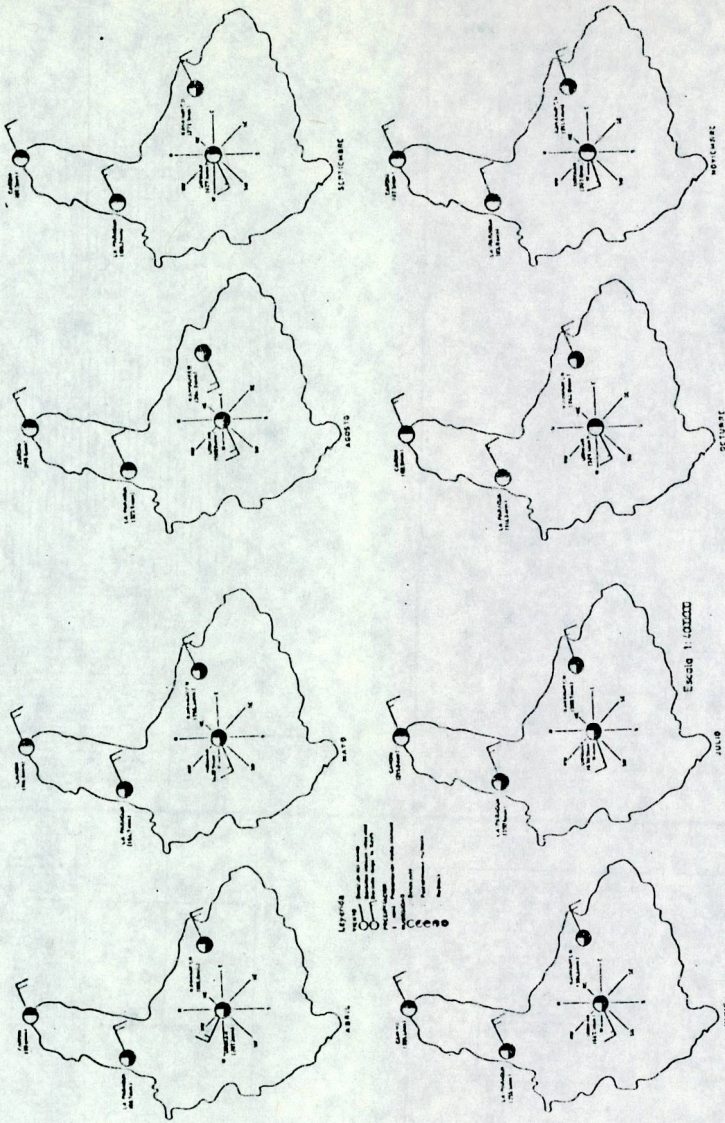


Fig. 45 PRECIPITACION MEDIA MENSUAL, VIENTOS-DIRECCION, NUBOSIDAD PARA LA ESTACION LLUVIOSA.



IV ENCUENTRO NACIONAL SOBRE CLIMA, AGUA Y TIERRA

Círculo de las Fuerzas Armadas,
Caracas, 23-26 de Marzo de 1992

IV JORNADAS NACIONALES DE HIDROLOGIA,
METEOROLOGIA Y CLIMATOLOGIA

Tema General: ¿Qué pasará con los Recursos Clima,
Agua y Tierra en el siglo XXI?

Tema Específico: Perspectivas de los Recursos Clima,
Agua y Tierra para el siglo XXI

CAMBIOS CLIMATICOS POR EFECTO INVERNADERO O DEFORESTACION
Y BALANCE HIDRICO EN LA ESTACION BARINAS-AEROPUERTO

Carlos Maytín
Proyecto PAN-EARTH, Caso de Estudio Venezuela

Rigoberto Andressen
Centro de Estudios Avanzados del Clima Tropical (CEACT)

Militza Rodríguez
Proyecto PAN-EARTH, Caso de Estudio Venezuela

INTRODUCCION. Según la Organización Meteorológica Mundial (OMM, 1989) la concentración atmosférica de CO_2 se puede duplicar respecto a los niveles actuales aproximadamente para el año 2030, de continuar el aumento observado de este gas en las últimas décadas, lo que generaría cambios climáticos globales a causa del efecto invernadero. Por otra parte, simulaciones con modelos de circulación general de la atmósfera realizadas por Sulla et al. (1990), sugieren que si se eliminan extensiones importantes de los bosques amazónicos también podría ocurrir un cambio climático, especialmente en la zona intertropical. De esta forma, de producirse cambios de clima que afecten nuestro país, es probable que se modifique el balance hídrico en algunas áreas, impactando algunas actividades de interés estratégico como la agricultura, la navegación fluvial, la generación de hidroelectricidad, etc. En este sentido, el objetivo principal de nuestro trabajo es tratar de evaluar, por lo menos en forma aproximada, posibles respuestas del balance hídrico en sectores agrícolas de importancia en nuestro país ante varios escenarios de cambios climáticos futuros.

METODOLOGIA. En principio sólo se ha seleccionado como Área de estudio a tierras agropecuarias cercanas a la ciudad de Barinas, con suelos que tienen una reserva de agua útil (RAU) que puede variar entre 100 y 150 mm. hasta un metro profundidad, valores utilizados para el cálculo de los balances hídricos de la estación Barinas-aeropuerto (MARNR, lapso 1975-89). Para calcular la ETP se utilizó el sistema Thornthwaite (1948), ya que para ello en esencia sólo se requiere de promedios mensuales de temperatura, variables con la que se han desarrollado hasta ahora los escenarios de cambios climáticos que consideramos más confiables. Escenarios de cambios climáticos basados en radiación solar, velocidad del viento y déficits de saturación, que podrían permitirnos estimaciones más precisas de la ETP, no están aún disponibles.

Para simular los efectos de posibles cambios climáticos futuros en el balance hídrico, se modificaron los promedios mensuales de temperatura (ETP) y precipitación (P) de la estación Barinas-aeropuerto, de acuerdo a los siguientes escenarios: Efecto Invernadero: $dT = +1, +2$ y $+3$ °C; $dT = 2$ °C y $dP = 20\%$; $dT = 3$ °C y $dP = 40\%$ Deforestación: $dT = +2$ °C y $dP = -20\%$; $dT = +3$ °C y $dP = -25\%$.

RESULTADOS (fig. 1, RAU = 100 mm.; fig. 2, RAU = 150 mm.)

a) Impacto de Cambios Climáticos por Efecto Invernadero

Los incrementos térmicos de 1, 2 y 3 °C aumentan la ETP anual desde 1596.9 mm. (clima actual) a 1743.3 (9.1%), 1840.7 (15.2%) y 1939.1 mm. (21.42%) respectivamente, lo que significa mayores deficiencias de agua (mayor

necesidad de riego si se quiere cultivar) en los meses de la época seca (diciembre a marzo en suelos con RAU = 100 mm., y de enero a marzo en suelos con RAU = 150 mm.). Inclusive, en los suelos con RAU = 150 mm. el sólo aumento de 1 °C en la temperatura haría que tales deficiencias se presenten a partir del mes de diciembre y no desde enero como en el clima actual. En específico, para suelos con RAU = 100 mm. los incrementos de 1, 2 y 3 °C aumentan los déficits desde 415.3 mm. (clima actual) hasta 457.0 (10.03%), 495.0 (19.18%) y 524.7 mm. (26.32%) respectivamente. Por otra parte, un aumento de la ETP a causa de incrementos térmicos iguales o mayores de 2 °C alarga el tiempo de recarga en suelos con RAU = 100 mm., extendiéndolo hasta el mes de junio (en el clima actual la reserva se llena en mayo); de igual manera, los excesos de agua comenzarían en junio en vez de mayo, aparte de ser menores. Esto último también sucede en los suelos con RAU = 150 mm., aunque hay que tomar en cuenta que una mayor RAU de por sí contribuye a atenuar los excesos de agua, aún si no se producen cambios climáticos. La disminución de excesos en suelos con RAU = 100 mm. iría desde 450.1 mm. (clima actual), hasta 331.5 (-26.34%), 269.9 (-40%) y 203.4 mm. (-54.8%) para aumentos de temperatura de 1, 2 y 3 °C respectivamente, mientras que para RAU = 150 mm. dicha disminución iría desde 386.2 mm. (clima actual), hasta 281.5 (-27.1%), 219.9 (-43%) y 138.5 mm. (-64.1%). En general, los incrementos térmicos de 2 o 3 °C hacen variar el tipo agroclimático en el área de estudio desde Subhúmedo (C2) a Seco subhúmedo (C1), independientemente de la RAU seleccionada.

Un $dP = +20\%$ aumenta los excesos de agua a pesar de que se combine con un $dT = +2$ °C, especialmente en suelos con RAU = 100 mm.. Lo mismo puede decirse si se combina un $dP = +40\%$ con un $dT = +3$ °C, pero debiéndose destacar ahora un cambio de agroclima hacia un tipo Húmedo (B1). El aumento de los excesos va desde 450.1 mm. (clima actual) hasta 777.4 (73.18%) y 777.4 mm. (73.18%) con RAU = 100 mm., y desde 386.2 mm. (clima actual) hasta 506.2 (31.1%) y 725 mm. (87.7%) con RAU = 150 mm. Los aumentos de precipitación propuestos no impiden que se incrementen las deficiencias de agua si al mismo tiempo aumenta la temperatura y en consecuencia la ETP, aunque comparando con escenarios que sólo contemplan cambios térmicos, las deficiencias son menores a causa de la mayor pluviosidad.

b) Impacto de Cambios Climáticos debido a Deforestación

Un $dT = +2$ °C combinado $dP = -20\%$ aumenta las deficiencias de agua en suelos con RAU = 100 mm. desde 415.5 mm. (clima actual) a 566.2 mm. (36.26%), al tiempo que disminuyen drásticamente los excesos desde 450.1 mm. (clima actual) a sólo 17.6 mm. (-73.64%). Esto cambia el agroclima a un tipo Seco subhúmedo (C1); además, el 50% de

la reserva de agua, que se considera un límite adecuado para sembrar, no se lograría en el mes de mayo como en el clima actual sino en el mes de junio. Por otra parte, un $dT = +3$ °C combinado con $dP = -25\%$ aumentaría los déficits a 725.3 mm. (74.54%) y haría que no se produzcan excesos de agua. El tipo agroclimático resultante en este caso sería Semiárido (D), sin que en ningún mes se llegue a un 50% de RAU, disminuyendo en consecuencia las posibilidades de siembra a menos que se riegue. Para suelos con RAU = 150 mm. un $dT = +2$ °C combinado con $dP = -20\%$ aumenta las deficiencias de agua desde 365.4 mm. (clima actual) hasta 346.6 mm. (49.6%), comenzando éstas desde diciembre, en vez de enero como en el clima actual. Por otra parte, no se producen excesos de agua resultando un agroclima de tipo Seco subhúmedo (C1). Así mismo, si $dT = +3$ °C y $dP = -25\%$ los déficits de agua comenzarían en noviembre y casi se duplican respecto al clima actual, alcanzando unos 720.3 mm (97.14%). Esto, junto a la no existencia de excesos, genera un agroclima Semiárido (D).

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES: dT mayores o iguales a 2 °C varían el agroclima de la estación seleccionada desde Subhúmedo (clima actual) a Seco Subhúmedo, ya que aumentan los déficits y disminuyen los excesos. Esas deficiencias disminuirían si aumenta la precipitación, destacándose que aún con $dt = +3$ °C el agroclima pasaría a Húmedo si $dP = +40\%$. En caso de que se produzca un $dt = +2$ °C combinado con un $dP = -20\%$ el agroclima pasaría a tipo Seco subhúmedo, mientras que el agroclima sería semiárido si $dt = +3$ °C y $dp = -40\%$. Como vemos, la mayoría de los escenarios de cambios climáticos evaluados causan un impacto de importancia en el balance hídrico de los suelos cercanos a la estación Barinas-aeropuerto, lo que implicaría la necesidad de desarrollar estrategias que minimicen los posibles impactos negativos (deficiencias o excesos de agua en cultivos sensibles a estos problemas) o maximizar algunos impactos positivos (almacenar los excesos para ser utilizados en la época seca, etc). Se recomienda aplicar este tipo de enfoque a otras áreas del país, mientras se desarrollan escenarios de cambios climáticos más refinados para calcular la ETP en base a radiación, velocidad del viento y déficit de saturación.

BIBLIOGRAFIA:

- Organización Meteorológica Mundial (OMM), Fondo Especial para los Estudios sobre el Clima y el Medio Ambiente Atmosférico, 1989, Hoja Informativa No. 4.
- Shulja, J., Nobre, C., and Sellers, P., 1990: Amazon Deforestation and Climate Change, *Science*, 247, 1332-1325.
- Thornthwaite, C. W. 1948: An Approach Toward a Rational Classification of Climate. *Geogr. Rev.*, 38 (1), 55-94.

FIG. 1 IMPACTO DE CAMBIOS CLIMATICOS POR EFECTO INVERNADERO O DEFORESTACION EN EL BALANCE HIDRICO (THORNTHWAITE) DE LA ESTACION BARINAS. RESERVA DE AGUA 100 mm.

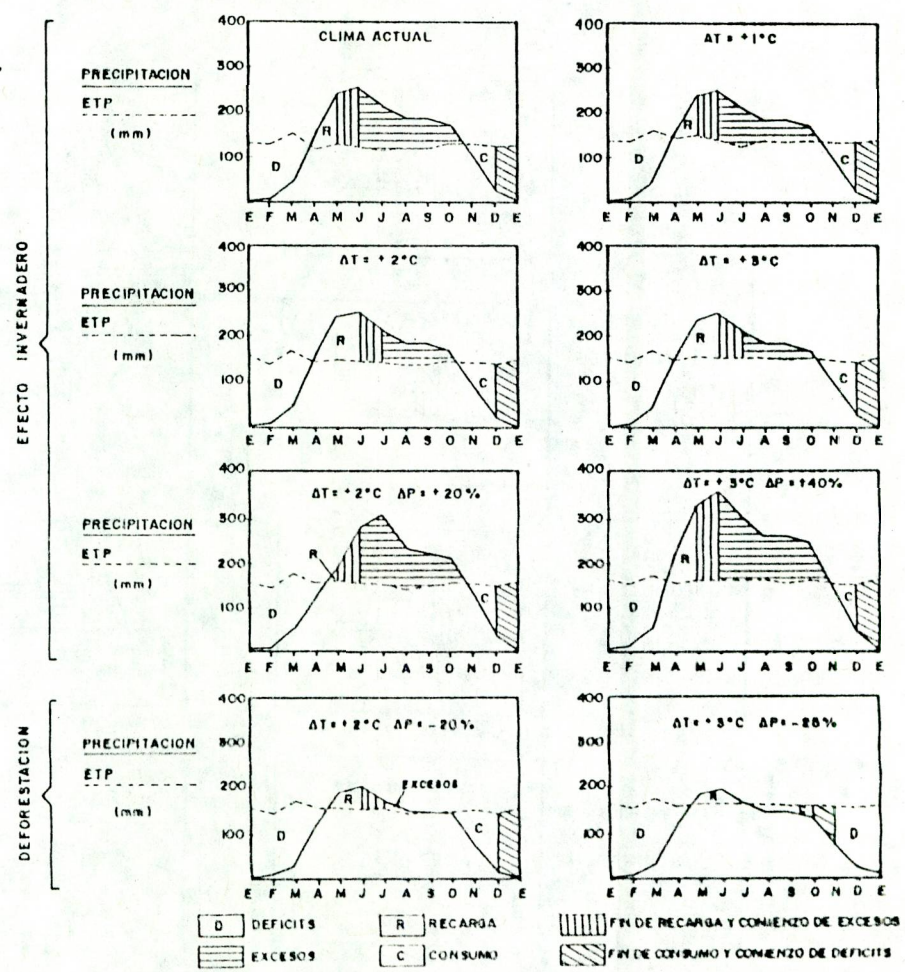
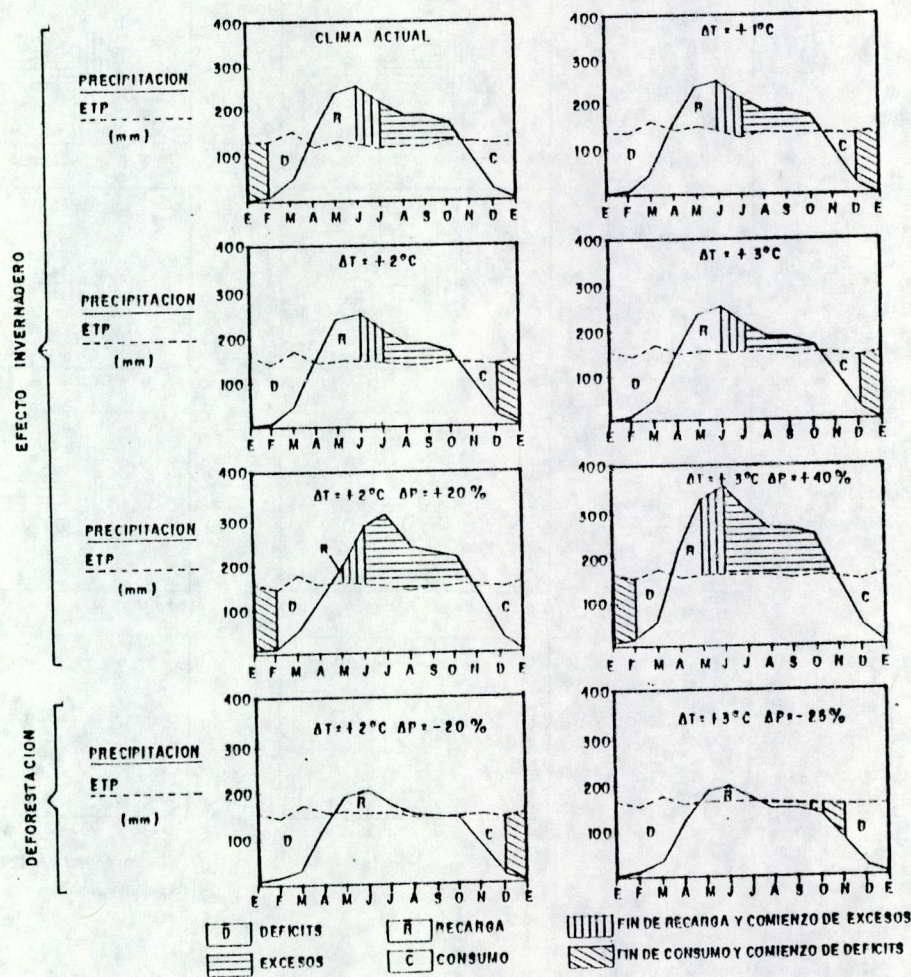


FIG. 2 IMPACTO DE CAMBIOS CLIMATICOS POR EFECTO INVERNADERO O DEFORESTACION EN EL BALANCE HIDRICO (THORNTHWAITE) DE LA ESTACION BARINAS. RESERVA DE AGUA = 150 mm.



IV ENCUENTRO NACIONAL DE CLIMA, AGUA Y TIERRA

IV JORNADAS NACIONALES DE HIDROLOGIA,
METEOROLOGIA Y CLIMATOLOGIA

TEMA 1.2 : MANEJO Y APLICACION DE DATOS NO TRADICIONALES

DETERMINACION DE LA PROFUNDIDAD OPTICA DE AEROSOL
EN UNA ATMOSFERA MARINA DE LATITUD TROPICAL

Cesar O. Noguera D.

Ministerio del Ambiente y de
los Recursos Naturales Renovables
Direccion de Hidrologia y Meteorologia
Division de Estudios e Investigacion

1. INTRODUCCION

La extinción de la radiación solar en su paso a través de la atmósfera, depende primordialmente de tres procesos físicos, la disminución del coeficiente a de Rayleigh por dispersión en atmósferas puras, la atenuación del coeficiente a_p por dispersión en atmósferas cargadas de "polvo" (aerosoles) y la extinción del coeficiente a_w , el cual representa absorción, principalmente w por vapor de agua.

Los aerosoles atmosféricos son de crucial importancia en los cálculos de transferencia radiativa, al igual que las nubes constituyen un elemento de suma relevancia (aún por entender), en los modelos numéricos para la simulación de la dinámica de la atmósfera.

Desde un punto de vista histórico, como lo expone Robinson (1966), la intensidad del haz de radiación directa transmitido a través de la atmósfera, ha sido medido por muchos años por el Instituto Smithsonian (USA) y otras instituciones en diferentes partes del mundo; pero una de las principales aplicaciones de este tipo de componente ha sido en la determinación de la profundidad óptica atmosférica (AOD), la cual fué desarrollada inicialmente en 1980 por Davies y Hay. Cuatro años después, Hay y Darby utilizan este factor para estimar la influencia que tuvo en Vancouver (B.C., Canada), la capa de aerosoles originada por la erupción volcánica en 1982 de El Chichón (México). Los resultados obtenidos indicaron que una erupción volcánica en el trópico, de significativa magnitud, condujo subsecuentemente a una considerable perturbación en los regimenes de radiación solar y de la profundidad óptica de aerosoles en latitudes medias del hemisferio norte.

Uno de los principales problemas que hasta el presente no ha sido esclarecido es la evaluación precisa de la distribución de la energía radiante en la atmósfera, es decir las fracciones de conversión de onda corta a onda larga etc. Esta situación obviamente conlleva a plantear interrogantes en los procesos de calentamiento de la atmósfera, estrechamente relacionado con la variabilidad del clima tanto local como regional.

En tal sentido, el presente trabajo muestra el grado de variabilidad horaria de los aerosoles presentes en la zona de El Yaque (Margarita), obtenidos con datos de radiación solar directa de sensores perfectamente calibrados y otros parámetros de importancia.

2. FASE EXPERIMENTAL

Entre el 09 y 13 de Diciembre de 1991, se llevó a cabo la Primera Comparación Piranométrica Nacional, en la estación Meteorológica de la Fuerza Aérea de Venezuela, El Yaque, Margarita. El objetivo principal del experimento es la determinación del factor de calibración de los radiómetros participantes en el evento, con respecto al patron nacional (NIP-23946E6/USB-CONICIT), calibrado en 1989, en el Centro Regional de Radiación Solar, México.

Para el experimento de Margarita, se transportaron e instalaron 56 radiómetros de diversas instituciones.

Once de los 56 radiómetros instalados fueron conectados a un Multímetro Multicanal de Barrido (HP-3497 A), con el objeto de disponer de una adquisición automática y secuencial (cada 90 seg), de la radiación solar presente en la zona de Comparación.

Para llevar el control del tiempo de adquisición, fue preparado, instalado y ejecutado un programa de computación, el cual se mantuvo en fase continua en una PC-286, por cada día de trabajo.

Cada sesión de adquisición constó de 18 minutos de medición y 5 minutos de descanso. Se efectuaron 12 lecturas por cada serie de adquisición, con intervalos de 90 segundos de muestreo. Al final de cada muestreo, se emitía un tono agudo, para indicar el instante de lectura.

Este tono se retransmitía desde la cabina de control a los operadores ubicados en el banco de pruebas de los pirheliómetros, para indicar el instante de lectura en la unidad de control del radiómetro de cavidad, como se puede apreciar en las figuras No. 1 y 2.

En la cabina de control, al cabo de cada lapso de muestreo, se medía simultáneamente la Hora Local de Venezuela, la cual era suministrada por el Observatorio Cagigal, para la determinación de la deriva de tiempo cometida durante las observaciones.

El sistema de adquisición de datos, concebido de esta manera, permitió la generación de información radiométrica para las componentes de radiación directa, radiación global, radiación difusa y radiación por albedo de superficie, como se observan en la figura No.3.

Los restantes radiómetros constituían sensores terciarios de tipo bimetalico como son los actinógrafos Fuess, Siap y Weathermeasure, los cuales fueron instalados específicamente, para la determinación de su factor de calibración.

Simultáneamente a las adquisiciones radiométricas, se llevaron a cabo mediciones de otros parámetros meteorológicos clásicos, con los instrumentos disponibles por la estación meteorológica, como soporte al experimento.

Además, se efectuaron cuatro radiosondeos efectivos, con un sistema automático de adquisición (ver figura No.4), con el objeto de disponer de información meteorológica de altura.

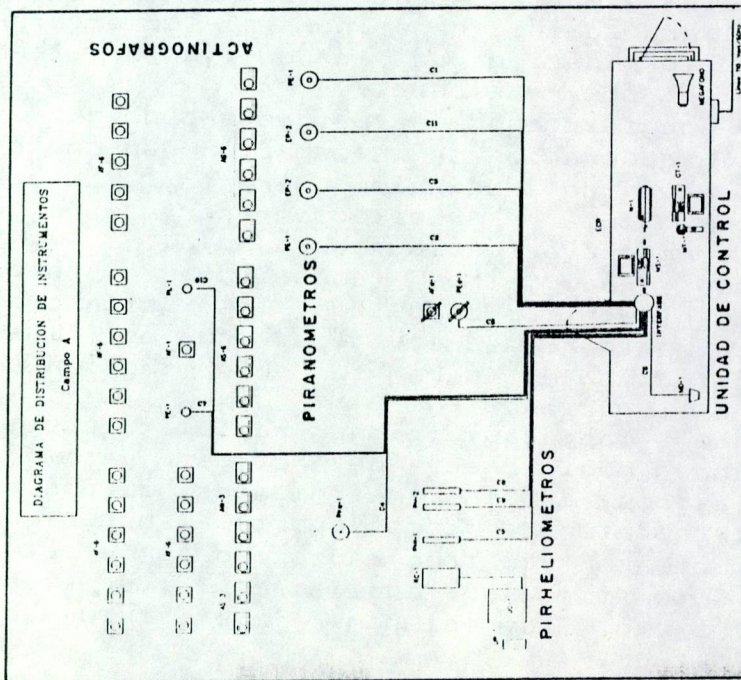


Fig. 1. Diagrama de distribución de radiómetros.

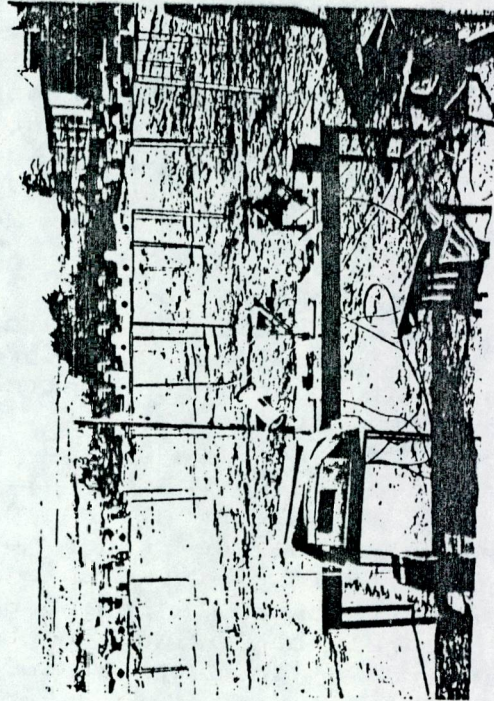


Fig. 2a.

Muestra fotográfica de la distribución del conjunto de radiómetros en el campo cercano a la estación meteorológica

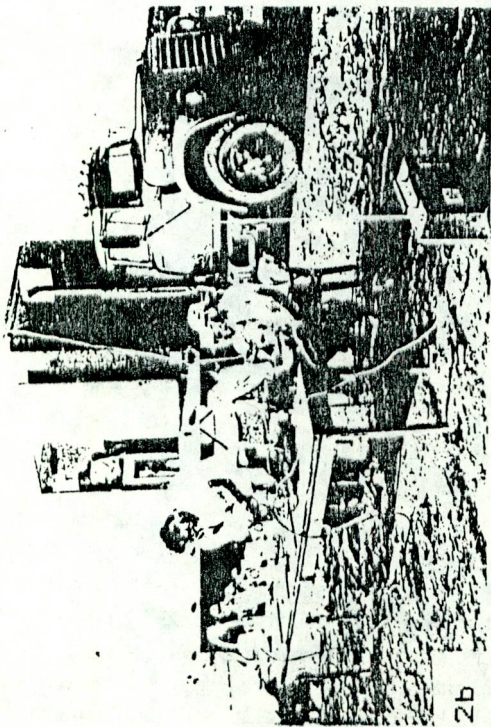


Fig. 2b. Muestra fotografica de la ubicacion del banco para pirheliometros, la unidad de recepcion y al fondo la unidad movil de control y registro.

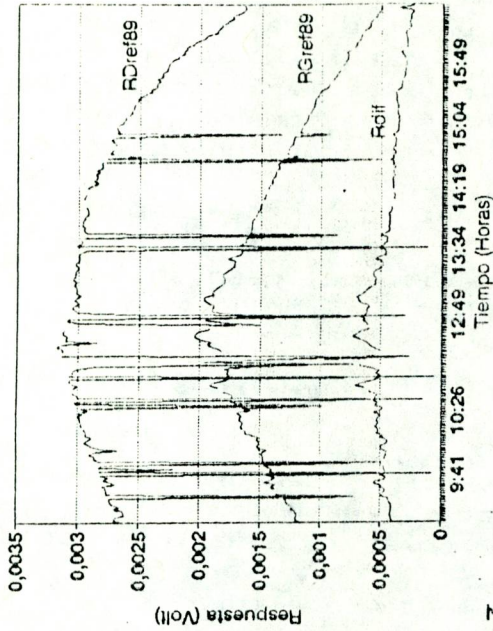


Fig. 3. Grafica de las respuestas obtenidas en el multimetra-multicanal de barrido, para las componentes directa (RDref89), global (RGref89) y difusa (Rdif). El termino ref89, representa la referencia radiometrica calibrada en Mexico, 1989.

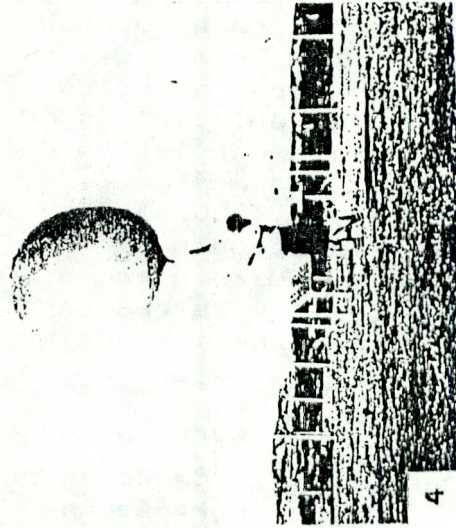


Fig. 4. Muestra fotografica de uno de los lanzamientos efectuados durante el experimento.

3. FUNDAMENTOS TEORICOS

3.1. Altura Solar

La posición del sol en la esfera celeste puede ser especificada por medio de un sistema apropiado de coordenadas, como se muestra en la figura No.5. Un sistema de Coordenadas esféricas, como lo presenta Robinson (1966) permite establecer las componentes que toman lugar en el movimiento relativo del sol, visto por un observador desde tierra.

La figura No.6, muestra el ángulo de declinación solar y el ángulo horario que entran a formar parte de la ecuación básica para la determinación del paso solar.

El sistema arriba indicado conlleva a diez ecuaciones, de las cuales,

$$\text{Sen}(h_j) = \text{Sen}(\phi) \text{Sen}(\delta) + \text{Cos}(\phi) \text{Cos}(\delta) \text{Cos}(t_j) \quad (1)$$

es la que corresponde al paso solar, como lo demuestra Noguera (1991) desde un punto de vista tensorial, donde ϕ , δ , h y t corresponden respectivamente a la latitud de la estación, la declinación solar, la altura solar y el ángulo horario.

La variación que experimenta la altura solar h , se encuentra implícitamente relacionada con la ubicación del sitio de "medición", respecto al meridiano principal de la región y al tiempo civil. En consecuencia, para el cálculo de la variable h , es conveniente utilizar las expresiones recomendadas por la OMM (1983):

$$\begin{aligned} \theta_0 &= 2\pi d_n / 365 \\ \delta &= 0.006918 - 0.399912 \text{Cos}(\theta_0) + 0.070257 \text{Sen}(\theta_0) - \\ &\quad - 0.006758 \text{Cos}(2\theta_0) + 0.000908 \text{Sen}(2\theta_0) \\ E_q &= 0.0172 + 0.4281 \text{Cos}(\theta_0) - 7.3515 \text{Sen}(\theta_0) - \\ &\quad - 3.3495 \text{Cos}(2\theta_0) - 9.3619 \text{Sen}(2\theta_0) \\ t_j &= TC_j + CL + E_q \end{aligned} \quad (2)$$

donde θ_0 , d_n , TC , CL y E_q corresponden respectivamente a la posición relativa del sol durante el año, el día específico del año para cuando se hace la medición (1 a 365), el tiempo civil y la ecuación del tiempo.

La Irradiancia directa (I_D), registrada con el pirheliómetro de referencia, se muestra en la figura No.3 y se incluye numéricamente en el programa de cálculo del factor AOD, con la siguiente expresión:

$$\begin{aligned} I_{Dj} &= K R_{Dj} \\ &= K (V_c \text{Sen}(h_j)) \end{aligned} \quad (3)$$

donde, R_D corresponde al flujo de energía radiante que llega al instrumento, dentro del ángulo sólido subtendido desde el disco solar, cada instante de tiempo que el ángulo horario t_j , cambia a consecuencia del movimiento de rotación de la tierra. Los símbolos k y V_c corresponden respectivamente, al factor de calibración del instrumento

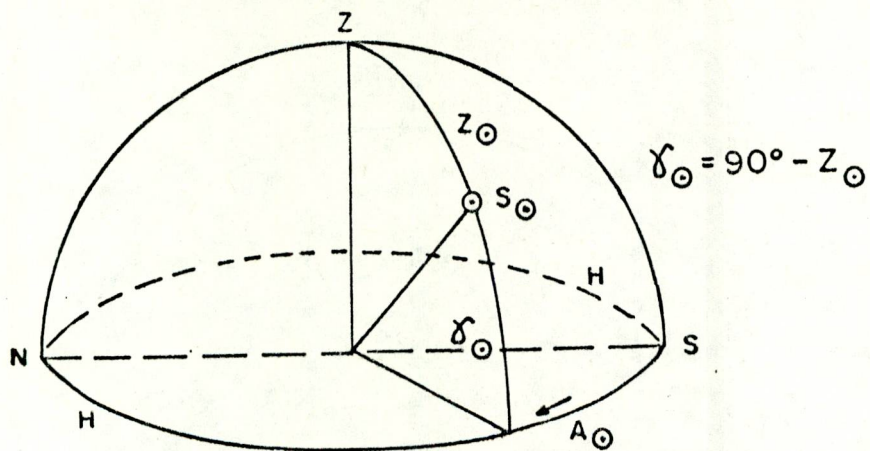


Fig. 5 Sistema de coordenadas horizontal. γ_{\odot} representa la altura solar, Z_{\odot} es el ángulo zenital, S_{\odot} la posición del sol y A_{\odot} representa el azimut del lugar. Extraído de Robinson (1966).

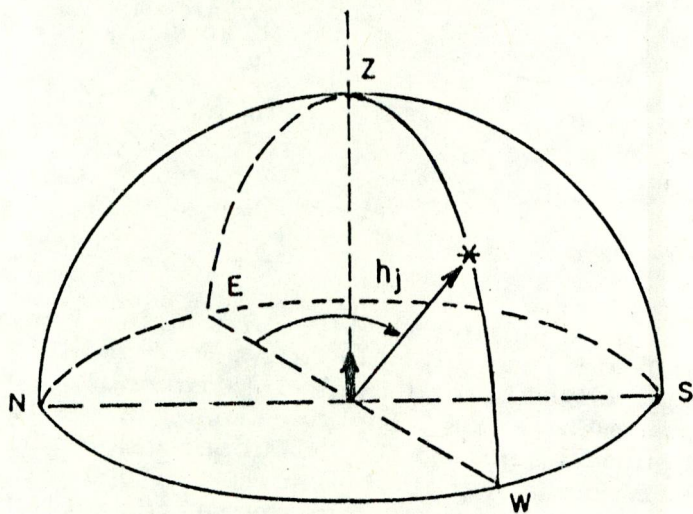


Fig. 6a. Sistema de coordenadas esfericas. Se muestran los puntos cardinales, la normal del lugar y la altura del sol h_j alcanzada para el instante j . Extraído de Noguera y Galindo (1991).

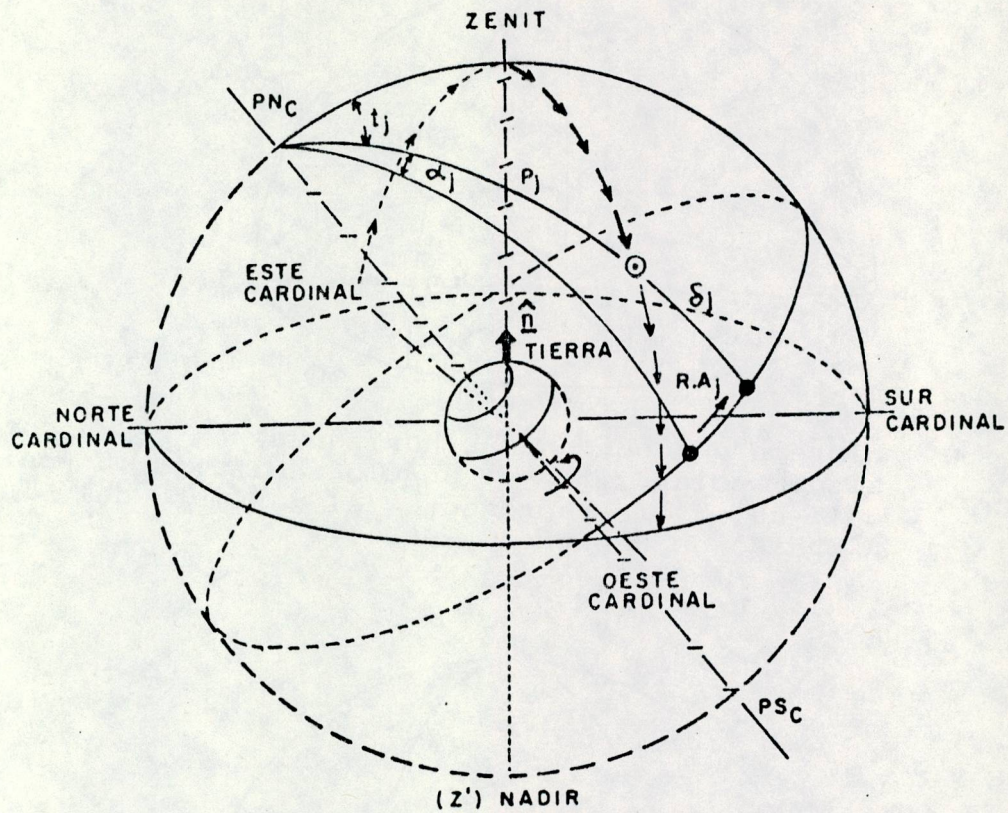


Fig. 6b. Sistema ecuatorial de coordenadas equivalente. Se puede definir como un sistema objetivo, el cual queda especificado por la distancia polar P_j , cuyo complemento es la declinación solar δ_j y la ascensión recta R.A._j; El observador ubicado en una determinada latitud y normal n del lugar, ve el paso del sol (secuencia de flechas), como consecuencia del corrimiento que lleva el ángulo horario t_j . Extraído de Noguera y Galindo (1991).

y a la lectura extraída del multímetro-multicanal de barrido (en micro voltios), durante las sesiones de adquisición.

3.2. Masa Óptica

El flujo de energía radiante lo que llega al tope de la atmósfera, sufre progresivamente un proceso de atenuación en su paso a través de ésta hasta llegar a la superficie terrestre, como se muestra en la figura No.8.

En tal sentido, podemos asumir que un medio con manifiestas propiedades intrínsecas, puede ser considerado como una función de transferencia, de tal manera que el proceso de atenuación experimentado por la radiación solar directa R_D , según Kondratyev (1969), puede ser descrito por la siguiente expresión :

$$R_D = \int_0^{\infty} I_{0\lambda} \left[\exp \left(- \int_z^{\infty} a_{\lambda} \rho ds \right) \right] d\lambda \quad (4)$$

donde, R_{Dz} , $I_{0\lambda}$, ρ , ds , a_{λ} , corresponden respectivamente a la componente directa de la radiación solar al nivel z de la atmósfera, el flujo de energía solar radiante en el tope de la atmósfera en el rango $d\lambda$ de longitudes de onda, la densidad volumétrica del aire, un infinitésimo del camino recorrido y el coeficiente de atenuación.

El término entre corchetes de la expresión (4), constituye el espesor óptico de la atmósfera a un nivel z , como se muestra en la figura No.9, el cual es necesario para determinar la atenuación que sufre "el rayo" en su trayectoria. Sin embargo, es más conveniente calcular el espesor óptico en función de la vertical del lugar donde se efectúan las mediciones; para lo cual se puede, a partir de los datos de la figura No.9 y después de cierta álgebra, llegar a la siguiente expresión :

$$m = \left(\frac{1}{H} \right) \int_0^{\infty} \frac{(\rho/\rho_0) ds}{\sqrt{1 - \left(\frac{r n_0/n}{r+z} \right)^2}} \text{Sen}^2 \theta \quad (5)$$

donde, n es el índice de refracción del medio y θ es el ángulo zenital. Puesto que esta cantidad tiene dimensiones de inverso de longitud, es conveniente expresar (5) de manera adimensional, con la finalidad de facilitar la parte correspondiente al cálculo numérico, con lo cual introducimos una corrección por presión, lo que nos conduce a la siguiente expresión adimensional :

$$m' = (\rho/\rho_0) \left[\frac{1}{\text{Sen}(h_j) + 0.15(h_j + 3.885)^{-1.235}} \right] \quad (6)$$

donde p es la presión a una altura z en la atmósfera y p_0 representa la presión en la estación.

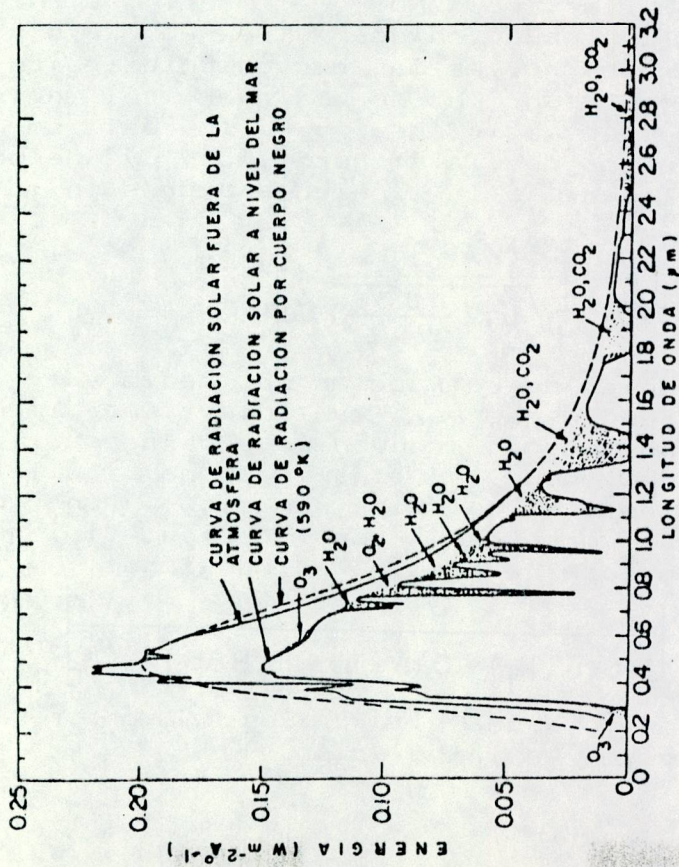


Fig. 8a.

Distribucion de energia del espectro solar en el tope de la atmosfera y en la superficie terrestre. Extraida de Kondratyev (1969)

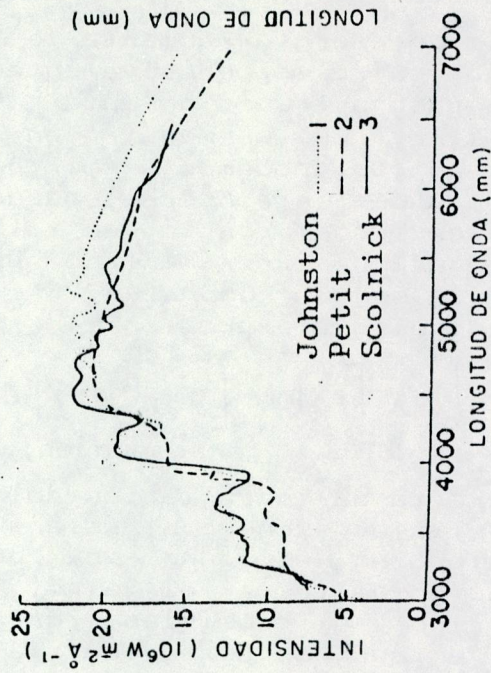


Fig. 8b.

Distribucion de energia en la banda del visible y fuera de la atmosfera. Extraida de Kondratyev (1969).

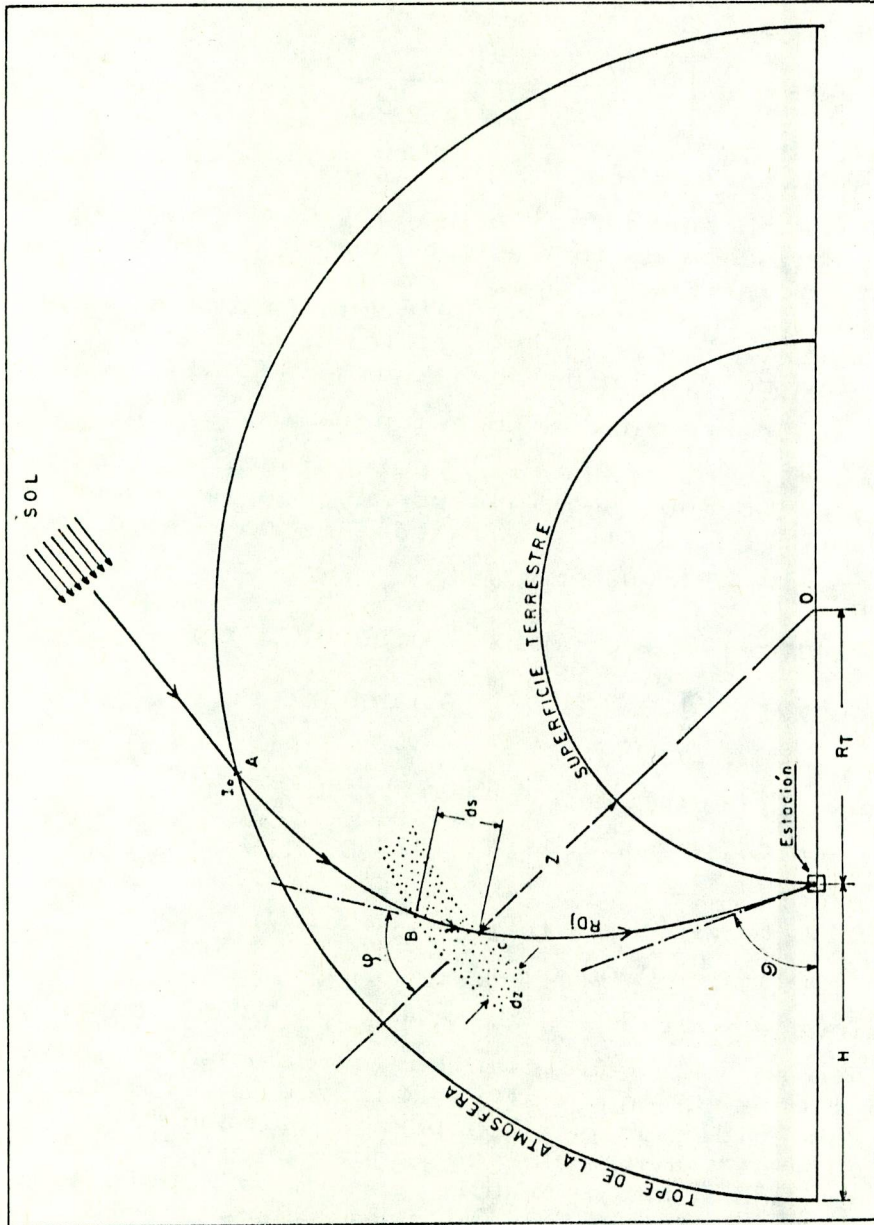


Fig. 9. Representación grafica de la trayectoria de un rayo de luz solar a traves de la atmosfera, en presencia de una capa de aerosoles de espesor dz , a una altura z respecto al nivel del mar (superficie terrestre). El indice de refracción n_0 de la capa de aerosoles, difracta el elemento ds del rayo en un angulo ϕ .

3.3. Factor AOD

El factor AOD, como lo expresan Hay y Darby (1984), es la suma de los coeficientes de absorción y dispersión de aerosoles, integrada sobre toda la columna atmosférica.

La aproximación que se presenta en este trabajo, esta basada en los trabajos de Davies y Hay (1980), así como en los de Zenteno y Galindo (1988), la cual expresamos de la siguiente manera :

$$\tau_a = - \left(\frac{1}{m'} \right) \left[L_n \left(\frac{I_{Dj}}{I_0 (T_0 T_r - a_w)} \right) \right] \tag{7}$$

donde tenemos,

- τ_a : Factor AOD (adimensional)
- m' : Masa Óptica corregida por presión (adimensional)
- I_D : Radiación Directa de incidencia normal (W/m²)
- I_0 : Constante solar (W/m²)
- T_0 : Transmitancia por absorción de ozono (adimensional)
- T_r : Transmitancia por dispersión Rayleigh (adimensional)
- a_w : Absortancia del vapor de agua (adimensional)
- m' : Masa óptica corregida por presión (adimensional)

Los calculos para la determinación de la Transmitancia del ozono, se incorporan de la expresión empírica dada por Lacis (1974), la cual es como siguiente :

$$T_0 = 1 - (a_{vis} + a_{uv}) \tag{8}$$

donde se tiene,

- $a_{vis} = 0.002118X / (1 + 0.0042X + 0.00000323X^2)$
- $a_{uv} = 0.1082X / [1 + 13.86X]^{0.805} + 0.00658X / [1 + (10.36X)^9]$
- $X = 3.5 m'$
- $a_w = 0.29W' / [(1 + 14.15W')^{0.695} + 0.5925W']$
- $W = 0.1 \exp(2.2572 + 0.05454 T_d)$
- $W' = mW(p/101.3)^{0.75}$
- $T_r = 0.98552 - 0.10345m' + 0.01733m'^2 + 0.00198m'^3 + 0.00011m'^4 - 0.000002m'^5$

Los términos a_{vis} , a_{uv} , X, W, W' y Td corresponden respectivamente a los coeficientes de aerosoles en el rango de longitudes de onda del visible y ultravioleta, la masa optica corregida por presión para el ozono (con un factor de 3.5), el contenido de agua presipitable, la corrección de agua presipitable por masa óptica y la temperatura del punto de rocío. Por otra parte, se encuentra apropiado introducir la recomendación hecha por Iqbal (1983), para el cálculo de W en función de la humedad relativa (HR) y la temperatura del punto de rocío:

$$W = 0.493 HR / [T_d \exp (26.23 - 5416 / T_d)]$$

donde Td debe ser expresada en °K .

4. RESULTADOS

Puesto que hasta el presente no se habían obtenido en Venezuela valores de la profundidad óptica de la atmósfera; presentamos a continuación la primera evaluación del factor AOD para la región de Margarita (El Yaque, $10^{\circ} 55' N$ y $63^{\circ} 58' W$), mediante un análisis comparativo de los resultados obtenidos en este trabajo respecto a los resultados reportados en los artículos tanto de Zenteno y Galindo (1988), como de Hay y Darby (1984), para disponer de un marco referencial que indique, en nuestro caso, el estado atmosférico encontrado para la región de estudio arriba indicada.

La figura No. 10, muestra el factor AOD, reportado por Zenteno y Galindo (1988), para la Ciudad de México durante los años de 1982 y 1983 (línea con traza discontinua), para indicar el alto grado de aerosoles presentes en dicha ciudad, a consecuencia de la erupción de El Chichón, (activado el 28-03-82) y contrastada con la gráfica de traza continua, para los años 1984 y 1985, cuya erupción mas intensa fue el 04-04-84.

La figura No. 11, muestra en línea de traza continua, los valores reportados por Hay y Darby (1984) que identifican una atmósfera despejada, característica de la ciudad de Vancouver (B.C., Canada), cinco años antes de la erupción volcánica de EL Chichón. La curva de traza discontinua muestra, para la misma ciudad, el incremento del factor AOD, obtenido luego de la referida erupción.

La profundidad óptica de aerosoles que se obtuvo para Margarita se presentan en la figura No. 16. Se puede apreciar que en las cinco horas de registros del día 13-12-91, el AOD se mantiene en 0.50, con una ligera fluctuación en las horas del mediodía. No obstante, este valor es significativamente alto si lo comparamos con los valores reportados para Vancouver y Ciudad de México.

Por otra parte, con la finalidad de identificar un cierto estado referencial, se presenta en la figura 16 los valores de AOD encontrados en la misma localidad, pero para el año de 1990, cuando se efectuó la inspección de la zona donde se realizaría el experimento de 1991. Se puede notar un aumento de una décima de AOD, situación que reviste una significativo reducción de la transparencia de la atmósfera local. En la misma figura aparece una línea discontinua, sobre los 0.50 AOD, la cual corresponde al valor medio reportado para el mes de Diciembre por Zenteno y Galindo (1988).

Las posibles causas de una elevación en el contenido de AOD para Margarita, son principalmente debidas a la presencia de un alto contenido de vapor de agua, como lo evidencia la foto de satélite mostrada en la figura No.13,

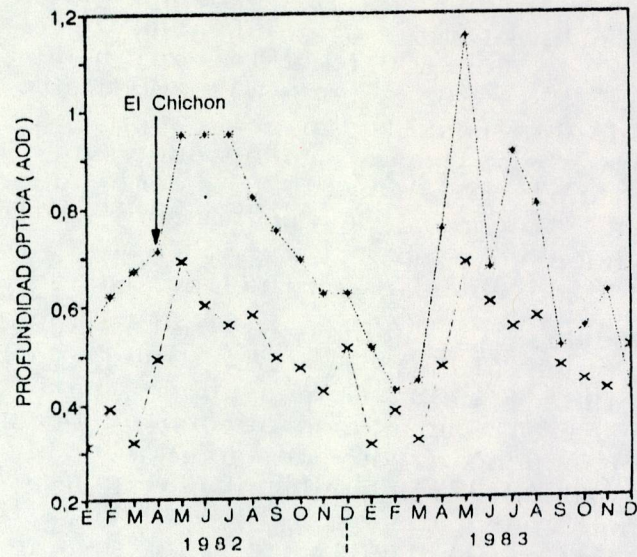


Fig. 10. Profundidades opticas por aerosoles para la Ciudad de Mexico durante 1982 y 1983. Extraido de Zenteno (1988).

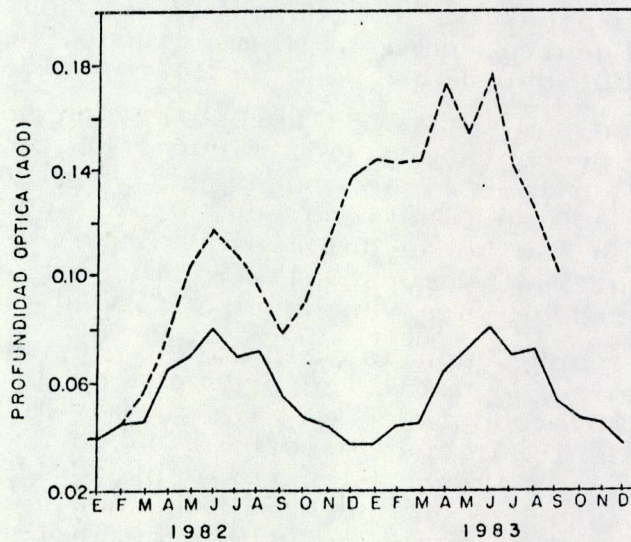


Fig. 11. Profundidades opticas por aerosoles para Vancouver (B.C., Canada), durante 1982 y 1983. Valores actuales, Valores 5 años previos a la erupcion. Extraido de Hay (1984).



Fig. 13.

Imagen del satellite GOES, banda del vapor de agua. Tomada del CENACIS : 13-Dic-91.



Fig. 12.

Imagen del satellite GOES, banda infrarroja (IR BAND 10). Tomada del CENACIS : 13-Dic-91.

La asistencia técnica suministrada por el Proyecto Cristobal Colon.

Al Dr. Ignacio Galindo, por sus acertadas observaciones en el diseño del experimento y de los temas tratados en las sesiones de seminarios en el Instituto de

Geofísica y de la Fac. de Ciencias de la UNAM.

La asistencia del Dr. J.M. Ledanois, por facilitar las referencias radiométricas 89 y el multímetro-multicanal de barrido (USB/CONICIT).

La asistencia de la Dirección de Hidrología y Meteorología del MARNR, por facilitar equipos y personal para el experimento.

La asistencia del Lic. Francisco Ramirez (MARNR/DHM), por facilitar el albedómetro y su apoyo en el área de instrumentación.

La asistencia de la Fuerza Aérea de Venezuela, a través del Servicio Meteorológico, por la utilización de la estación meteorológica Porlamar (El Yaque), el sistema de radiosondeo, la referencia radiométrica 86, la unidad móvil y en especial al personal de oficiales suboficiales y civiles que colaboraron en el experimento.

La asistencia del Centro Nacional de Alerta contra Inundaciones y Sequías (CENACIS/MARNR-DHM), por la adquisición de las imágenes del satélite GOES y los reportes meteorológicos durante la realización del experimento.

La asistencia del Ing. Luis F. García del CENACIS, por la interpretación de las imágenes satelitales.

La asistencia de las instituciones miembros de la Subcomisión de Radiación Solar (Comisión Nacional de Meteorología e Hidrología/CONICIT), a través de los diversos profesionales que participaron en el experimento.

7. BIBLIOGRAFIA

- Hay, J.E. and R Darby (1984) : El Chichón-Influence on aerosols optical depth and direct, diffuse and total solar irradiances at Vancouver, B.C., Atmosphere-Ocean 22-3, pp. 354-368.
- Iqbal, M. (1983) : Introduction to solar radiation. Academic Press. Canada.
- Kondratyev, K.Y. (1969) : Radiation in the atmosphere. Academic Press. London.
- Lacis, A.A. and J.E. Hansen (1974) : A parameterization for the absorption of solar radiation in the Earth's atmosphere. J. Atmos. Sci. 31. pp. 118-133.
- Noguera, C e I. Galindo (1991) : Estimación de la radiación solar incidente en superficie a partir de datos de satélites geoestacionarios. Seminario dictado en la Facultad de Ciencias, UNAM, México.

IV ENCUENTRO NACIONAL CLIMA, AGUA Y TIERRA

IV JORNADAS NACIONALES DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y CLIMATOLOGIA

OBTENCION DE DATOS: APLICACION DE DATOS POR SATELITES
ESTUDIOS BASICOS: CLIMA EN LA DEPRESION DEL ZULIA

EL RELAMPAGO DEL CATATUMBO
EN BASE A LAS IMAGENES DEL SATELITE GOES

(Ing. Luis Felipe García*, Ing. Elvira Leltchitskaya*
y Prof. César Noguera**).

* M.A.R.N.R. - Dirección de Hidrología y Meteorología - División
de Estudios e Investigaciones.

** Departamento de Alerta contra Inundaciones y Sequías.

1. **INTRODUCCION** El Relámpago del Catatumbo, es un fenómeno que se presenta en la cuenca de este río, y está asociado a una alta frecuencia de descargas eléctricas originadas por la presencia de nubes de tormentas del tipo cumulonimbos. En este trabajo, se presenta un estudio de las tormentas en el Sur del Lago de Maracaibo, vistas a través de las imágenes de satélites recibidas en la estación receptora del Departamento de Alerta del MARNR.

2. **ANTECEDENTES** El climatólogo Antonio Goldbrunner, ha estudiado la alta frecuencia de relámpagos en la zona de la cuenca del Río Catatumbo. En esta zona se presenta una baja presión atmosférica, asociada a mal tiempo inducida por una circulación de los vientos, que inicialmente provienen del Noreste y son forzados por la Serranía de Perijá a cambiar rumbo hacia el Sur, hasta formar la circulación de una baja presión.

En el Atlas de la NOAA, de Garcia O., se presenta una serie de mapas mensuales de frecuencia de tormentas, en base al período (1971-83), de imágenes de satélites. Se observa que los máximos ocurren en Mayo y Junio (4 grandes tormentas), mientras que la menor frecuencia de tormentas se observa durante Enero y Febrero; otros estudios, reportan máximos de precipitación para los meses de Mayo y Agosto.

El Atlas Climatológico de la FAV., reporta para la cuenca baja del Río Catatumbo, una precipitación media anual de 1.350 mm, los días al año con precipitaciones mayores de 0.1 mm son de 125 días, los días de tormentas al año están en el orden de de 150 días, siendo máxima en Septiembre (22 días), y en Abril (\geq 16 días).

En el mapa de "Isolíneas de Precipitación Anual", se observa una distribución de valores altos de precipitación, hacia el límite Sur de la Depresión del Zulia, en la región de La Fría. Igualmente se observa un aumento hacia la región de la Guajira y además, un núcleo de alta precipitación sobre el agua, al Sur del Lago en la desembocadura del Río Catatumbo.

Los histogramas de la variación temporal de la precipitación de la zona, muestran una distribución bimodal, con dos máximos (Nov. y May.) y dos mínimos bien definidos de precipitación (Mar. y Jul.)

La temporada de lluvias se inicia un mes antes de lo usual para esas latitudes, y termina con un total alto en Noviembre. En estas fechas, la zona queda expuesta a el flujo de los vientos del Noreste, los cuales al penetrar fácilmente en el abra de la Depresión del Zulia, forman la conocida circulación ciclónica forzada, y sus efectos de mayor nubosidad y precipitaciones.

3. DESCARGAS ELECTRICAS - EL RAYO La tormenta eléctrica se produce a causa de una distribución de cargas eléctricas capaces de producir diferencias de potencial significativas; la cual se encuentra en condiciones favorables en las nubes de tormentas (Cumulonimbos).

3.1 Etapas para Generar las Tormentas Eléctricas Las nubes de tormentas (Cumulonimbos), inicialmente se desarrollan en forma vertical, alcanzando en su evolución cada vez mayor altura. En la segunda etapa de desarrollo o etapa de la madurez, el tope de la Célula Moderada de la Tormenta (CMT), alcanza los -51°C y alturas aproximadas de 12.25 Kms. En ella se produce la transición de grandes cantidades de agua en fase líquida a la fase de congelación (formación de granizo), y se forma también el yunque.

La última fase de una célula de tormenta eléctrica, es la de la disipación, donde las corrientes descendentes se generalizan en toda la nube, y cesa la formación de gotas de lluvia así como la precipitación, conllevando a la extinción de la misma.

3.2 Mecanismos de Separación de Cargas Entre las muchas alternativas que originan la tormenta eléctrica en estas nubes del tipo Cumulonimbo, se piensa que en el interior de ellas, las gruesas gotas de agua suspendidas en el interior de las corrientes ascendentes, pueden romperse por choques, o por su elevado grosor, y tienden a estallar. Al descomponerse en pequeñas y finas gotitas, estas pueden quedar cargadas de electricidad positiva, dando origen al mecanismo de separación de cargas.

3.3 Los Rayos "Los rayos se inician en la nube, con una Descarga Guía Escalonada (DGE), desplazándose rápidamente hacia abajo, cumpliendo un ciclo que repite un avance de unos 50 m, con una pausa de 50 useg. En el instante en que la guía escalonada toca el suelo, toda la carga negativa de una parte de la nube, tiene la oportunidad de escapar; las primeras descargas no son visibles y se suceden una tras otra, aumentando su distancia hasta alcanzar el otro extremo.

Finalmente, toda la carga negativa de una parte de la nube, se escapa a lo largo de la columna, en un movimiento rápido y enérgico; luego, se origina la descarga principal, con su iluminación progresando en sentido contrario a la de las primeras descargas (Relámpago de Retorno o RR). Esta, produce calor al entorno, causando el trueno, el cual se origina por la rápida expansión del aire caliente.

Luego, de unas centésimas de segundo, baja una nueva DGE. Esta recibe ahora el nombre de Descarga Guía Oscura (DGO) o simplemente Guía Oscura, y hace todo el trayecto desde arriba

hacia abajo de un solo "tirón". La DGO está relacionada con cargas negativas y al tocar el suelo, hay inmediatamente un rayo de retorno (RR), que sube por el mismo camino.

Los relámpagos, usualmente se presentan entre las dos partes de la misma nube, entre dos nubes cercanas, entre la base de la nube y el suelo, o entre la nube y el cielo despejado. Estos se observan hasta distancias aun mayores de los 50 Kms.

4. ANALISIS DE TORMENTAS EN LA CUENCA DEL CATATUMBO Y SU RELACION CON EL "RAYO DEL CATATUMBO" Se presenta un resumen de la frecuencia de ocurrencia de tormentas, en la zona de la cuenca del Lago de Maracaibo, en base a un seguimiento cada tres horas, de las imágenes del satélite GOES 7. Abarca desde Septiembre de 1989 hasta Agosto de 1991.

La distribución temporal de la ocurrencia de las tormentas en el Lago y sobre El Catatumbo, constituyen las áreas de mayor actividad de generación de tormentas en toda Venezuela, según las estadísticas de tormentas vistas a través de las imágenes.

Destaca en el análisis, una concentración de la actividad de tormentas durante las horas del amanecer y primeras horas de la mañana (0500-0800 HLV); reduciéndose luego, durante el día con un mínimo en la tarde (1400 a 2000 HLV). Este patrón, es lo contrario a lo esperado en las zonas tropicales, donde en horas de la tarde se presenta la mayor actividad convectiva.

La ocurrencia de estas tormentas durante las horas del amanecer donde la temperatura y la convección es mínima, parece tener cierto sentido cuando se relaciona con el 1º y 2º enunciado de Bjerknes, correspondientes a los procesos de generación de brisas :

- Brisa Lago - Tierra Día.
- Brisa Depresión del Zulia - Los Andes..... Día.
- Brisa Tierra - Lago Noche.
- Brisa Los Andes - Depresión del Zulia Noche.

Todo parece indicar que el efecto de la brisa proveniente de la Cordillera de Los Andes hacia la Depresión del Zulia, en unión al efecto del Alisio encausado de componente Norte, el que origina la formación de una línea de tormenta durante la noche e inicio del día, y abarca tanto la superficie de la tierra como el cuerpo de agua del Lago. Estas tormentas están reforzadas además, por la brisa tierra - lago, la cual facilita la convección sobre las aguas relativamente calientes.

Se observa un máximo en la actividad de las tormentas en la zona de estudio, durante el mes de Octubre en horas del amanecer (15 a 18 grandes tormentas), con un segundo máximo para el mes de Mayo también, en horas del amanecer (11 a 14 grandes tormentas).

La relación de ocurrencias de tormentas con las horas del día, se puede observar también en los análisis de Sep-Dic 1989 y Sep-Dic 1990, donde se aprecia el máximo número de tormentas en las horas tempranas de la mañana.

Estos máximos en la ocurrencia de tormentas en la Depresión del Zulia, coinciden con el inicio y fin de la temporada de lluvias; y podrían estar relacionados con una mayor persistencia de los vientos Alisios del Noreste penetrando dentro de la cuenca del Lago.

Justo en esos meses, la región se ubica en los límites del Trough Ecuatorial y de los vientos Alisios; y la cuenca del Lago quedaría bajo la influencia de la parte correspondiente al fuerte campo de vientos de los Alisios.

En la distribución espacial de las tormentas, para el mes de Octubre de 1990, se observa claramente un centro de máxima actividad (19 tormentas en el mes), sobre la región de la costa Sur del Lago, incluyendo laderas de Los Andes y superficie del agua al Sur del mismo, disminuyendo hacia las cimas de Los Andes y hacia las laderas de la Serranía de Perijá.

La alta frecuencia de relámpagos en la Depresión del Lago de Maracaibo durante la noche y el amanecer; hacen del "Relampago del Catatumbo", un fenómeno muy fácil e impresionante de ver.

5. VISITA A LA SECCION DE "RELAMPAGOS" EN EL CENTRO METEOROLOGICO DEL PACIFICO (PACIFIC WEATHER CENTER - P.W.C.), EN CANADA El Ing. Luis Felipe García (coautor), realizó una visita al Atmospheric Environment Service - AES, en la región del Pacífico, en el extremo Suroeste del Canadá. En la sala de análisis se visitó la sección de "Monitoreo de Relámpagos con fines de Prevención de Incendios de Vegetación"; el cual monitorea el Este de las Montañas Rocosas sobre la selva conífera en las zonas bajas de Alberta (con hasta 10°C más que el aire que asciende del lado Oeste de la montaña).

Estas regiones son susceptibles a incendios de vegetación por relámpagos, razón por la cual la sección cuenta con una red de estaciones sensoras en tiempo real, que le permite emitir así, avisos con fines de mitigar los efectos de los posibles incendios a ocurrir. El sistema detector de relámpagos, se basa en una triangulación por varias estaciones, de la ubicación de la descarga, la cual se muestra por medio de un monitor de video. Se estima conveniente recomendar la implementación de un sistema parecido para la Depresión del Zulia.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES El Prof. Goldbrunner A., identifica una circulación ciclónica cerrada en el Lago, que favorece a las tormentas. Según el Atlas de Tormentas de la NOAA, se observa para el Zulia, un máximo de tormentas en Mayo, y un mínimo en Enero.

En el Atlas de la F.A.V., reporta 150 días con tormentas, con un máximo de 22 días en Septiembre (mayor del país). La precipitación en la zona de estudio, corresponde a solo 1.600 mm al año, con un máximo en Noviembre y un mínimo en Marzo.

Se recomienda instalar una estación en el Lago y estudiar la variación horaria del viento y la temperatura en la zona, las brisas mar-tierra-mar, y valle-montaña-valle y sus efectos sobre las tormentas del Catatumbo.

La tormenta eléctrica es la causante del conocido Relámpago del Catatumbo, y es originada por las nubes Cumulonimbo cuando la carga en la nube, es lo suficientemente grande como para superar el voltaje de ruptura del aire, entre ella y la tierra.

El análisis de la frecuencia de tormentas seguidas por las imágenes de satélite en el presente estudio, reporta además lo siguiente:

- La actividad de las tormentas es mayor en el amanecer (0500 y 0800 HLV), siendo mínima en las horas de la tarde (1400 y las 2000 HLV). Esto es lo contrario a lo esperado en las zonas tropicales, y se explica por la formación especial de la circulación ciclónica forzada, la cual es reforzada por la acción de las brisas locales entre valles, montañas, agua, y tierra.

- Se observa un máximo en la ocurrencia de las tormentas para el mes de Octubre (15 a 18), con un máximo secundario en Mayo.

- La máxima actividad de tormentas justo al inicio y final de la temporada de lluvias, podría estar relacionada con la persistencia de los alisios del Noreste para esos meses, lo cual facilita la formación de la baja ciclónica.

- Se recomienda instalar un sistema sencillo de detección de tormentas eléctricas en la región de la Depresión del Zulia, la cual permita tanto establecer estadísticas espaciales y temporales de este fenómeno, como apoyar las labores de vigilancia y de alertas meteorológicos en la región.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- CORDOVA K., ISOLINEAS DE PRECIPITACION MEDIA ANUAL.
- 2.- GARCIA O. ATLAS OF HIGHLY REFLECTIVE CLOUDS.
- 3.- GOLDBRUNNER A.W., ATLAS CLIMATOLOGICO.
- 4.- GOLDBRUNNER A., CAUSAS METEOROLOGICAS DE LAS LLUVIAS.
- 5.- LETCHISKAYA E., FRECUENC. DE TORMENTAS POR SATELITES.
- 6.- NOGUERA C., SEPARACION DE CARGAS EN LAS TORMENTAS.
- 7.- MAIER M.W., Y KRIDER E., CLOUD-TO-GROUND LIGHTNING.
- 8.- MURTY, R., POSITIVE LIGHTNING IN SWEDEN.

MDA METEORAS GOES 91-08-05 04:30 IR BAND 6
 PRUEBA 115 00 086 100

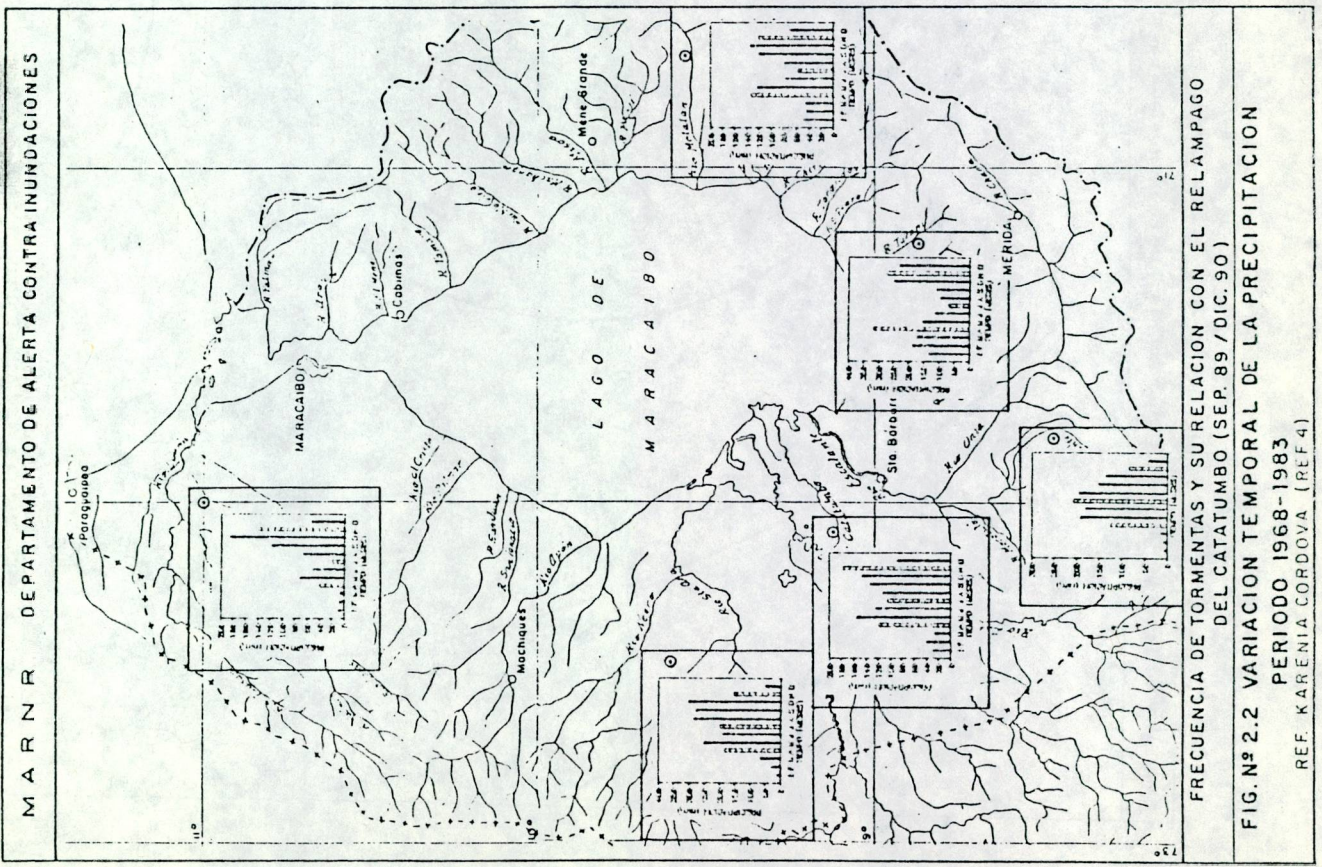


DEPARTAMENTO DE ALERTA
 CONTRA INUNDACIONES Y SEQUIAS

INTERPRETACION DE IMAGERES DE SATELITE
 GOES

DISEÑO: FIG. N° 4.1
 FECHA: 05/08/91
 AORA: 0050

LEYENDA
 ☉ AZULERO
 ☁ KUBES BAJAS
 ☁ KUBES ALTAS (CIRROS)
 ☁ KUBES MEDIAS
 ☁ KUBES DE LLUVIA/CHAPARRON / TORMENTA
 ☁ KUBES DE LLUVIA/CHAPARRON
 ☁ KUBES DE LLUVIA/CHAPARRON / TORMENTA TROPICAL / TORACAR
 ○ CAPITAL



IV ENCUENTRO NACIONAL CLIMA, AGUA Y TIERRAIV JORNADAS NACIONALES DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y CLIMATOLOGIA(OBTENCION DE DATOS: MANEJO Y APLICACION DE DATOS NO
TRADICIONALES.)EL DEPARTAMENTO DE ALERTA CONTRA INUNDACIONES

(Ing. Héctor Fuenmayor e Ing. Luis Felipe García)

1.- INTRODUCCION.

La atmósfera ejerce una gran influencia sobre el hombre, condicionando su modo de vida. Así mismo, en su interacción con el ambiente es responsable de la ocurrencia de gran número de desastres naturales. A continuación se presentan los tipos de desastres naturales más dañinos en el mundo en orden de pérdidas humanas; en donde se observa que siete de ellos tienen origen meteorológico.

- Ciclones tropicales, huracanes y tifones.
- Terremotos.
- Inundaciones.
- Tormentas y tornados.
- Tempestades de nieve.
- Erupciones volcánicas.
- Olas de calor.
- Aludes.
- Desplazamiento de tierras.
- Olas de marea (tsunamis).

Las inundaciones ocupan en el mundo el tercer lugar en el mundo como causa de pérdidas humanas. En Venezuela éstas ocasionan anualmente cuantiosas pérdidas materiales, y también pérdidas en vidas humanas. Sin embargo, éstas pueden ser reguladas en parte, si se tiene suficiente información previa de los fenómenos que se están sucediendo.

Actualmente, con los nuevos adelantos en los sistemas de detección y alerta contra inundaciones, y en especial con el uso de los recursos de los sensores remotos; se logra obtener y procesar un gran caudal de información meteorológica, la cual debe traer mejoras en los alertas contra desastres hidrometeorológicos naturales.

2.- MISION

El M.A.R.N.R. tiene como una de sus principales misiones, el inventario de los recursos naturales, la

generación, recopilación, centralización, sistematización y divulgación de la información básica relativa a la Hidrología, Meteorología y Geohidrología. En base a esta misión, se crea en la Dirección de Hidrología y Meteorología del M.A.R.N.R., el Departamento de Alerta Contra Inundaciones y Sequías.

Este Departamento es formado con la cooperación técnica de la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y del Proyecto de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), y actualmente está evolucionando a Centro Nacional. Sus principales misiones son:

- Prestar un servicio en materia de información para reducir las pérdidas de vidas humanas y los daños del ambiente y de la propiedad, causada por los desastres hidrometeorológicos naturales.
- Contribuir a la planificación y uso racional de los recursos naturales.

3.- OBJETIVOS

Entre los objetivos principales del Departamento de Alerta Contra Inundaciones y Sequías, se tienen los siguientes:

- Mantener una vigilancia permanente de las condiciones hidrometeorológicas reinantes en el país.
- Evaluar y procesar datos sobre la ocurrencia de situaciones hidrometeorológicas extremas.
- Generar y recopilar información básica de eventos meteorológicos para la formación de un banco de datos.
- Elaborar estudios hidrometeorológicos relacionados con eventos extremos.

4.- EQUIPOS

El Centro de Alerta apoya todas sus actividades diarias en una serie de equipos y sistemas, donde en mucho de los cuales, la tecnología de los sensores remotos juegan un papel importante, logrando obtener información hidrológica y meteorológica referente a un evento, área o fenómeno, a través del análisis de datos adquiridos mediante diversos instrumentos.

Los sistemas de estaciones telemétricas ubicados en sitios críticos, el Raur, y los satélites meteorológicos en

tiempo real, adquieren información a pesar de no estar en contacto con el evento, área o fenómeno bajo investigación.

Entre los recursos y equipos del Departamento se tienen:

- *Sistemas METDAS (Sistema de Análisis de Datos Meteorológicos):*

Abarca recepción de imágenes de satélites (GOES), cada 1/2 hora, en diferentes bandas (visible, infrarrojo y vapor de agua), en alta resolución y con datos en forma digital.

- *Sistema WTRACK 480 :*

Abarca la recepción del satélite GOES cada tres horas y la de imágenes en diferido de otros satélites. Se puede recibir también, en directo, las imágenes de los satélites orbitales NOAA 10 y NOAA 11 (USA) y los Meteor (Rusia).

- *Sistema Piloto de Alerta Contra Inundaciones del Río Guaire:*

Abarca 7 estaciones con sensores de precipitación y 5 con sensores de niveles, y dos repetidoras de enlace por radiofrecuencia en la banda de UHF; todas distribuidas en la cuenca del río Guaire en Caracas y en Los Teques. Transmiten automáticamente a una microcomputador, en donde la señal es decodificada.

- *Sistema de Alerta Contra Inundaciones y Alud de Fango del Río Limón en Maracay:*

Abarca 5 estaciones de precipitación y 2 de deslizamiento de lodo. Todas responden cuando son interrogadas por el microcomputador, o cuando se detectan niveles de alarma (sistema telemétrico de comunicación bidireccional). Este sistema de tecnología Japonesa, se encuentra ubicado en Maracay, y la central procesadora en la oficina del MARNR-Maracay.

- *Sistema Telemétrico Hidrometeorológico en la Planicie del Lago de Maracaibo*

Abarca 4 estaciones telemétricas con sensores climatológicos, incluyendo presión atmosférica. Todas están enlazadas por radiofrecuencia en la banda de VHF, a

través de una repetidora con un alcance entre la estación monitora y las remotas, aproximadamente de 80 Km, distribuidas en la Planicie Occidental del Lago de Maracaibo.

- *Sistemas de Comunicación:*

Abarca equipos de radio VHF, y VHF, Telex y Fax, micro-onda y teléfonos.

5.- PRODUCTOS Y SERVICIOS

El producto principal del centro, es el de emitir los alertas y avisos oportunos sobre un evento de inundación que amenaza o se prevé en las próximas horas o días. Se puede mencionar los siguientes productos:

- Alertas y Avisos Especiales sobre eventos extremos, con fines de prevención de desastres naturales.
- Pronósticos meteorológicos integrados con condiciones antecedentes de las cuencas, con fines de inundación.
- Boletín de alerta sobre vigilancia y monitoreo en tiempo real de la Cuenca del Río Guaire.
- Boletín de alerta sobre vigilancia y monitoreo en tiempo real de la cuenca del Río Limón en el Edo. Aragua.
- Informes de Pre-invierno, con fines de detectar a tiempo causas de inundaciones. Son realizados por personal de cada región y reportadas con suficiente antelación a las autoridades.
- Informes técnicos e investigaciones sobre desastres hidrometeorológicos ocurridos.
- Boletines Diarios con fines Agrícolas. Se informa a los usuarios sobre la evolución del tiempo, tendencias a días consecutivos con o sin lluvias, avance de la temporada de lluvias y sus falsos arranques.

Dicha información permite ajustar los calendarios agrícolas previamente planificados, tales como la selección exacta de las fechas de siembra, etc.

- Boletines Quincenales con fines de Prevención de Incendios. Se informa sobre días consecutivos de sequías. Esta información permite seleccionar áreas con déficit de lluvias y con baja frecuencia de nubosidad, susceptibles a peligro de ocurrencia de incendios.

- Boletines con fines Operación de Embalses y Usos del Recurso Agua. Se informa día a día, sobre la evolución de grandes núcleos nubosos asociados a aportes significativos de agua. Su conocimiento permite ajustar la operación de los embalses y planificar las reservas de agua.

6.2. APLICACION DE LA TECNOLOGIA DE LOS SATELITES EN LA METEOROLOGIA

Al igual que en otros países, la interpretación de las imágenes de satélites se está usando rutinariamente con provecho en pronósticos diarios al público, apoyo a la navegación aérea y marítima, salud, recreación y turismo, y otros. Se mencionan a continuación algunas áreas entre otras, donde se han obtenido experiencias positivas:

6.2.1. SERVICIO DE INFORMACION PARA LA AGRICULTURA

Servicios de este tipo se prestan a varias empresas agrícolas, tal es el caso de las dos más grandes compañías administradoras de la siembra de pinos y de producción de pulpa de papel en Venezuela.

El Departamento de Alerta del M.A.R.N.R., en este sentido, presta un servicio de información de imágenes de satélite vía FAX, el cual mantiene informado a estas empresas y a otros usuarios, sobre la evolución del tiempo real con fines agrícolas.

6.2.1. SERVICIO DE INFORMACION PARA LA HIDROELECTRICIDAD

Otro servicio que presta el Centro de Alerta del M.A.R.N.R., está orientado hacia los pronósticos rutinarios en cuencas con aprovechamiento hidroeléctrico. Actualmente se tiene un servicio permanente de información meteorológica con la empresa Electrificación del Caroní (EDELCA), la cual tiene a su cargo todas las operaciones y administración de la presa Raúl Leoni (GURI) en el Sureste de Venezuela.

Otros servicios tienen aplicación en: selección de fechas para la realización de vuelos fotogramétricos, investigaciones ambientales con datos digitales, investigación de situaciones extremas de mal tiempo, etc.

IV ENCUENTRO NACIONAL CLIMA, AGUA Y TIERRA
CARACAS, 1972

SALINIZACION DE ACUIFEROS COSTEROS EN VENEZUELA

J. Alvarado R.*

* M.A.R.N.R., DGSIASV, Dirección de Hidrología y Meteorología
Esquina Camejo, Ed. Camejo, Piso 5, Silencio, Caracas.

RESUMEN

Los acuíferos costeros de Venezuela, por efecto de la explotación indiscriminada de las aguas subterráneas ó por fenómenos naturales, estan sometidos a un deterioro paulatino, particularmente en lo que respecta a sus reservas y a la calidad de sus aguas, haciendolas inapropiadas para consumo humano y para riego.

El presente trabajo tiene por objetivo analizar los factores que determinan las manifestaciones de explotación intensiva, la salinización y la situación actual de los acuíferos costeros de Coro, Barlovento, Planicie de Maracaibo e Isla de Margarita.

De acuerdo a la situación actual que presentan estos acuíferos costeros, los signos precursores más resaltantes del deterioro y salinización de ellos, constituyen el descenso de los niveles estáticos, el cambio de las direcciones de flujo subterráneo y la penetración del agua de mar en las capas freáticas.

Como medidas urgentes inmediatas para prevenir y/o controlar la intrusión salina, se recomienda: la reducción de los volúmenes de extracción; la redistribución de la situación actual de explotación; la recarga artificial de los acuíferos y mantener un control sistemático y permanente de los niveles estáticos y dinámicos del agua subterránea y de su calidad.

INTRODUCCION

En la Provincia Hidrogeológica Costera de Venezuela (ALVARADO, 1989), se encuentran zonas densamente pobladas ó áreas con una gran actividad agrícola y turística, razones por las cuales el recurso agua en esta provincia es vital, siendo el agua subterránea una de las principales fuentes de suministro.

La explotación racional de las aguas subterráneas en las cuencas costeras de nuestro país exigen un control sistemático y cuidadoso, principalmente debido a que estas cuencas hacia el mar son abiertas sin ninguna protección geológica, por lo que en cualquier caso de sobre-explotación local o regional, se encuentran sometidas al peligro potencial de salinización.

Algunos acuíferos costeros de Venezuela, por efecto de la explotación indiscriminada de las aguas subterráneas o por fenómenos naturales, estan sometidos a un deterioro paulatino, particularmente en lo que respecta a sus reservas y a la calidad de sus aguas, haciendolas inapropiadas para cualquier tipo de uso.

El presente trabajo tiene por objetivo analizar los factores que determinan las manifestaciones de explotación intensiva, la salinización y la situación actual de los acuíferos de Coro, Barlovento, Planicie de Maracaibo e Isla de Margarita. En base a este análisis se propondrán algunas medidas de control que podrían permitir una protección adecuada contra el avance de la salinización y al mismo tiempo el aprovechamiento óptimo de los recursos de agua subterránea en los acuíferos mencionados.

ACUIFERO DE CORO

El acuífero de Coro está situado en la llanura costera al Norte del Estado Falcón, con una extensión que abarca unos 150 km² y se asume que tiene un espesor aproximado de 200 m (Fig. 1).

En el área de desarrollo del acuífero de Coro existen unos 250 pozos perforados, de los cuales unos 90 fueron abandonados y alrededor de 100 pueden considerarse activos (MARNR, 1984).

El acuífero está constituido por sedimentos aluvionales recientes, representados por lentes de arenas y gravas con intercalaciones de arcillas. Cerca del piedemonte y hacia el Este la litología es de grano más grueso. Se pueden encontrar acuíferos libres, confinados y semi-confinados, con valores del coeficiente de almacenamiento que varían entre 0,25 y $5 \cdot 10^{-3}$. Las transmisividades varían entre 280 m²/día y 3.000 m²/día, dependiendo de la zona y del espesor saturado (CONDE VALES, 1987).

Es posible diferenciar dos sub-unidades acuíferas: "Oriental de Coro" en la parte Este y "El Patillal" al Oeste (INOS-TAHAL, 1970). La zona limítrofe de ambas sub-unidades se caracteriza, hidroquímicamente, por concentraciones más elevadas en el total de sólidos disueltos (TSD), cloruros y sulfatos. Desde el punto de vista piezométrico, dicha zona limítrofe constituye un alto de la mesa de agua (BUENO, 1986).

Niveles de Aguas Subterráneas

De acuerdo a las mediciones de niveles correspondientes al año 1969 (INOS-TAHAL, 1970), en las zonas de mayor explotación, se pueden apreciar dos conos de depresión. En la sub-unidad de El Patillal el centro del cono no sobrepasa los 2-3 m por debajo del nivel del mar. En la sub-unidad Oriental de Coro, el centro del cono, ubicado al Oeste de la ciudad y junto al río Coro, no pasa de 1 m.b.n.m.

En el mapa piezométrico correspondiente al año 1984 (Fig. 2), prácticamente en toda el área situada al Norte de la carretera Falcón-Zulia, los niveles de las aguas subterráneas se encuentran por debajo del nivel del mar (hasta de 20 m), con excepción de algunas áreas de la ciudad de Coro. En la sub-unidad El Patillal, cerca de la quebrada Horqueta, el nivel piezométrico del cono de depresión alcanza a 22,6 m.b.n.m. En cambio, en el cono de depre-

sión de la sub-unidad Oriental de Coro, el nivel piezométrico alcanza a 2,5 m.b.n.m. Actualmente las profundidades de los niveles de la mesa de agua en el acuífero de Coro varían entre 9 y 86 m.

Por la morfología de la mesa de agua, se puede determinar que el flujo subterráneo, tanto de la parte Norte como de la parte Sur es hacia estos conos de depresión, consecuentemente en la parte Norte existe la posibilidad de intrusión de agua de mar hacia el acuífero. También, es probable que las aguas del río Coro se infiltren en el acuífero al llegar a la planicie, ya que se presenta un área que ocupa la parte oriental de la ciudad de Coro y se extiende en dirección Norte, donde los niveles estáticos se encuentran por encima del nivel del mar, formando un alto de la mesa de agua. Además, en la sub-unidad Oriental de Coro, el descenso de los niveles y el aumento de minerales en el agua son más lentos, los cuales pueden estar relacionados con una zona hidrodinámica de intercambio de agua fresca intensiva o zona de recarga del acuífero.

Calidad del Agua Subterránea

En base a los datos de análisis físico-químicos de las muestras de agua captadas en los años 1968 (INOS-TAHAL, 1970) y 1983 (MARNR, 1984), se efectuó una evaluación de la calidad de las aguas, con la finalidad de determinar el avance de la intrusión salina y otras posibles fuentes de contaminación del acuífero, lo cual es corroborado con el análisis piezométrico.

Generalmente las aguas subterráneas tienen un bajo contenido de cloruros, en cambio las aguas de mar se caracterizan por una elevada concentración de ClNa; por lo tanto, la manera más común de reconocer la posible contaminación de las aguas subterráneas, es analizando el contenido de cloruros. Tomando como base adicional el hecho del bajo contenido de bicarbonatos presentes en el agua de mar y que el ión frecuentemente dominante en las aguas subterráneas, es el bicarbonato, se ha sugerido la relación cloruro-bicarbonato (Cl/HCO_3^-) como criterio para evaluar la contaminación marina del agua subterránea (TODD, 1959; PEREZ, 1969).

Los datos que a continuación se presentan dan una idea de la aplicación de estos criterios en el análisis de contaminación de acuíferos por intrusión de agua de mar (SIMPSON, 1946).

TABLA 1 CARACTERIZACION DEL AGUA POR LA RELACION Cl/HCO_3^-

RELACION Cl/HCO_3^-	CARACTERISTICAS DEL AGUA
0,5	Agua subterránea normal del acuífero
1,8	Agua subterránea ligeramente contaminada
2,8	Agua subterránea moderadamente contaminada
6,6	Agua subterránea bastante contaminada
15,5	Agua subterránea altamente contaminada (cerca de la costa)
200,0	Agua de mar

Para los años 1968-1983, el contenido de cloruros variaban entre cerca de 100 ppm y 1.500 ppm (Fig. 3). En el área de la ciudad de Coro y hacia el Sur y Este de ella, así como al Sur de la carretera Falcón-Zulia en el sector El Patillal, el contenido de cloruros para el año 1968 (BUENO, 1986) se encontraba por debajo de las 250 ppm (límite de potabilidad del agua). Para el año 1983, en la sub-unidad Oriental de Coro los valores inferiores a 250 ppm se mantienen constantes, posiblemente debido a la recarga proveniente de la infiltración de agua del río Coro, cuya presión impide el avance del frente salino. En cambio, en El Patillal se observan valores superiores a 250 ppm hasta distancias de 2 a 3 km hacia el Sur con respecto a la situación en 1968, quedando solo una estrecha franja cerca al frente de montaña, con valores inferiores a 250 ppm.

Las altas concentraciones de cloruros en la parte norte del acuífero de Coro y el aumento de cloruros hacia el Sur en El Patillal, reflejan una fuerte intrusión salina y el avance del frente de esta intrusión hacia el Sur, lo cual está confirmado por el incremento de la relación Cl/HCO_3^- y la disminución de la relación SO_4/Cl en la misma dirección.

Para el año 1984 (Fig.4), los valores de la relación Cl/HCO_3^- al Este y Sur de la ciudad de Coro y en la zona El Recreo en la sub-unidad El Patillal, son inferiores a uno, esto significa que el agua subterránea en estas áreas es normal, sin contaminación con agua de mar. Esta relación hacia el Norte, aumenta paulatinamente hasta valores superiores de 15, acusando una alta contaminación del agua subterránea por intrusión de agua de mar.

La concentración de sulfatos para el año 1969, con valores inferiores a 250 ppm, se encontraban al Este y Sur de la ciudad de Coro y en la parte central de la sub-unidad El Patillal. Hacia el Norte el contenido de sulfatos aumenta hasta valores superiores de 500 ppm. Para el año 1984 los valores inferiores a 250 ppm, abarcan un área algo mayor que en 1969. En la divisoria de las dos sub-unidades acuíferas, los valores que en 1969 alcanzaban a más de 2.600 ppm, no llegan a 1.000 ppm en 1983.

Como se puede ver del análisis del contenido de cloruros y sulfatos, la evolución de la distribución de sulfatos ocurrió en sentido contrario a la de los cloruros; es decir, se produce una disminución de sulfatos, debido al remplazo de los volúmenes extraídos del acuífero, por recarga de agua de mar, además de la sustitución del ión de sulfato por ión de cloruro.

Los valores superiores a uno de la relación SO_4/Cl , se encuentran hacia el Sur del acuífero de Coro, llegando hasta valores superiores de tres al Sur de la sub-unidad Oriental de Coro (Fig. 5). Hacia el Norte esta relación disminuye hasta valores inferiores de 0,5. Esta relación nuevamente confirma el aumento de la concentración de cloruros hacia el Norte por efecto de la intrusión de agua de mar. Los valores elevados de esta relación hacia el Sur y las altas concentraciones de sulfatos hacia el Norte, indican la presencia de una segunda fuente de contaminación del agua

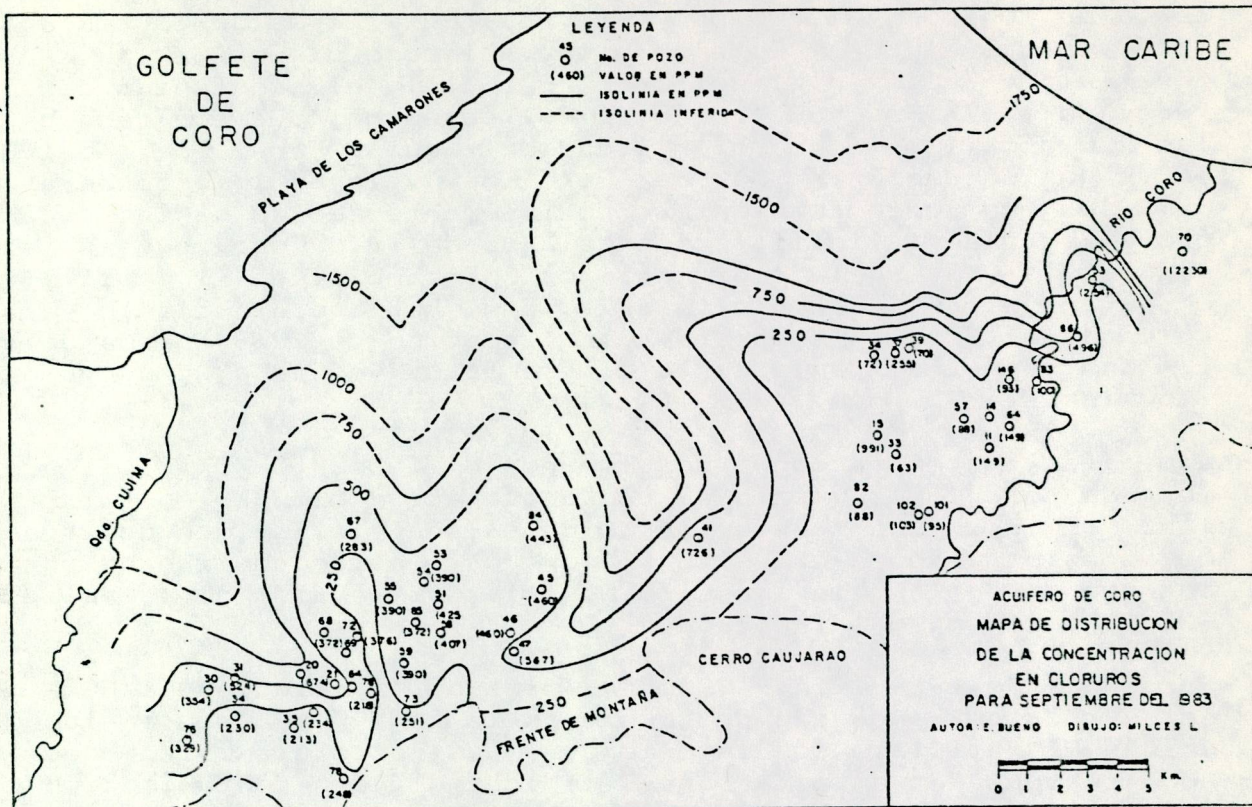


FIG. 3 - MAPA DE DISTRIBUCION DE CLORUROS 1983

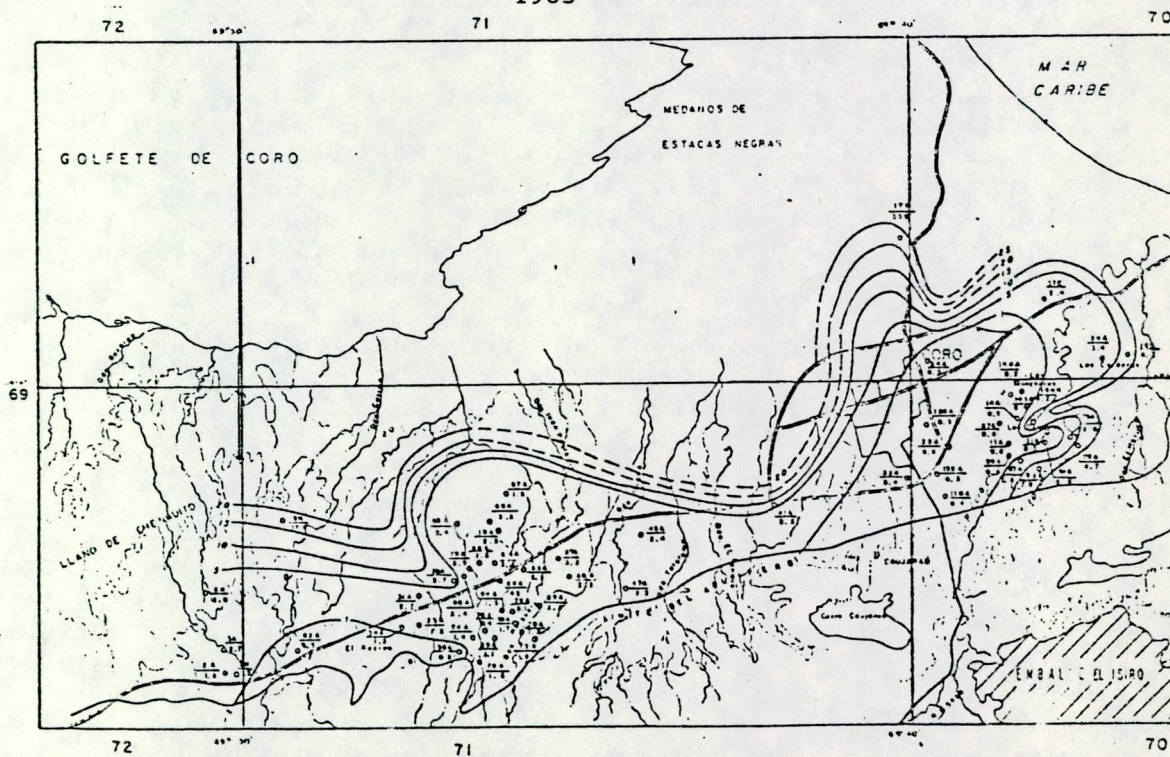


FIG. 4 - MAPA DE RELACION CLORURO/BICARBONATO 1984

que producen los pozos. Se conoce por experiencia (ALVARADO, 1989) que, a medida que aumenta la profundidad del nivel de la mesa de agua y consecuentemente la profundidad de extracción, las aguas que inicialmente eran bicarbonatadas se hacen más sulfatadas. Esta situación es más evidente en zonas áridas y semi-áridas, donde existen depósitos de evaporitas. Este mismo fenómeno se produjo en el acuífero de Coro hasta antes de que la intrusión de agua de mar sea activa, siendo posteriormente sustituido el sulfato por iones de cloruro.

La concentración de TSD, es un parámetro hidroquímico comunmente utilizado para determinar la salinidad de las aguas y el grado de deterioro de los acuíferos. En el acuífero de Coro, la evolución del TSD entre las décadas de los años 60 y 80, muestra que no hubo aumento considerable en la mineralización de las aguas y no se observa el deterioro esperado, llegándose inclusive a dudar acerca del avance del frente de intrusión salina. Si bien en este periodo se mantiene el contenido de TSD dentro de los mismos rangos, comprendidos entre 500 y cerca de 3.500 ppm, encontrándose los valores más bajos en la sub-unidad Oriental de Coro (Fig. 6), también es evidente el aumento de la concentración de cloruros y la disminución de los sulfatos, lo cual se produce, indudablemente debido a la intrusión de agua de mar hacia el acuífero.

SUB-CUENCA DEL BAJO TUY O REGION DE BARLOVENTO

La región de Barlovento está ubicada en la parte Oriental del Estado Miranda y tiene una superficie de 6.176 km² (Fig. 1). Esta región es uno de los principales centros turísticos, además por la alta calidad de sus suelos tiene grandes perspectivas para el desarrollo agrícola. Estas actividades implican el suministro permanente de agua, dentro del cual el agua subterránea es una alternativa real para el abastecimiento de los núcleos poblados y de recreación, así como de la actividad agro-industrial. En toda la sub-cuenca existen alrededor de 200 pozos productores.

De acuerdo al balance hídrico, en las cercanías de la costa se registra un déficit de agua en el transcurso de casi todo el ciclo hidrológico, por lo tanto estas áreas requieren de riego durante todo el año. En el resto de la región el déficit es de 6 meses (enero a junio).

Los acuíferos de mayor importancia de la sub-cuenca del Bajo Tuy están representados por sedimentos aluvionales recientes y del Cuaternario, perteneciente a la Formación Mamporal. Estos sedimentos están compuestos de gravas y arenas con intercalaciones de capas de arcilla, de permeabilidad generalmente alta a media y buen rendimiento.

Niveles de Aguas Subterráneas

La superficie piezométrica de la región de Barlovento, correspondiente al año 1981 (ALVARADO, et al, 1982), presenta una

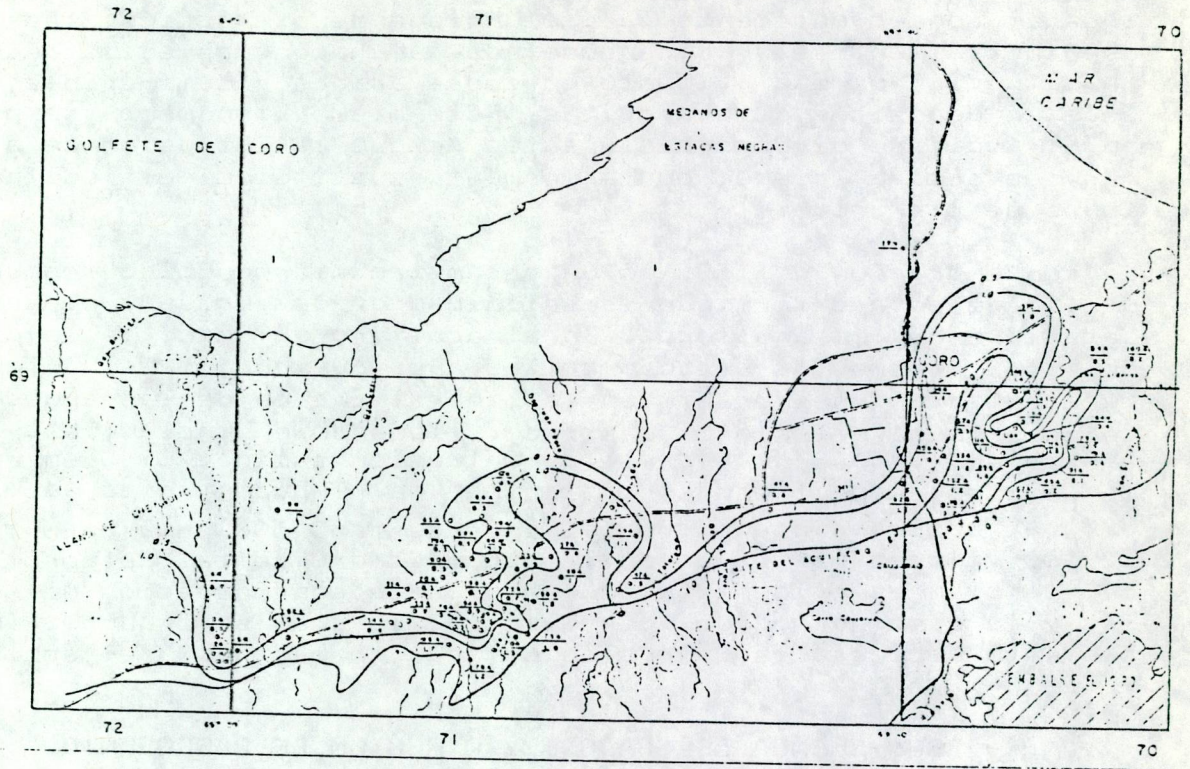


FIG. 5- MAPA DE RELACION SULFATO/CLORURO 1984

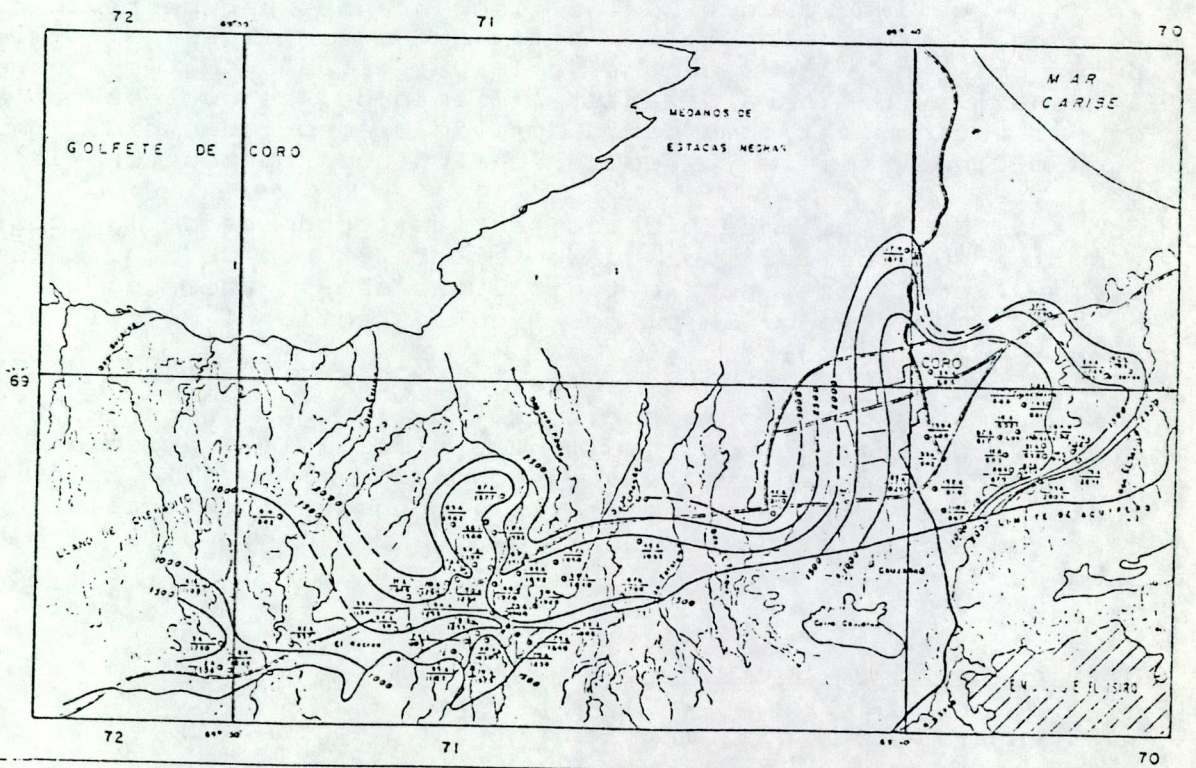


FIG. 6 -MAPA DE TOTAL DE SOLIDOS DISUELTOS 1984

morfología muy sinuosa, con marcado paralelismo a la topografía del terreno. Los niveles piezométricos disminuyen de Oeste a Este, con valores de 90 a 5 m.s.n.m. La profundidad de los niveles estáticos tiene una variación de 0,5 a 30 m, correspondientes a las partes bajas y altas de la sub-cuenca, respectivamente.

En términos generales, regionalmente bajo el sistema de explotación existente para el año 1981, el flujo y la pendiente del perfil de depresión del agua subterránea, están orientados hacia la zona costera. Para este año no se han observado conos de depresión bien definidos, sin embargo en la parte Oriental, debido a la explotación intensiva y la alta densidad de pozos, probablemente se está formando un cono, provocando la intrusión del agua de mar.

La recarga de los acuíferos proviene del flujo lateral desde la zona montañosa que rodea por el Sur y Oeste de la sub-cuenca, así como por infiltración directa del agua de precipitación, particularmente en la zona montañosa las máximas precipitaciones medias anuales alcanzan a 2.400-2.800 mm y los sedimentos en el borde de la planicie son predominantemente permeables.

Calidad del Agua Subterránea

Con los resultados de los análisis físico-químicos de muestras captadas en pozos de agua, se ha realizado una interpretación de la calidad de las aguas subterráneas en la región de Barlovento (ALVARADO, 1985). De acuerdo a las normas establecidas por la Organización Mundial de la Salud (OMS)(WORLD HEALTH ORGANIZATION, 1963), las aguas de muy buena calidad para consumo humano (inferior a 500 ppm) se encuentran en amplias áreas al borde izquierdo del río Tuy (Fig. 7).

En la parte Occidental de la región de Barlovento, aproximadamente 7 km antes de la costa, el TSD empieza a aumentar en forma brusca hacia el Mar Caribe, desde 1.000 ppm hasta concentraciones superiores de 2.400 ppm; por lo tanto, las aguas subterráneas en esta zona son salinas e impropias para consumo humano. Además, por los resultados obtenidos mediante exploraciones geofísicas (ALVARADO et al, 1982), en esta zona las resistividades de las capas de arena son anormalmente bajas (0,5 a 10 ohms x m)(Fig.8). Esta mineralización elevada de las aguas subterráneas y bajas resistividades de las capas de arena, están relacionadas con la poca profundidad de la interfase agua dulce-agua salada.

En la parte Oriental, entre los centros poblados de Cúpira-Tesoro y Machurucuto, cerca del río Cúpira, además de la elevada concentración del TSD (> 2.400 ppm) (Fig. 9), se observa un aumento en los valores de la relación Mg/Ca, desde los bordes de la sub-cuenca hacia la parte costera, de 0,5 a 12. En esta zona, tales anomalías están relacionadas con la penetración del agua de mar hacia el acuífero, producida por la explotación indiscriminada de las aguas subterráneas.

MAPA DE CALIDAD DE AGUA — AREA BARLOVENTO

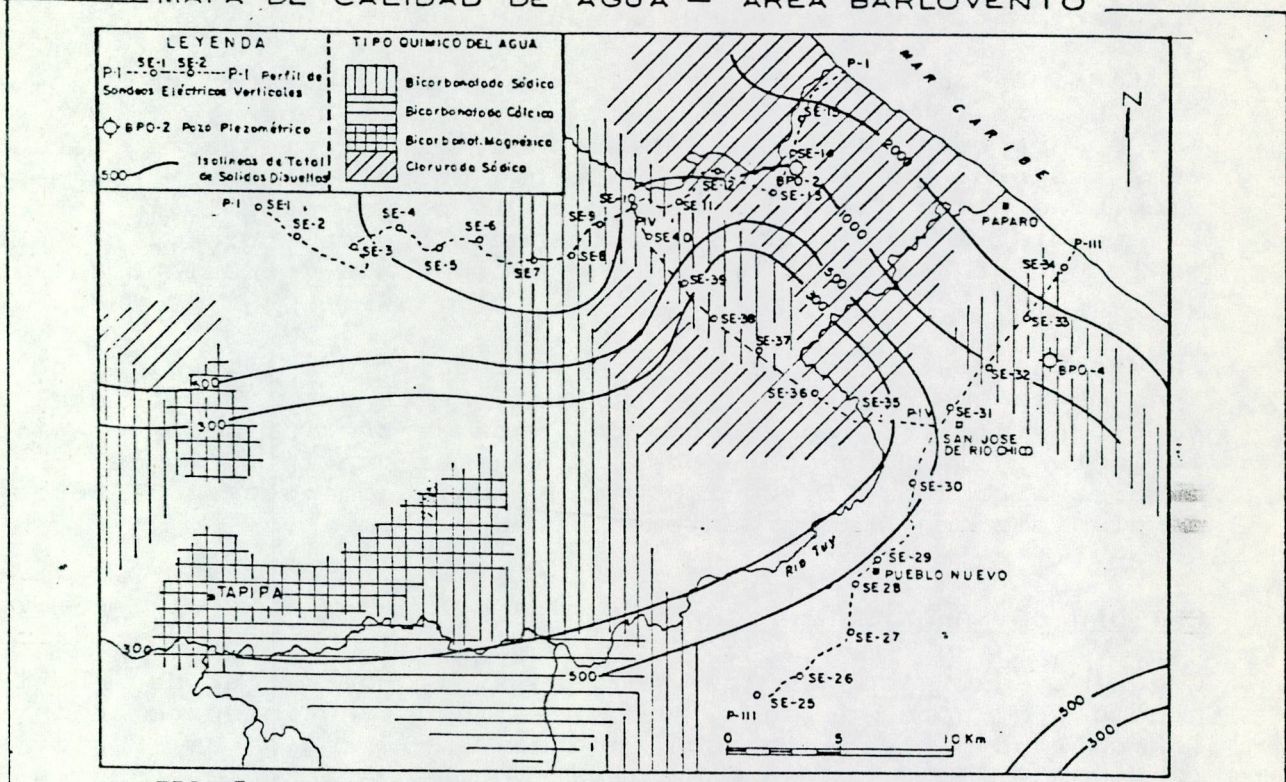
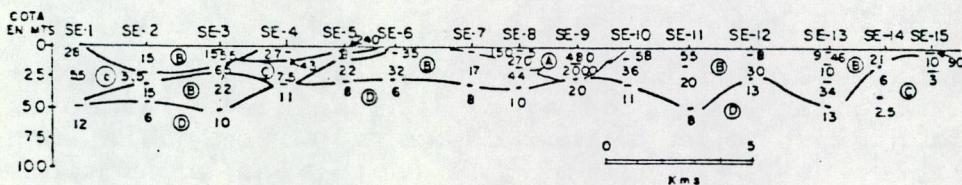
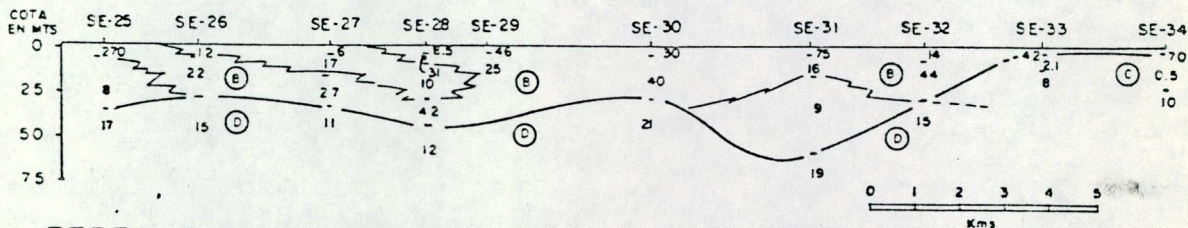


FIG. 7 - MAPA DE CALIDAD DE AGUA BARLOVENTO OCCIDENTAL

PERFIL GEOELECTRICO I



PERFIL GEOELECTRICO III



PERFIL GEOELECTRICO IV

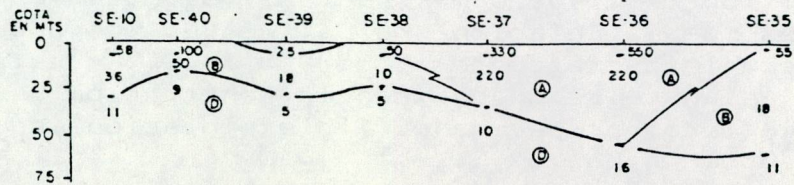


FIG. 8 PERFILES GEOELECTRICOS

ISLA DE MARGARITA

La Isla de Margarita está ubicada en el Estado Nueva Esparta, al Nor-Este de Venezuela, con una superficie de 962 km² (Fig.1). Hidrogeológicamente se divide en la Península de Macanao, situada en la parte Oeste y la Región Oriental en la parte Este.

Esta Isla se caracteriza por ser el centro turístico más importante del país, con afluencia activa de visitantes, tanto nacionales como extranjeros, además tiene un amplio desarrollo agrícola, particularmente en la Región Oriental. Los recursos hídricos superficiales para consumo humano y para la actividad agrícola son escasos, razón por la cual una de las fuentes importantes son las aguas subterráneas.

Los acuíferos de mayor interés para el aprovechamiento de las aguas subterráneas, están relacionados con sedimentos aluvionales recientes y formaciones del Cuaternario (Pleistoceno), compuestos predominantemente de arcillas arenosas con intercalaciones lenticulares de arenas y gravas.

En la Isla de Margarita, para el año 1984, fueron inventariados 138 pozos, de los cuales 86 eran activos, 39 secos y 13 abandonados (HRGETIC, 1986), la mayor parte de estos pozos están ubicados en la Región Oriental.

Niveles de Aguas Subterráneas

En el acuífero Puerto Fermín, situado en el extremo Nor-Este de la Región Oriental, los niveles estáticos se encuentran de 7,30 a 26 m de profundidad. Probablemente, en algunas áreas de este acuífero los niveles piezométricos se encuentran por debajo del nivel del mar, formando conos de depresión, lo cual está provocando una intrusión de agua de mar. En el acuífero La Asunción, ubicado en el extremo Nor-Este de la Región Oriental, los niveles estáticos varían entre 1,5 m y 25,7 m. En este acuífero no se tiene evidencias sobre la formación de conos de depresión. En el acuífero Pedro Gonzáles, situado en la parte Nor-Oeste de la Región Oriental, los niveles estáticos varían de 10 a 14 m. Es probable que en este acuífero se encuentra en formación un cono de depresión. El acuífero Tacarigua, se encuentra en la parte Centro Occidental de la Región Oriental. En éste acuífero los niveles estáticos varían entre 6 y 40 m de profundidad. Finalmente en el acuífero San Juan Bautista, ubicado en el valle formado por el río San Juan, tiene niveles que se encuentran entre 8,8 y 16,2 m de profundidad.

Calidad del Agua Subterránea

En la mayor parte de la extensión del acuífero Puerto Fermín, las aguas tienen un TSD superior a las 1.000 ppm. Cerca de la costa se registran valores superiores a 2.000 ppm, siendo consecuentemente inapropiadas para consumo humano (Fig. 10).

MAPA DE CALIDAD DE AGUA - AREA BARLOVENTO

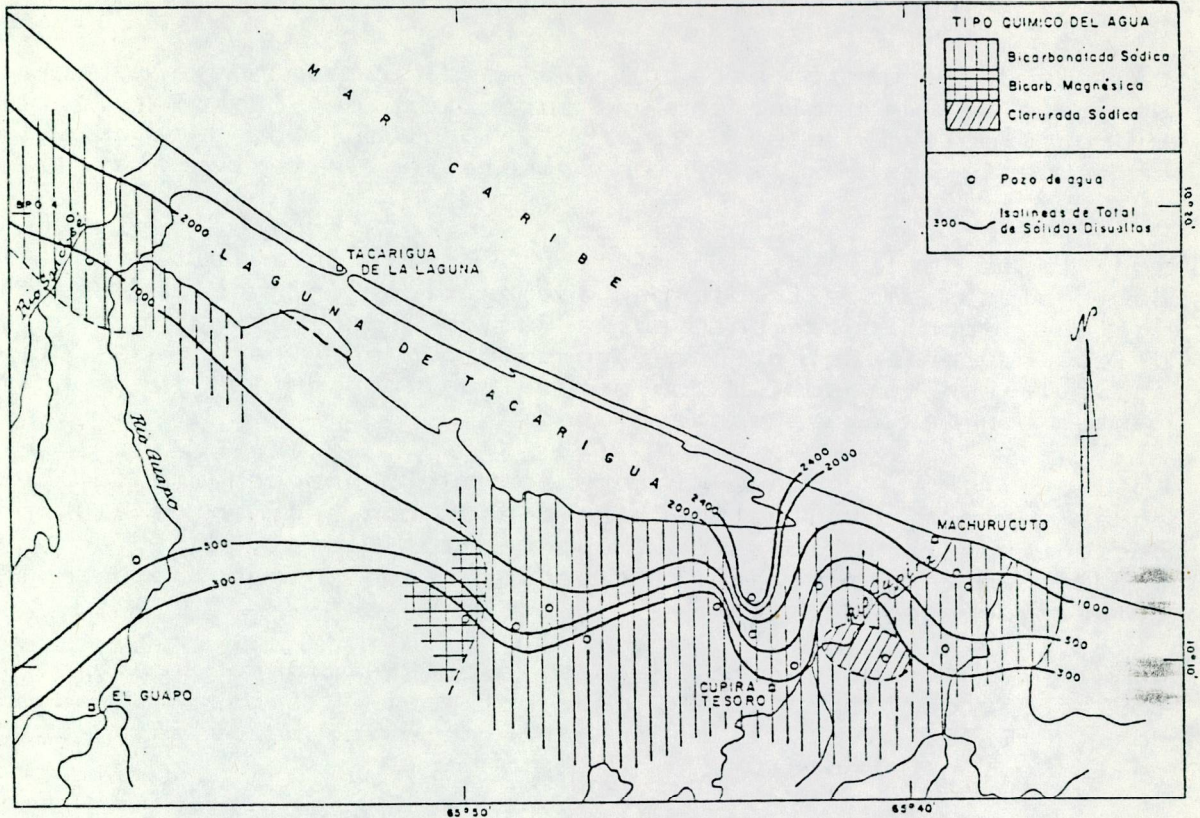


FIG. 9 - MAPA DE CALIDAD DE AGUA - BARLOVENTO ORIENTAL

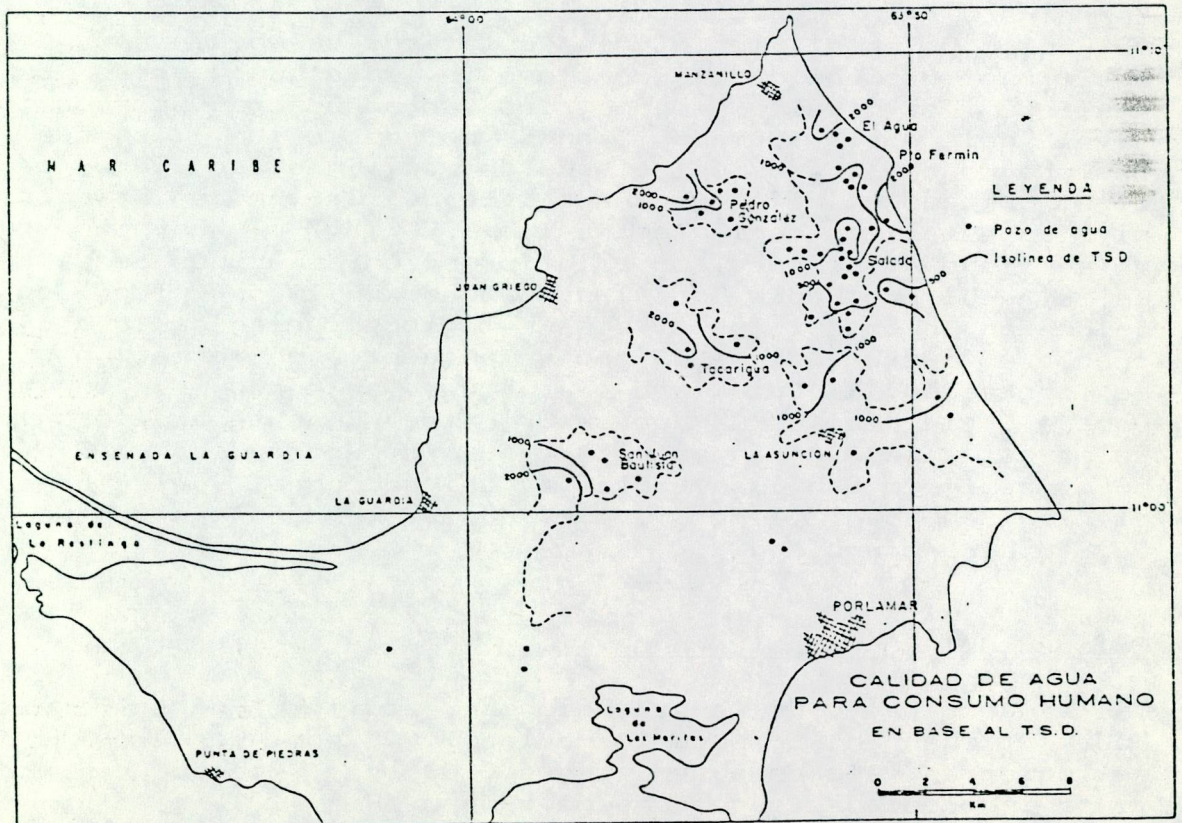


FIG. 10 - MAPA DE TOTAL DE SOLIDOS DISUELTOS -I.MARGARITA

En el acuífero La Asunción, las aguas son principalmente salobres con muy pocos pozos que tienen un TSD inferior a 1.000 ppm. En los acuíferos Pedro Gonzáles, Tacarigua y San Juan Bautista, las aguas son fundamentalmente salobres, con concentraciones superiores a 2.000 ppm. Estas altas concentraciones de TSD, pueden estar relacionadas con la formación de conos de depresión y la intrusión de agua de mar o con el ascenso paulatino de la interfase agua dulce-agua salada y la profundización de la perforación de pozos, ambos fenómenos ocasionados por la explotación intensiva de las aguas subterráneas.

ACUIFERO DE LA PLANICIE DE MARACAIBO

Al Sur-Oeste y Oeste de la ciudad de Maracaibo, en el Estado Zulia, se encuentra un extenso acuífero granular, perteneciente en su mayor parte a la Formación El Milagro de edad Terciario (Fig. 1). Abarca una superficie de 2.250 km². En la parte Oriental, el acuífero tiene un espesor de hasta 200 m y almacena un volumen total de agua de 250×10^9 m³, o sea la suma de las reservas geológicas y renovables. El acuífero es parcialmente confinado. Su recarga tiene lugar en la parte Occidental, habiendo alcanzado el volumen de 19×10^6 m³ por año, para el periodo 1968/1969, cifra que incluye la recarga por aguas de precipitación y por infiltración de aguas superficiales. El consumo durante el mismo periodo fué considerablemente mayor, alcanzando a 60×10^6 m³/año aproximadamente, del cual un 80 % sirvió para el abastecimiento de la ciudad de Maracaibo. Por consiguiente tuvo lugar un sobre-bombeo del acuífero, hecho que ha inducido a la formación de varios conos de depresión y a la intrusión de agua salada proveniente del lago. Actualmente, el suministro de agua a la ciudad de Maracaibo es menos dependiente del agua subterránea, sin embargo debido al desarrollo de la actividad agrícola en los últimos años, la perforación de pozos se ha incrementado en forma intensiva en toda la planicie de Maracaibo.

Niveles de Aguas Subterráneas

Hacia el Sur Oeste de la ciudad de Maracaibo, los niveles de agua registrados en la red de pozos de observación, durante el periodo 1968-1970, muestran un descenso permanente. El mayor descenso de los niveles fué registrado en el área del Polígono de Tiro, con un máximo de aproximadamente 22,3 m, por esta razón el nivel piezométrico descendió a 20 m por debajo del nivel del lago, formando un cono de depresión (Fig. 11), donde la dirección del flujo subterráneo fué del lago hacia el acuífero, provocando la intrusión de agua salada. Los niveles estáticos en ésta área se encontraban de 36 a 87 m de profundidad y los niveles dinámicos de 46 a 98 m, o sea con una depresión de 5 a 29 m. Un segundo cono de depresión se observa hacia el Oeste de la Concepción donde, para el periodo 1968-1970, los niveles estáticos descendieron en 5,5 m. En esta zona los niveles piezométricos se encontraban por debajo del nivel del lago en cerca de 10 m. Actualmente, hacia el Norte de la ciudad de Maracaibo, en la planicie costera, el nivel

piezométrico se encuentra de 30 a 40 m por debajo del nivel del lago, causando la intrusión de agua salada hacia el acuífero.

Calidad del Agua Subterránea

Como se mencionó anteriormente, por efecto de la sobre-explotación del acuífero, el equilibrio hidráulico ha cambiado, produciéndose una inversión de la dirección de flujo subterráneo y alterando los parámetros químicos naturales del agua subterránea, debido a la intrusión del agua salada del lago. En las áreas de ubicación de los dos conos de depresión el TSD es > 1.000 ppm. En la planicie costera al Norte de la ciudad de Maracaibo, en algunas zonas el TSD supera las 8.000 ppm, por consiguiente no son aptas para consumo humano y riego (Fig. 12). La concentración de cloruros en muchas áreas es > 1.000 ppm. Al Sur y Sur-Oeste del acuífero, la calidad del agua es de aceptable a buena (entre 1.000 y 500 ppm).

El tipo químico de las aguas del acuífero de Maracaibo es clorurada sódica, pasando a ser bicarbonatada sódica hacia el Sur y Sur-Oeste, lo cual confirma la intrusión de agua salada del lago hacia el acuífero, o que la interfase agua dulce-agua salada se encuentra a poca profundidad.

CONCLUSIONES

Como resultado de la explotación intensiva de las aguas subterráneas, los acuíferos costeros de Venezuela están sometidos a una salinización permanente por efecto de la intrusión de agua de mar. Entre los factores más resaltantes que determinan las manifestaciones de salinización de los acuíferos se pueden mencionar el descenso paulatino de los niveles, llegando en algunos casos hasta 40 m.b.n.m. Por efecto de este descenso se han formado conos de depresión cerca de la costa, lo cual a su vez ha provocado el cambio del flujo subterráneo, desde la costa hacia la parte central de los conos. Este cambio de la dirección de flujo subterráneo permite la intrusión del agua de mar hacia los acuíferos, generando una constante mineralización de las aguas subterráneas. La concentración de TSD supera las 2.000 ppm y el contenido de cloruros, en muchos casos es mayor a 1.500 ppm. La relación Cl/HCO_3 en la mayoría de los acuíferos costeros tiene valores por encima de 6,6, alcanzando en algunos de ellos a superar el valor de 15,5, lo cual significa que el agua subterránea está altamente contaminada con agua de mar, haciéndolas inapropiadas para consumo humano, riego y uso industrial.

RECOMENDACIONES

Para impedir un mayor descenso de los niveles y el avance permanente del frente salino, así como para lograr una explotación racional de los acuíferos costeros de Venezuela, se recomienda tomar algunas medidas urgentes e inmediatas, tales como:

MAPA HIDROGEOLOGICO - ACUIFERO DE MARACAIBO

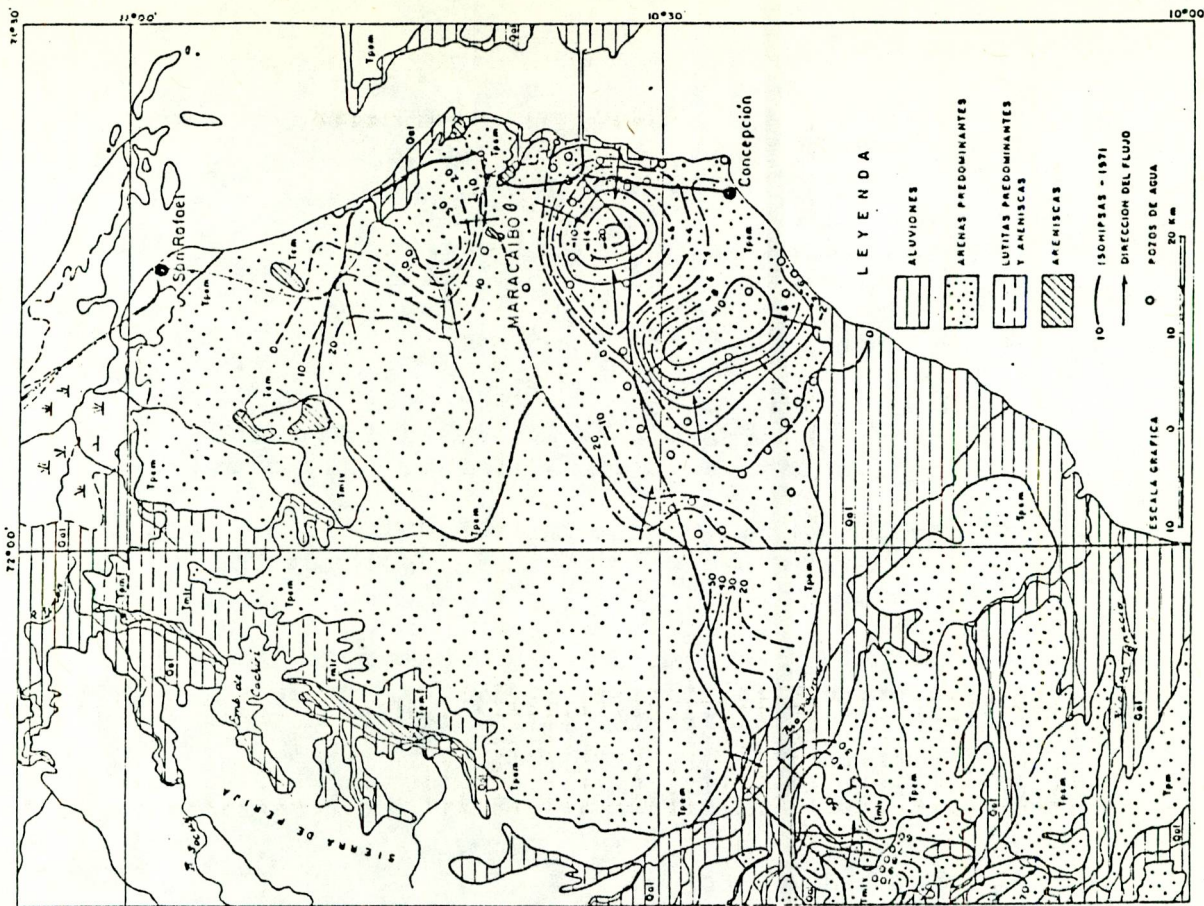


FIG. 12 - MAPA HIDROGEOLOGICO

MAPA DE TOTAL DE SOLIDOS DISUELTOS - 1971-

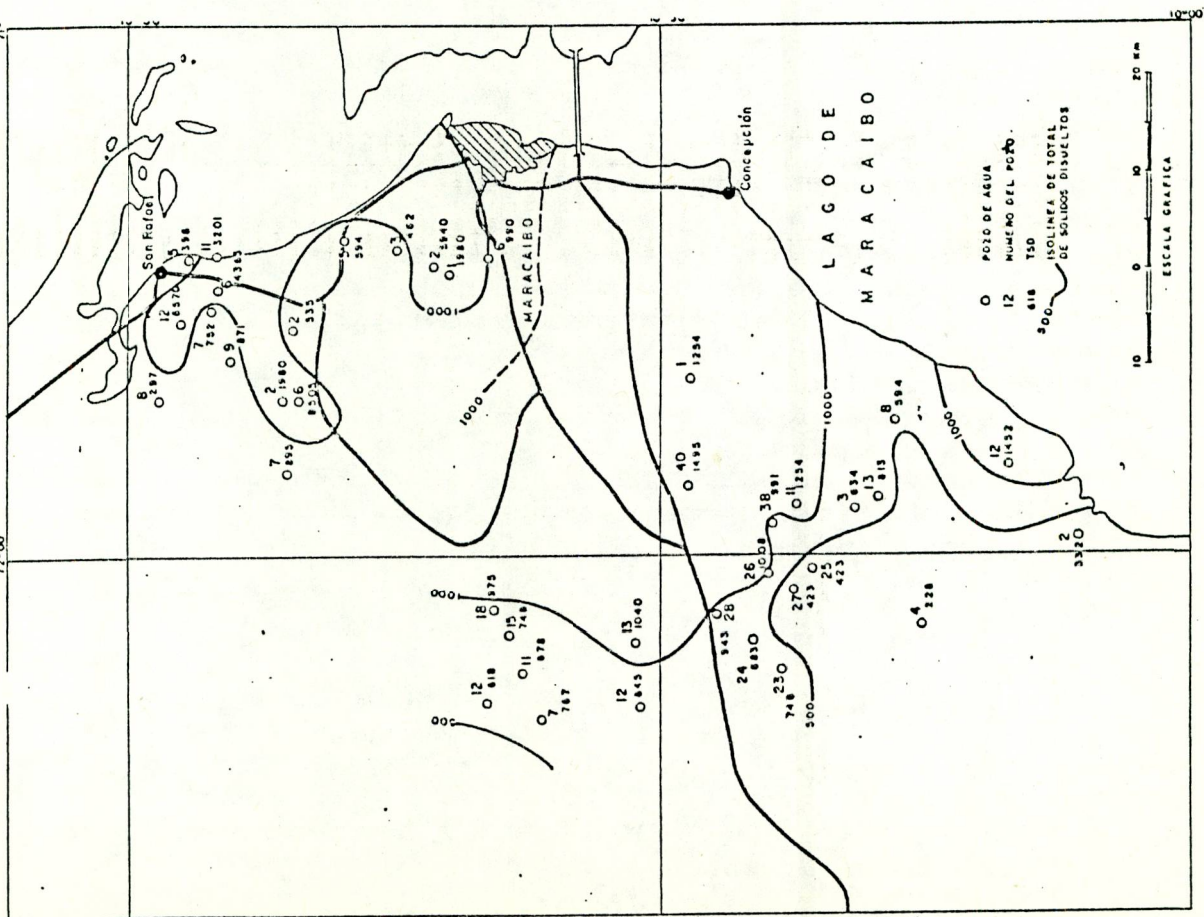


FIG. 11 MAPA DE TOTAL DE SOLIDOS DISUELTOS

- Prohibir el bombeo y la perforación de nuevos pozos en aquellas zonas, donde la concentración de cloruros son superiores a 500 ppm.
- Reducir los volúmenes de extracción en aquellos pozos que presenten entre 250 y 500 ppm de cloruros.
- Mantener un control permanente y sistemático de los niveles estáticos y dinámicos del agua subterránea, así como de su calidad. Con este propósito se deben unir planimétrica y altimétricamente todos los pozos de las redes de observación, a la red geodésica nacional.
- Estudiar la posibilidad de recarga artificial de los acuíferos, mediante pozos de inyección o lagunas de infiltración.
- Intensificar estudios e investigaciones integrales de los recursos de los acuíferos, que permitan un mejor conocimiento de sus condiciones actuales.

BIBLIOGRAFIA

- ALVARADO R., J.; FUENTES N., F.; JULIO, M. (1982). Diagnóstico Hidrogeológico de la Región de Barlovento. DGSIIA/IT/116, MARNR, Caracas.
- ALVARADO R., J. (1985). Calidad de las Aguas Subterráneas y su Relación con las Aguas de Mar en la Región de Barlovento. VI Cong. Geol. Ven., Mem., T. VII, Caracas.
- ALVARADO R., J. (1989). Estudio del Sistema Hidrogeológico del Valle de Quibor, Edo. Lara. DGSIIA, MARNR, Caracas.
- ALVARADO R., J. (1989). Regiones y Características Hidrogeológicas de Venezuela. VII Cong. Geol. Ven., Mem., T. III, Barquisimeto.
- BUENO R., E. (1986). Acuífero de Coro-Análisis Comparativo hidrogeoquímico e Hidrogeológico entre 1968 y 1983. IT/009765/86 MARAVEN, S.A., Lagunillas.
- CONDE VALES, A. (1987). Mapas y Gráficos del Acuífero de Coro. DGSIIICASV, MARNR, Caracas.
- HRGETIC K., P. (1986). Texto Explicativo del Mapa Hidrogeológico del Estado Nueva Esparta, Esc. 1:100.000. DGSIIA, MARNR, Caracas.
- INOS-TAHAL INGENIEROS CONSULTORES DE VENEZUELA, S.A. (1970). Estudio para el Desarrollo de los Recursos de Aguas Subterráneas en las Regiones de Valencia, Coro y Pedregal. Vol. VI, INOS, Caracas.
- PEREZ F., D. (1969). Recomendaciones para la Explotación de los Acuíferos Costeros de Cuba. Tecnología, Serie 10, N° 1, Univ. de la Habana, Habana.
- SIMPSON, T.R. (1946). Salinas Basins Investigation. Bull. 52, California Div. Water Resources, Sacramento.
- TODD, D.K. (1959). Ground Water Hydrology. John Wiley and Sons, New York.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION (1963). International Standards for Drinking Waters. Geneva.

IV ENCUENTRO NACIONAL CLIMA, AGUA Y TIERRA CARACAS, 1992

SOBRE-EXPLORACION DE ACUIFEROS EN VENEZUELA

J. ALVARADO R. *

* M.A.R.N.R., DGSIASV, Dirección de Hidrología y Meteorología
Esquina Camejo, Ed. Camejo, Piso 5, Silencio, Caracas.

RESUMEN

Aproximadamente el 50 % del abastecimiento de agua potable, industrial y agrícola de Venezuela, proviene de las aguas subterráneas, existiendo en todo el territorio nacional alrededor de 40 mil pozos.

La mayoría de los acuíferos consisten de depósitos sedimentarios del Cuaternario, desarrollados en los valles intramontanos, en los llanos y en las planicies costeras, los cuales están situados en áreas con precipitación limitada o muy baja. La explotación intensiva de estos acuíferos en los últimos 30 años, ha traído serios problemas de diferente naturaleza, siendo los principales la reducción de las reservas y la contaminación de las aguas subterráneas, en algunas regiones con graves consecuencias de carácter socio-económico.

En Venezuela se distinguen tres tipos de acuíferos con sobre-explotación:

- a) Acuíferos en las planicies costeras de los Estados Falcón y Zulia.
- b) Acuífero intramontano del Valle de Quibor.
- c) Acuíferos intramontano de la cuenca del Lago de Valencia.

De continuar el bombeo incontrolado de los pozos, en muchas regiones se presentará un déficit en el suministro de agua y traerá consecuencias irreparables en Venezuela.

INTRODUCCION

En Venezuela, aproximadamente el 50 % del abastecimiento de agua potable, industrial y de riego proviene de las aguas subterráneas, existiendo en todo el territorio nacional entre 35 y 40 mil pozos.

Algunos acuíferos de Venezuela están sometidos a un deterioro permanente por efecto de sobre-explotación. Este deterioro se refleja principalmente en la disminución constante de las reser-

vas de aguas subterráneas, provocando el descenso paulatino de los niveles con la consecuente formación de conos de depresión, cambio en las direcciones de flujo subterráneo y contaminación de los acuíferos por intrusión de agua de mar o por flujo vertical de acuíferos profundos.

El presente trabajo tiene por objetivo analizar las condiciones de deterioro por sobre-explotación de los acuíferos costeros de la Planicie de Maracaibo y de Coro, ubicados en los Estados Zulia y Falcón; así como de los acuíferos intramontanos de la Cuenca de lago de Valencia y del Valle de Quibor (Fig. 1).

ACUIFEROS DE CORO

Los acuíferos de Coro están situados en la llanura costera al Norte del Estado Falcón (Fig. 1), perteneciente a la Provincia Hidrogeológica Llanuras Costeras (ALVARADO, 1989). Tiene una superficie de 150 km². Estos acuíferos están constituidos por sedimentos aluvionales recientes, representados por lentes de arenas y gravas con intercalaciones de arcillas y un espesor total aproximado de 200 m. Estos acuíferos son libres, confinados y semi-confinados, con valores del coeficiente de almacenamiento que varían entre 0,25 y 5×10^{-2} . Las transmisividades varían entre 280 y 3.000 m²/día.

De acuerdo a las mediciones de niveles correspondientes al año 1969 (INOS-TAHAL, 1970), en las zonas de mayor explotación, se pueden apreciar dos conos de depresión. En la sub-unidad de El Patillal, ubicada al Oeste de Coro, el centro del cono no sobrepasaba los 2-3 m por debajo del nivel del mar. En la sub-unidad Oriental de Coro, el centro del cono, situado al Este de la ciudad de Coro, no superaba el 1 m.b.n.m.

En el mapa piezométrico correspondiente al año 1984, prácticamente en toda el área situada al Norte de la carretera Falcón-Zulia, los niveles de las aguas subterráneas se encuentran en 20 m por debajo del nivel del mar. En la sub-unidad El Patillal, cerca de la quebrada Horqueta, el nivel piezométrico del cono de depresión alcanza a 22,6 m.b.n.m. En cambio, en el cono de depresión de la sub-unidad Oriental de Coro, el nivel piezométrico alcanza a 2,5 m.b.n.m. (Fig. 2). Actualmente las profundidades de los niveles de la mesa de agua en los acuíferos de Coro varían entre 9 y 86 m.

Por la morfología de la mesa de agua, se puede determinar que el flujo subterráneo, tanto de la parte Norte como de la parte Sur es hacia estos conos de depresión, consecuentemente en la parte Norte existe la posibilidad de intrusión de agua de mar hacia el acuífero (Fig. 2).

El contenido del Total de Sólidos Disueltos (TSD) para el año 1984, variaba entre 500 y 3.500 ppm, encontrándose los valores más altos hacia la costa.

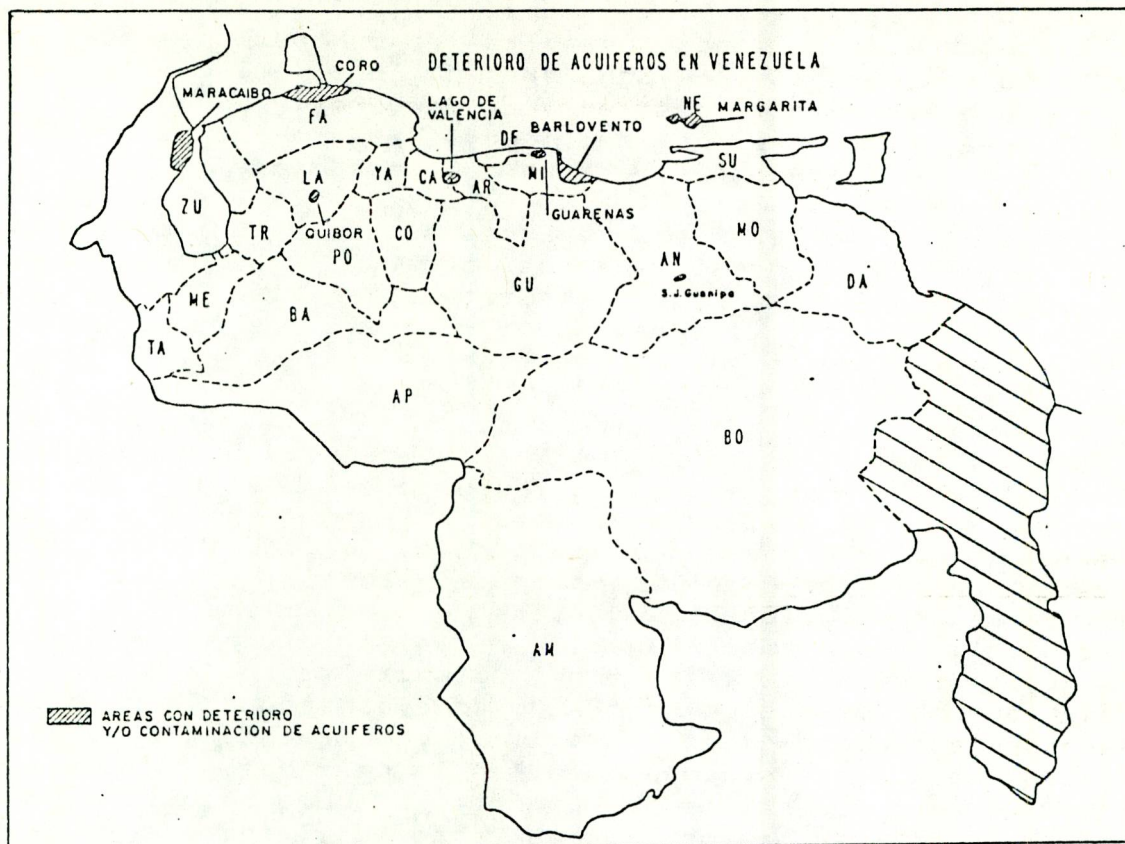


FIG. 1.-MAPA DE UBICACION

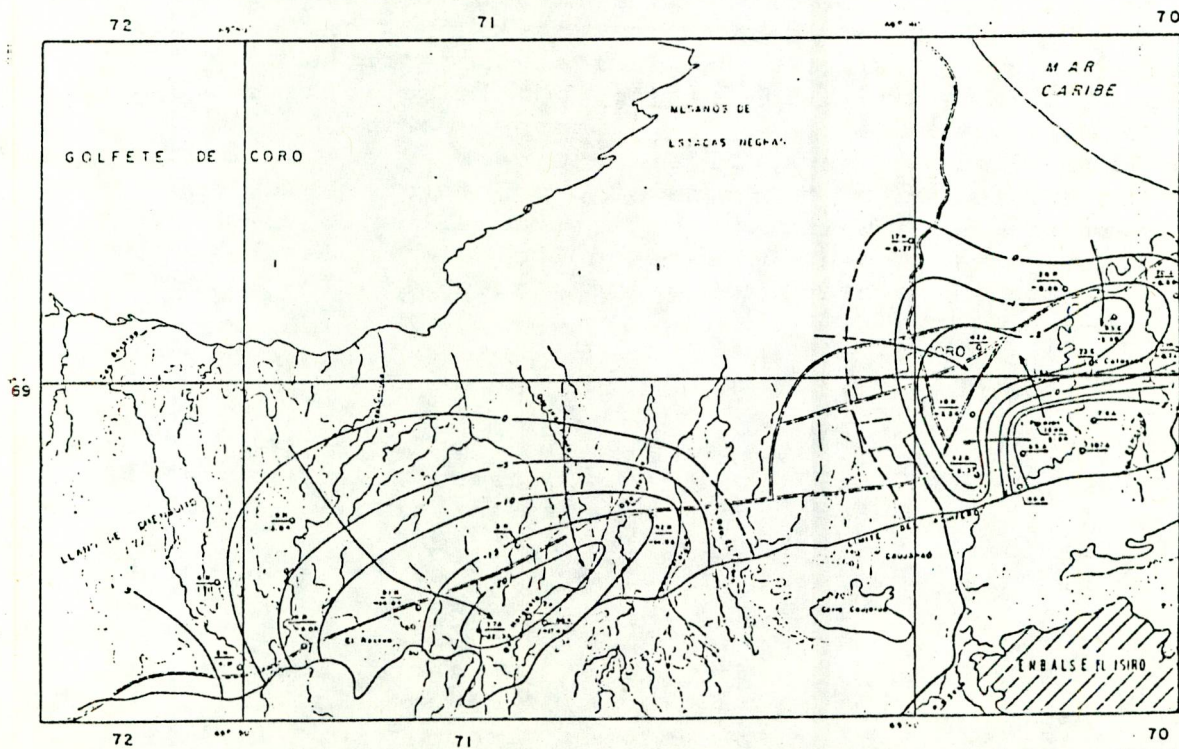


FIG. 2.- MAPA DE HIDROISOHIPSAS
1.984

Para el año 1983, el contenido de cloruros variaba entre 100 y 1.500 ppm, observándose los valores más elevados hacia el Norte, en dirección de la costa. Las altas concentraciones de cloruros en la parte Norte de los acuíferos de Coro, así como el aumento del contenido de cloruros hacia el Sur, reflejan una fuerte intrusión salina y el avance del frente de esta intrusión hacia el Sur, lo cual está confirmado por el incremento de la relación Cl/HCO_3^- . Para el año 1984, los valores de la relación Cl/HCO_3^- cerca del piedemonte eran inferiores a uno, esto significa que el agua subterránea en esta área es normal, sin contaminación con agua de mar; en cambio hacia el Norte esta relación aumenta paulatinamente hasta valores superiores de 15, acusando una alta contaminación por intrusión de agua de mar (ALVARADO, 1990).

La planicie costera de Falcón, constituye una de las regiones agrícolas más importantes del Estado, para cuyo desarrollo las aguas subterráneas juegan un papel determinante. Una de las fuentes principales para el abastecimiento de agua de riego, son las aguas subterráneas del acuífero de Coro. Como se describió anteriormente, debido a la explotación intensiva de este acuífero, se está produciendo el descenso de los niveles y la salinización de las aguas subterráneas, lo cual a su vez está ocasionando la salinización de los suelos potencialmente agrícolas. Este deterioro de los suelos ha traído como consecuencia problemas de carácter socio-económico. Aproximadamente, el 20 % de 5.200 Has. de tierras agrícolas, se encuentran salinizadas, con conductividades superiores a los 4.000 $\mu\text{mhos/cm}$. Como resultado de esta salinización de suelos, muchas zonas (La Trinchera y La Pica) experimentaron cambios en el tipo de cultivo tradicional que se desarrollaba en estas áreas. Inicialmente el cultivo tradicional era la cebolla, pero debido a la salinización de los suelos la productividad bajó, haciéndose anti-económico, razón por la cual se cambió al cultivo de patilla, que soporta agua de riego y suelos más salinos. En vista de que la salinización de los suelos continuó incrementándose, la siembra de la patilla también fue anti-económica, para finalmente cambiar al cultivo de pasto. Actualmente, estos terrenos no producen ni pasto, consecuentemente en Venezuela se están presentando situaciones de desertificación de áreas potencialmente agrícolas, con la grave consecuencia de reducción de productos alimenticios para la población.

PLANICIE DE MARACAIBO

Al Sur-Oeste y Oeste de la ciudad de Maracaibo, en el Estado Zulia (Fig. 1), se encuentra un extenso acuífero granular, perteneciente en su mayor parte a la Formación El Milagro de edad Terciario. Abarca una superficie de 2.250 km^2 . En la parte Oriental los sedimentos que contienen los acuíferos principales, tienen un espesor cercano a los 200 m y almacenan un volumen total de agua de $250 \times 10^9 \text{ m}^3$. Los acuíferos son parcialmente confinados. Su recarga tiene lugar en la parte Occidental, habiendo alcanzado el volumen de $19 \times 10^6 \text{ m}^3$ por año, para el periodo 1968/1969. El consumo durante el mismo periodo fue considerablemente mayor, llegando a $60 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$ aproximadamente, del cual

un 80 % sirvió para el abastecimiento de la ciudad de Maracaibo. Por consiguiente tuvo lugar un sobre-bombeo, hecho que ha inducido a la formación de dos conos de depresión y a la intrusión de agua salada proveniente del lago.

Para el periodo 1968-1970, los niveles piezométricos en las áreas de ubicación de los dos conos de depresión se encontraban de 10 a 20 m por debajo del nivel del lago. En estas dos áreas las aguas subterráneas tienen un TSD superior a las 1.000 ppm.

Actualmente, hacia el Norte de la ciudad de Maracaibo, en la planicie costera, el nivel piezométrico se encuentra de 30 a 40 m por debajo del nivel del lago, causando la intrusión de agua salada hacia el acuífero. El TSD en esta zona es mayor de 15.000 ppm, por consiguiente las aguas subterráneas no son aptas para consumo humano ni para riego (ALVARADO, 1990).

CUENCA DEL LAGO DE VALENCIA

La cuenca del Lago de Valencia esta ubicada en la parte Nor-Central de Venezuela y tiene una superficie de unos 3.200 km² (Fig. 1). La planicie esta cubierta de sedimentos aluvionales, con una superficie cercana a los 1.200 km². Esta cuenca es una depresión intramontana e hidrograficamente cerrada. En su parte central esta ubicado el Lago de Valencia, receptor natural de las aguas que drenan la región. De todos los recursos de agua aprovechados en la cuenca, mas del 85 % provienen de las aguas subterráneas.

De acuerdo a cálculos preliminares del balance hídrico de la cuenca y con los datos disponibles, se obtiene una descarga total de la cuenca entre 1,2 m³/s y 6,9 m³/s. La extracción de agua subterránea por bombeo alcanza a 14 m³/s (ALVARADO y SEILER, 1990). Estos datos, por si solos indican que existe una sobre-explotación de las aguas subterráneas, lo cual ha generado un cambio en el equilibrio hidráulico, produciendo una inversión de la dirección de flujo y alterando los parámetros químicos naturales del agua subterránea.

En ciertas zonas del acuífero de Maracay, ubicado en la parte Oriental de la cuenca, los niveles de agua registrados en el periodo 1969-1983, se encontraban en descenso permanente. La mayor depresión fué observada en la zona Este de la ciudad de Maracay, donde en 13 años bajaron 24 m, alcanzando un nivel piezométrico de 10 m por debajo del nivel del lago. De la misma manera en la parte central del acuífero de Valencia, los niveles bajaron unos 7 a 14 m, alcanzando una cota absoluta de unos 10 m por debajo del lago. Como resultado de este descenso de los niveles, se han formado varios conos de depresión, provocando la intrusión del agua contaminada del lago hacia el acuífero (Fig. 3).

En algunas zonas de los acuíferos de la cuenca del Lago de Valencia, los parámetros químicos del agua subterránea han sido alterados por diferentes fuentes, siendo las principales la intrusión

NIVELES DE AGUA SUBTERRANEA MARZO 1982

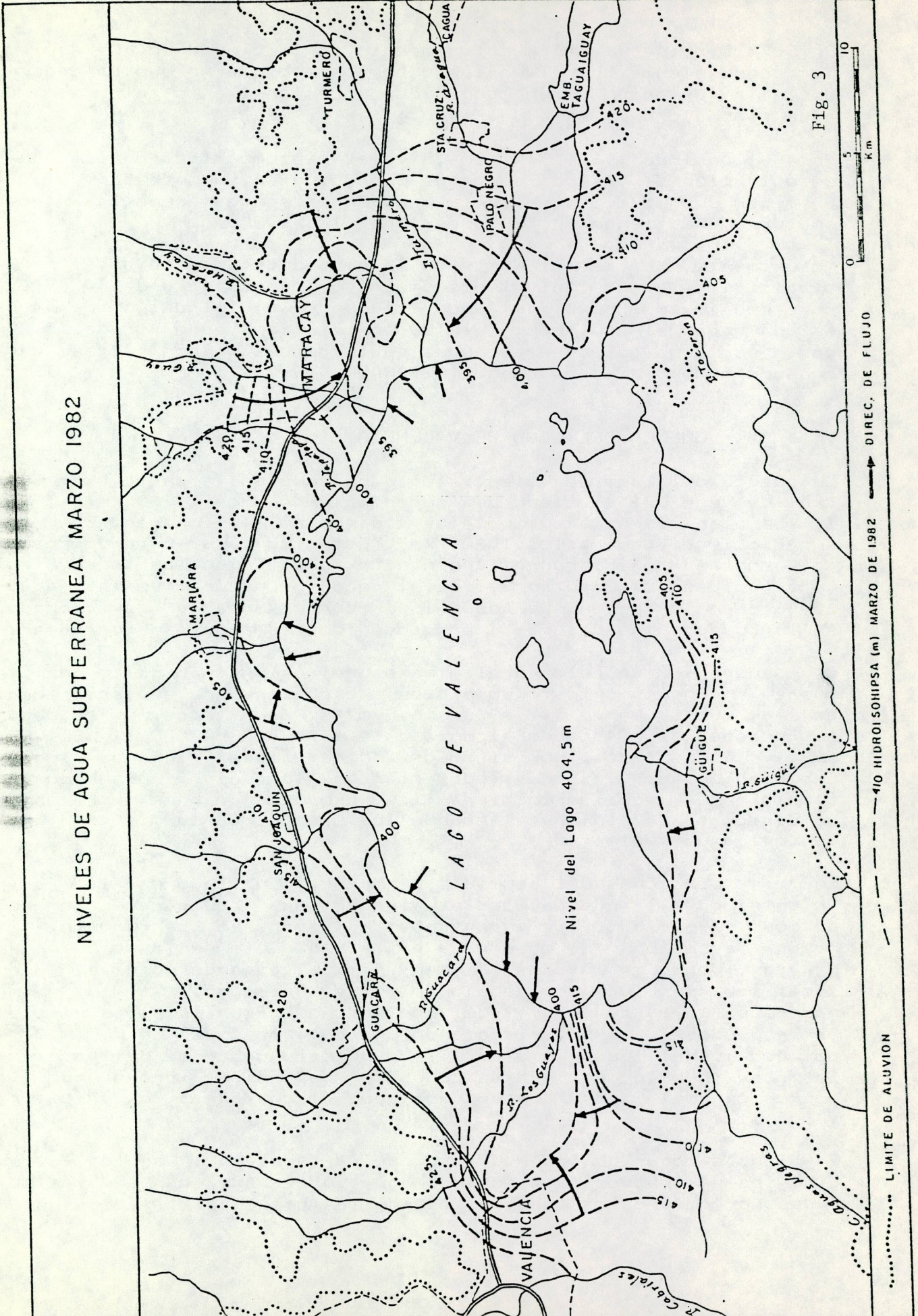


Fig. 3

de aguas del lago, la infiltración de aguas de los caños y ríos cargados de contaminantes, la infiltración de agua de riego y el flujo vertical de acuíferos profundos, cuyas aguas tienen un alto contenido de sulfatos. Las concentraciones del TSD, en general, se incrementan gradualmente a partir del borde rocoso del relleno fluvio-lacustre en dirección al lago, con valores cercanos a las 200 ppm hasta valores superiores de 3.800 ppm, siendo estas últimas inapropiadas para consumo humano y para riego de determinados cultivos y en suelos poco permeables.

ACUIFEROS DEL VALLE DE QUIBOR

El Valle de Quibor está ubicado en la parte central del Estado Lara (Fig. 1). Tiene un clima árido, con bajas precipitaciones. Es una región preponderantemente agrícola, con una extensión aproximada de 240 km². La fuente principal de abastecimiento de agua para la actividad agrícola, proviene de las aguas subterráneas. La explotación indiscriminada de este recurso comenzó el año 1959, la cual ha contribuido al desequilibrio en el balance hídrico.

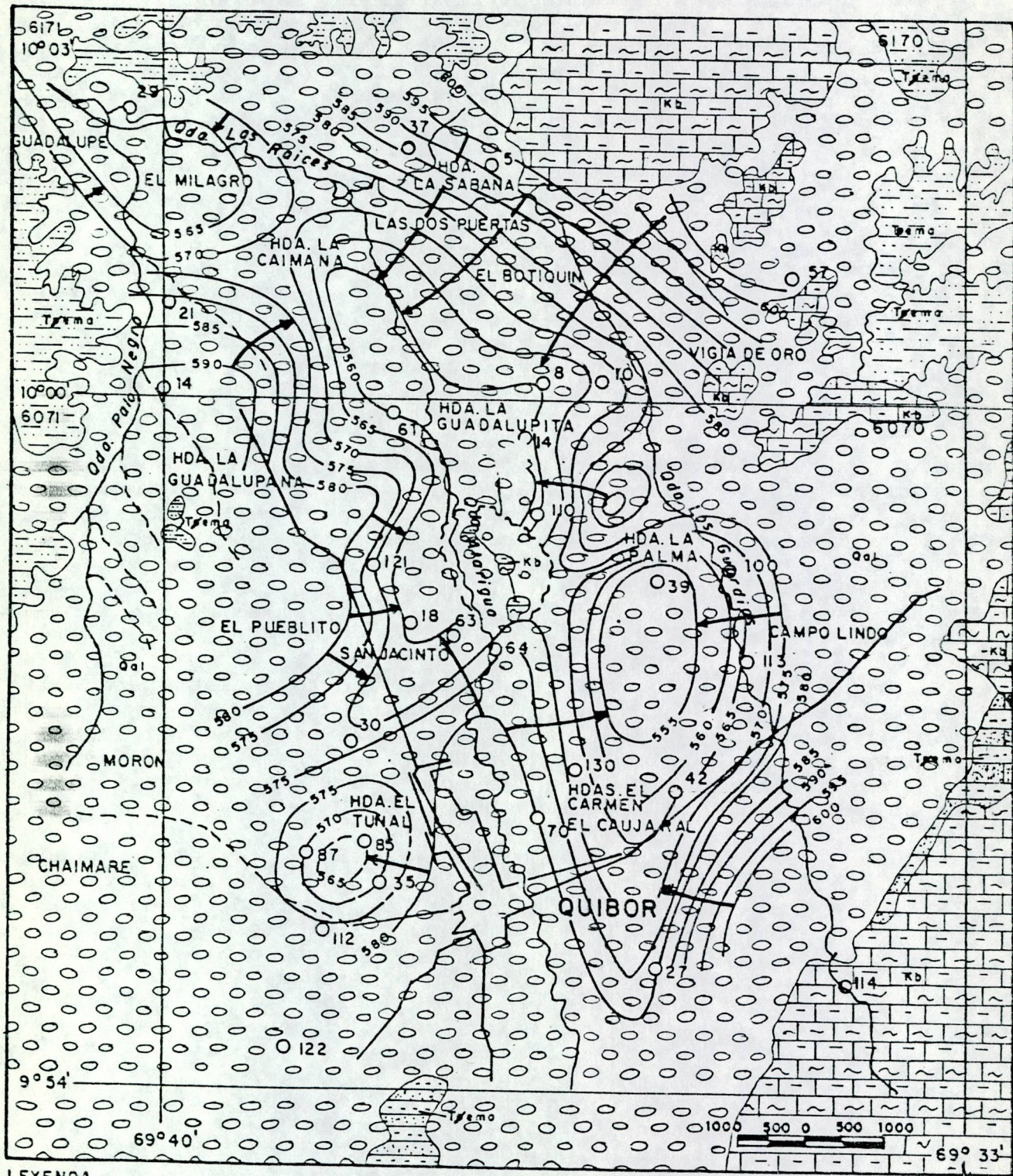
Los acuíferos de mayor importancia y que actualmente se explotan, están constituidos de lentes de arena y grava con intercalaciones de capas de arcilla, pertenecientes al relleno fluvio-lacustre de edad Cuaternaria. El máximo espesor en el sector Norte alcanza a 120 m, con un contenido de medio poroso de 28,6 % y un espesor saturado de 90 m, en cambio en el sector Sur alcanza a 230 m, cuyo contenido de medio poroso es de 39,2 % y el espesor saturado de 110 m (ALVARADO, 1989).

Las profundidades de los niveles de aguas subterráneas para el año 1987, en el sector Norte, varían entre 20 y 86 m y en el sector Sur entre 81 y 135 m. Entre los años 1963 y 1987, el máximo descenso de los niveles fué de 53 m en el sector Norte y de 95 m en el sector Sur, lo cual ha provocado la formación de varios conos de depresión (Fig. 4)(ALVARADO, 1989).

En el área de mayor explotación (90 km²)(Fig. 5), el volumen promedio anual de agua extraído para el periodo 1975-1987, fué de 22×10^6 m³. El volumen promedio anual de recursos renovables para este periodo fué de 17×10^6 m³, por lo tanto, el volumen de agua extraído supera a los recursos renovables en 5×10^6 m³, creando un desequilibrio en el balance hídrico de ésta área. El volumen de reservas permanentes es de 125×10^6 m³, consecuentemente el tiempo para el agotamiento total del acuífero en esta área es de 25 años.

Como resultado de la sobre-explotación de los acuíferos, se ha producido un flujo vertical de las aguas profundas con alto contenido de sulfatos, ocasionando un aumento en la mineralización de las aguas en los pozos. En la mayor parte del Valle de Quibor el TSD varía entre 600 y 3.000 ppm. En el sector Norte, las concentraciones de sulfato y calcio superan las normas de potabilidad (ALVARADO, 1990).

MAPA HIDROGEOLOGICO DEL VALLE DE QUIBOR - AÑO 1987



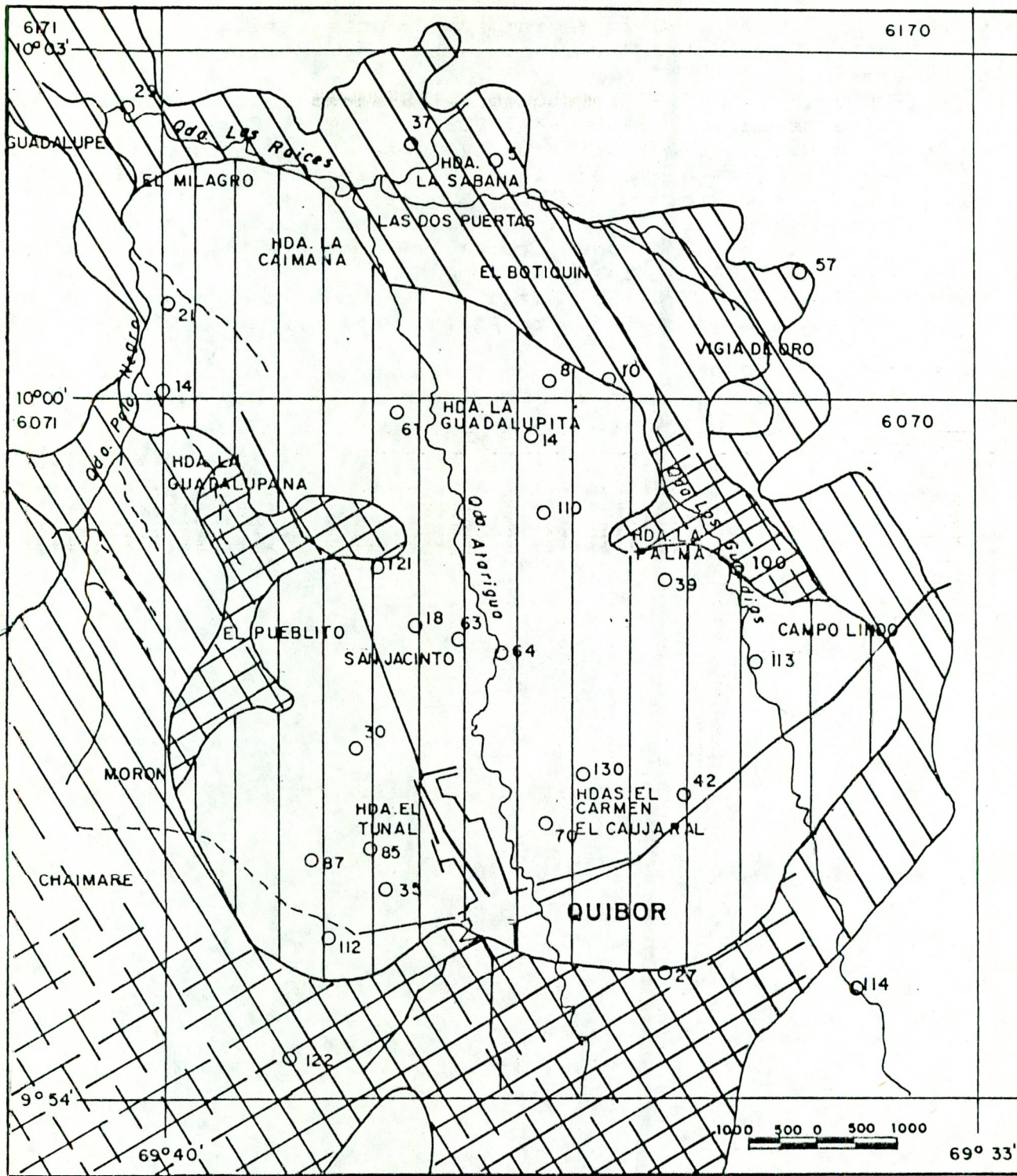
LEYENDA

- 36 N° del pozo
- POZO DE AGUA
- 560 ———— HIDROISOHIPSA (M) AÑO 1987
- DIRECCION DE FLUJO
- ⊖ LIMITE DE ZONA ROCOSA

- FORMACION BARQUISIMETO (Kb)
- FORMACION MATATERE (T_{pe}md)
- FORMACION MORAN (T_{pe}mo)
- ALUVION RECIENTE (Qal)

FIG. 4

MAPA DE ZONIFICACION DE LAS POSIBILIDADES DE MANEJO Y CONTROL DE LA EXPLOTACION DE AGUAS SUBTERRANEAS



LEYENDA

30° del pozo
 ○ POZO DE AGUA




-  SOBRE EXPLOTADA
-  CON ALTO RIESGO DE AGOTAMIENTO TOTAL
-  CON POSIBILIDADES RESTRINGIDAS DE EXPLOTACION

FIG. 5

BIBLIOGRAFIA

- ALVARADO R., J. 1989. Regiones y Características Hidrogeológicas de Venezuela. VII Cong. Geol. Ven., Mem., T. III, Barquisimeto.
- ALVARADO R., J. 1989. Estudio del Sistema Hidrogeológicos del Valle de Quibor, Edo. Lara. DGSIIA, MARNR, Caracas.
- ALVARADO R., J. 1990. Deterioro y Contaminación de Acuíferos y la Ley de Aguas en Venezuela. I Simp. sobre Hidrol. del Caribe, Mem. Puerto Rico.
- ALVARADO R., J.; SEILER, K.P. 1990. Investigación Hidrogeológica, Isotópica e Hidroquímica en la Cuenca del Lago de Valencia. ARCAL XIII-MARNR, Caracas.
- ALVARADO R., J. 1990. Salinización de Acuíferos Costeros en Venezuela. 6° Cong. Bras. de Aguas Subterráneas, Anais, ABAS, Porto Alegre.
- INOS-TAHAL 1970. Estudio para el Desarrollo de los Recursos de Aguas Subterráneas en las Regiones de Valencia, Coro y Pedregal. Vol. VI, INOS, Caracas.

IV ENCUENTRO NACIONAL CLIMA, AGUA Y TIERRA
CARACAS, 1992

EVALUACION Y PROSPECCION DE LOS RECURSOS HIDRAULICOS EN
ANZOATEGUI CENTRAL, ESTADO ANZOATEGUI

J. ALVARADO R., A. FERMIN R., F. DECARLI Y D.M. CONTRERAS *

* M.A.R.N.R., DGSIASV, Dirección de Hidrología y Meteorología,
Esquina Camejo, Ed. Camejo, Piso 5, Silencio, Caracas.

INTRODUCCION

El presente estudio tiene por objetivo determinar el régimen de las aguas subterráneas y evaluar el potencial de estos recursos con fines de aprovechamiento racional para el suministro a la industria petrolera, a la actividad agrícola y al consumo humano, al mismo tiempo detectar los fenómenos de contaminación de los acuíferos por efecto del desarrollo de la región. Con este propósito, primeramente se ha realizado la evaluación de los recursos hídricos, mediante el cual se determinó el régimen y las reservas geológicas y renovables de las aguas subterráneas. Estos resultados sirvieron de insumo para la simulación matemática, que permitió definir el comportamiento del acuífero en función de tiempo y espacio, al mismo tiempo establecer el sistema de explotación racional. Este estudio constituye el elemento básico para que el MARNR administre el recurso y elabore las normas de explotación con criterio conservacionista.

Este trabajo es el resultado de un convenio de cooperación entre el MARNR Y CORPOVEN S.A.

INFORMACION BASICA Y TRABAJOS EXPLORATORIOS

Para la ejecución del presente estudio, se ha recopilado todos los informes de estudios hidrogeológicos previos, así como información básica disponible, tales como mapas topográficos y geológicos, datos básicos de 419 pozos de agua, análisis físico-químicos de 168 pozos, niveles mensuales de 107 pozos, muchos de ellos a partir del año 1972, registros eléctricos de 1.200 pozos petroleros y datos climatológicos de 16 estaciones meteorológicas.

Durante la ejecución del presente estudio, se han perforado 12 pozos exploratorios profundos, con profundidades entre 73 y 105 m. Para la determinación de los parámetros hidrogeológicos de los acuíferos, así como las características hidráulicas de los pozos, en el marco de las exploraciones, se efectuaron ocho (8) pruebas de bombeo, cinco (5) de los cuales en baterías con pozos de observación.

Con el propósito de medir mensualmente la variación de niveles y el caudal de los principales ríos que drenan la región, se han

instalado tres (3) estaciones hidrográficas y siete (7) estaciones hidrométricas (Fig. 1).

CARACTERISTICAS GENERALES DEL AREA

La región bajo estudio abarca toda el área de la Mesa de Guanipa y zonas adyacentes, delimitada por las coordenadas $63^{\circ} 16'$ y $64^{\circ} 51'$ de Long. Oeste y $08^{\circ} 22'$ y $09^{\circ} 15'$ de Lat. Norte, con una superficie aproximada de 11.400 km^2 (Fig. 1).

Es la región petrolífera más importante de los Llanos Venezolanos y la segunda en magnitud del país. En esta región se encuentran la mayor parte de los campos petrolíferos del Área Mayor de Oficina.

Las condiciones climatológicas, la calidad de sus suelos y la magnitud de las reservas geológicas y renovables de aguas subterráneas, constituyen factores que han impulsado el desarrollo de una agricultura intensiva, acompañado de un crecimiento demográfico acelerado.

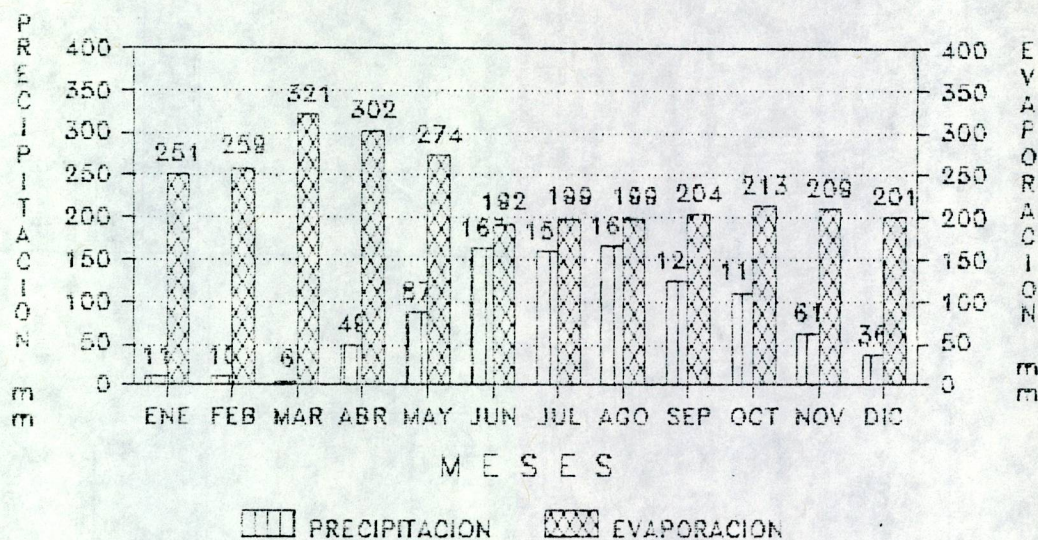
La región de Anzoátegui Central, fisiográficamente pertenece a los Llanos Orientales, el cual se caracteriza por la presencia de mesas extensas y planas, con una altitud máxima de 300-340 m. La formación de estas mesas proviene de la erosión retrógrada de la llanura piemontina, formada encima del relleno de la cuenca sedimentaria de oriente durante el período netamente erosional y sedimentario del Pleistoceno (DIVISION DE HIDROGEOLOGIA, 1973). La constitución de las mesas es generalmente arenosa con grano variable, frecuentemente más grueso hacia los bordes Norte y Oeste y más fino hacia el Este y Sur.

La red hidrográfica está formada principalmente por ríos subsecuentes de considerable longitud, con tributarios resecuentes relativamente cortos muy diversificados de tipo dendrítico, y numerosos tributarios obsecuentes, muy cortos y no ramificados. Debido a que la zona superficial, en la mayor parte de la región bajo estudio, está cubierta por sedimentos predominantemente permeables, el drenaje superficial es escaso, lo cual implica una alta tasa de infiltración del agua de precipitación.

CLIMATOLOGIA

La precipitación media anual, para el período 1974-1987 es de 984 mm. La distribución media mensual de las precipitaciones es unimodal, con un máximo entre los meses de mayo y octubre (82 % de las precipitaciones) y un mínimo entre los meses de noviembre y abril (Fig. 2). Arealmente los eventos de precipitación no son uniformes, además son muy localizados y corresponden al tipo chubasco. Su duración es breve y ocurre por lo general en horas de la tarde, como resultado de procesos convectivos (ALVARADO, 1979). Es característico en la región de Anzoátegui Central, que en un mes normalmente seco, un fuerte aguacero puede producir una

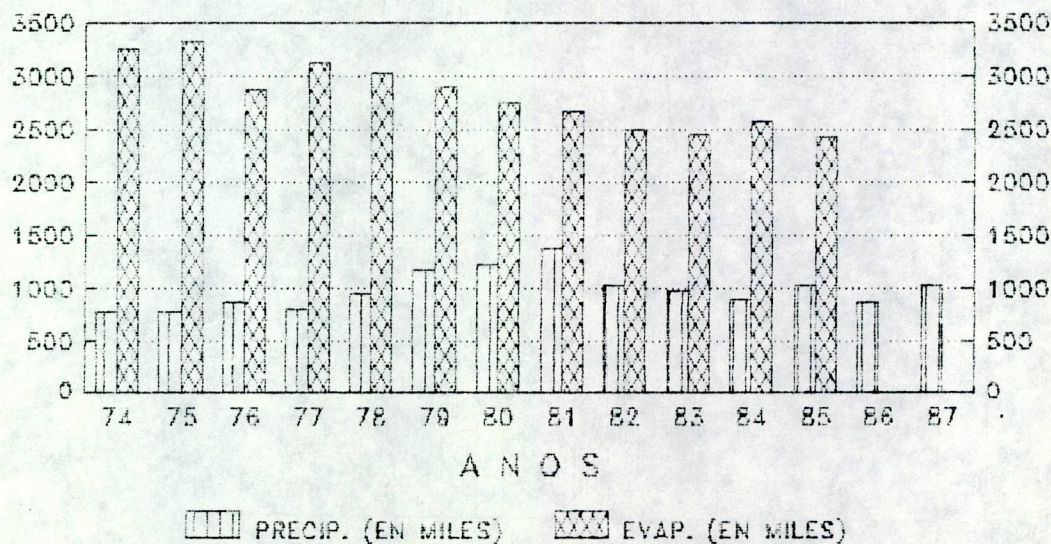
DISTRIBUCION MENSUAL DE PRECIPITACION Y EVAPORACION (PERIODO 1974-1987) REGION DE ANZOATEGUI CENTRAL



PRECIPITACION MEDIA ANUAL = 984 mm
 EVAPORACION MEDIA ANUAL = 2.822 mm
 TEMPERATURA MEDIA ANUAL = 28.8 °C

FIG. 2

DISTRIBUCION ANUAL DE PRECIPITACION Y EVAPORACION (PERIODO 1974-1987) REGION ANZOATEGUI CENTRAL



PRECIPITACION MEDIA ANUAL = 984 mm
 EVAPORACION MEDIA ANUAL = 2.822 mm
 TEMPERATURA MEDIA ANUAL = 28.8 °C

FIG. 3

precipitación significativa, completamente fuera del rango de los valores medios. En el periodo 1974-1987, seis años pueden ser considerados como extremos (tres secos y tres húmedos). Esto demuestra que los periodos secos y húmedos son impredecibles y largos, pero sin mostrar una secuencia cíclica (Fig. 3).

Las mediciones más completas y actualizadas de evaporación de tina, se tiene en la estación El Tigre CIA. Para el periodo 1974-1985 la evaporación media anual es de 2822 mm. La distribución mensual es bimodal, con máximos entre los meses de marzo a mayo y de octubre a noviembre (Fig. 2). Estos máximos coinciden con los meses de máxima temperatura. Los valores de evaporación media anual, hasta el año 1979 son elevados, con un máximo de 3325 mm en el año 1975; a partir del año 1980 estos valores disminuyen considerablemente, siendo el más bajo el año 1985 con 2424 mm (Fig. 3).

La temperatura media anual es de 26,8 °C, con un promedio de mínimas de 21,1 °C y de máximas de 32 °C, por lo tanto hay una variación en relación al promedio anual de $\pm 5,5$ °C.

CARACTERISTICAS HIDROGEOLOGICAS DE LA REGION

La región de Anzoátegui Central esta ubicada en la cuenca hidrogeológica de los Llanos Bajos, perteneciente a la subprovincia de los Llanos Orientales, la cual a su vez corresponde a la provincia de Orinoco (ALVARADO, 1989).

Geológicamente esta situado dentro del flanco Sur y parte central de la cuenca sedimentaria de Venezuela Oriental.

En la mayor parte del área bajo estudio afloran sedimentos clásticos de la Formación Mesa (Qpm). En la parte Occidental se encuentran en superficie sedimentos de las Formaciones Las Piedras (Tmplp) y Freitas (Tmf). En los valles de los ríos se extienden zonas angostas de aluviones (Qal).

Los sedimentos correspondientes a estas formaciones, de acuerdo a su comportamiento hidrogeológico, pueden ser diferenciados en dos categorías litológicas (DIVISION DE HIDROGEOLOGIA, 1972; ALVARADO, 1989):

- Unidad litológica compuesta de sedimentos no consolidados, poco consolidados y/o consolidados, constituidos de gravas y arenas con intercalaciones de capas de arcilla, con porosidad intergranular e importancia hidrogeológica relativa grande a pequeña (Qal, Qpm y Tmplp).
- Unidad litológica representada por sedimentos predominantemente arcillosos, prácticamente impermeables e importancia hidrogeológica relativamente muy pequeña (Tmf).

La distribución del espesor acumulativo del medio permeable (arenas y Gravas), es irregular. Por la lenticularidad de las

capas se observan cambios de facies y del espesor acumulativo del medio permeable a distancias relativamente cortas.

En el intervalo de 0 a 200 m de profundidad, los máximos espesores (120-180 m) del medio permeable, se encuentran en el sector central (Mesa de Guanipa), en cambio hacia el Oeste un 80 % de este intervalo es predominantemente arcilloso. En la mayor parte de las áreas hacia el Norte y Sur, el espesor del medio permeable es inferior a 100 m. Hacia el Este y Sur-este el espesor promedio varía entre 100 y 120 m.

En general en el intervalo de 0 a 200 m de profundidad, aproximadamente en el 41 % de la región, el espesor del medio permeable varía entre 100 y 140m, en el 32 % entre 60 y 100 m, en el 14 % mayor a 140 m y en el 13 % menor a 60 m.

En el intervalo de 200 a 300 m de profundidad, el espesor del medio permeable en el 48 % de la región varía de 20 a 40 m, en el 32 % entre 40 y 60 m, en el 16 % se presentan espesores superiores a 60 m y solamente en un 4 % espesores menores de 20 m.

Para el intervalo de profundidad entre 300 y 400 m, el 43 % del área total tiene espesores entre 40 y 60 m, el 35 % menor de 40 m y el 22 % mayor de 60 m.

De este análisis del medio poroso resulta que la mayor parte del área bajo estudio, hasta la profundidad de 400 m, ofrece muy buenas condiciones para la acumulación de aguas subterráneas, excepto la zona occidental, donde las posibilidades acuíferas son muy reducidas.

CARACTERISTICAS HIDROGEOLOGICAS DE LOS ACUIFEROS

En la región de Anzoátegui Central se encuentran los reservorios mas importantes de aguas de aguas subterráneas de Venezuela, donde los acuíferos tienen las mejores características hidrogeológicas y los rendimientos mas altos del país.

De acuerdo a los resultados de las pruebas de bombeo realizadas en la región, las transmisividades varían de 1030 a 3970 m²/dia, estos valores corresponden a pozos con profundidades entre 64 y 257 m y con espesores saturados entre 17 y 88 m. Las permeabilidades varían entre 24 y 75 m/dia. La distribución areal de los valores de transmisividad y permeabilidad es muy irregular, lo cual está relacionado con la distribución desuniforme del medio permeable. Sin embargo, en terminos generales, los valores mas altos se encuentran en la parte central y los valores mas bajos hacia el Nor-oeste.

El valor del coeficiente de almacenamiento se encuentra en el orden de $7,5 \times 10^{-4}$ a $3,0 \times 10^{-3}$, lo cual indica que los acuíferos que fueron probados mediante bombeo se encuentran bajo presión; por lo tanto, son del tipo semi-confinado, con la posibilidad de que en la parte somera, hasta profundidades de 20

a 30 m, sean libres.

REGIMEN DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS

Para la evaluación del funcionamiento del sistema hidrogeológico de una región, es importante el análisis de la fluctuación de los niveles de aguas subterráneas, de sus reacciones ante las precipitaciones y otros factores de recarga y descarga de los acuíferos.

Para el control del comportamiento de los acuíferos en función de tiempo y espacio, así como para la planificación de un manejo racional de la explotación del recurso agua, es imprescindible la observación sistemática de los niveles de aguas subterráneas.

La profundidad de los niveles de agua en los pozos varían entre 0.5 m (pozo 5335014N) en Las 2 Matas, cerca del río Tigre y 64 m (pozo 5337028N) en campo Aventazón. En general los niveles mas someros se encuentran cerca de los ríos y los mas profundos hacia el Oeste, en las zonas topográficamente mas elevadas o cerca de los farallones rivereños. En la mayor parte de la región, los niveles se registran entre 15 y 30 m de profundidad.

Las fluctuaciones de niveles en el transcurso de un año, son relativamente pequeñas, no superan el metro y medio. Sin embargo, se producen fluctuaciones periódicas con intervalos de 5 a 8 años, dependiendo de los fenómenos climatológicos y de la intensidad de explotación de los acuíferos, con variaciones de niveles hasta de 7 m. Esta característica muestra que los acuíferos de Anzoátegui Central, son muy sensibles a los fenómenos de precipitación y explotación de las aguas subterráneas. Una explotación intensiva de este recurso puede provocar un abatimiento rápido de los niveles, mas aun en épocas de sequía.

La superficie de la mesa de agua para el año 1985, desde el punto de vista regional, presenta una morfología relativamente complicada, con un paralelismo a la topografía del terreno. Los valores absolutos de los niveles de la mesa de agua varían entre 80 y 290 m. s. n. m. Los valores mas bajos se encuentran cerca de los ríos Pao y Caris, en cambio los valores mas altos se observan en la parte Occidental del área bajo estudio, cerca de la divisoria hidrográfica entre los ríos que drenan hacia el Este y hacia el Oeste y Nor-oeste. Localmente existen altos piezométricos en las divisorias hidrográficas de los ríos que drenan la región. A partir de estas divisorias, la superficie piezométrica tiene un declive hacia los drenajes superficiales.

Regionalmente el flujo subterráneo es hacia el Este y Sur-este, en cambio localmente las líneas de flujo son convergentes hacia los ríos, por lo tanto la escorrentía de ellos, proviene fundamentalmente de la descarga natural de los acuíferos.

Las áreas principales de recarga de los acuíferos, se encuentran en las divisorias hidrográficas de los ríos que drenan la región

y particularmente en el sector Occidental, donde se encuentran los niveles piezométricos mas altos y representa la divisoria hidrográfica entre los ríos que drenan hacia el Este y Sur-este y hacia el Oeste y Nor-oeste.

Las zonas mas importantes de descarga constituyen los ríos, los cuales estan alimentados por las emanaciones naturales de los acuíferos. Gracias a esta descarga natural de los acuíferos existen los morichales, donde se desarrolla un ecosistema muy sensible y particular de la región. La descarga de los acuíferos, también se produce por flujo subterráneo lateral hacia el Este y Sur-este.

RESERVAS PERMANENTES

Las reservas permanente o geológicas se ha estimado en base a los mapas del medio poroso para los intervalos de profundidad de 0 a 200 m, de 200 a 300 m y de 300 a 400 m. La porosidad efectiva de los acuíferos, arealmente tiene una variación considerable (de 10 a 20 %). Para los efectos de estimación de las reservas permanentes hasta la profundidad de 400 m, como porosidad efectiva promedio, se ha considerado aceptable el valor de 16 %.

El volumen de agua acumulado en el medio permeable hasta la profundidad de 200 m y en una superficie de 8.000 km², es de 129,5 x 10⁹ m³; es decir, con una capacidad de almacenamiento de agua aproximada de 16 x 10⁶ m³/km².

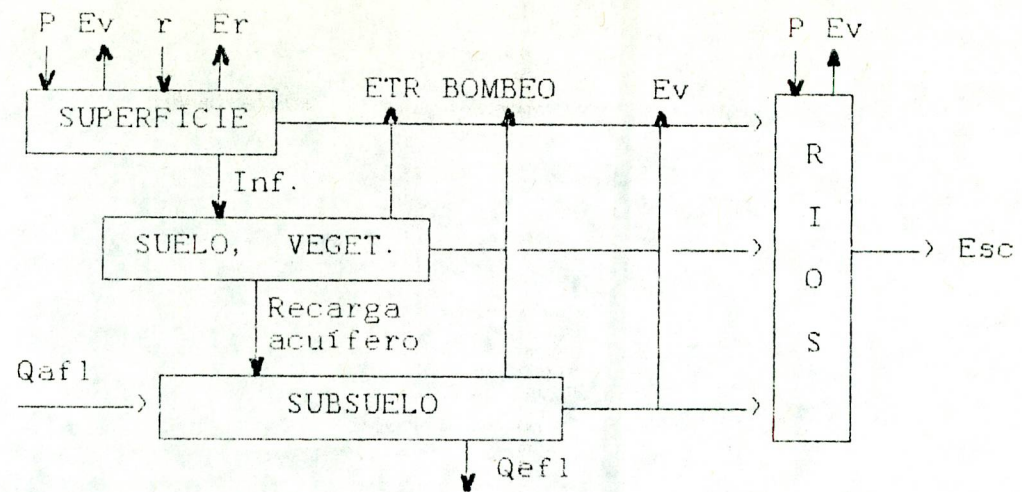
En el intervalo de 200 a 300 m de profundidad para una superficie de 8.480 km², el volumen de reservas permanentes es de 57,5 x 10⁹ m³, con una capacidad de almacenamiento de 6,8 x 10⁶ m³/km².

Las reservas permanentes en el intervalo de profundidad de 300 a 400 m, para una superficie de 9.880 km², es de 72,4 x 10⁹ m³, con una capacidad de almacenamiento de 7,3 x 10⁶ m³/km².

BALANCE DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS

Para estimar el balance de los recursos hídricos de una región, primeramente es necesario determinar todos los componentes que influyen en el flujo de las aguas, tanto superficiales como subterráneas. Despues de definir todos estos componentes, se requieren datos de mediciones, preferiblemente de un periodo largo y continuo. En los últimos 20 años, en la región de Mesa de Guani-pa, se realizan diferentes tipos de observaciones relacionadas con los recursos hídricos.

De acuerdo a las características hidrogeológicas de Anzoátegui Central, el funcionamiento del sistema de las aguas subterráneas en esta región, se puede esquematizar de la siguiente forma:



Este esquema permite visualizar todos los parámetros que influyen en el sistema hidrogeológico de la región y la interrelación que existe entre cada uno de ellos. En base a este esquema del funcionamiento del sistema hidrogeológico, la expresión del balance de las aguas subterráneas es la siguiente:

$$\text{RECARGA} \approx \text{DESCARGA}$$

Los componentes de esta igualdad son (en millones de $\text{m}^3/\text{año}$):

$$P + Q_{af1} + I_r \approx ETR + Esc + Q_b + Q_{ef1} + E_r$$

$$11.252 + 255 + 8 \approx 9.000 + 450 + 40 + 2025 + \text{BAJO}$$

El orden de magnitud de las reservas renovables de aguas subterráneas, esta definida por el flujo base, consecuentemente es igual a $2025 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$. En este volumen está incluido el agua de precipitación que recarga al acuífero por infiltración directa (16 % del agua de precipitación) y el agua que ingresa al sistema por flujo subterráneo lateral.

CALIDAD DE LAS AGUAS

La capacidad de uso de las aguas depende de su composición química y de sus propiedades físicas. En la región de Anzoátegui Central, las aguas subterráneas son aprovechadas, principalmente en tres usos básicos: doméstico o consumo humano, riego e industrial.

El total de sólidos disueltos (TSD) en el área bajo estudio varía de 12 a 290 ppm. En la mayor parte de la región, las concentraciones de sólidos disueltos es inferior a 50 ppm. Solamente en zonas muy restringidas se encuentran valores superiores a 100 ppm. Además, no se nota ninguna diferencia en la mineralización total promedio entre los acuíferos profundos y someros. La mineralización del agua en la mayoría de los ríos, también es por debajo de las 50 ppm. De acuerdo al TSD, las aguas subterráneas y

superficiales en Anzoátegui Central son dulces, de muy buena calidad para consumo humano.

Las concentraciones de los aniones y cationes predominantes son muy bajas. Entre los micro-elementos el ión de hierro es el único que tiene concentraciones elevadas, alcanzando en algunas zonas hasta 2,4 ppm. Por lo tanto, en aquellas áreas donde la concentración de hierro es superior a 1,0 ppm, no es recomendable su uso con fines de consumo humano y doméstico sin previo tratamiento.

Los aniones predominantes son los bicarbonatos y los cloruros y entre los cationes prevalectes se encuentran el calcio, magnesio y sodio. En la mayor parte de la región las aguas son del tipo químico bicarbonatada sódica y clorurada sódica.

En base a la conductividad eléctrica y a la rata de adsorción de sodio, las aguas de la región de Anzoátegui Central corresponden a la categoría C₁S₁, consecuentemente, estas aguas son de buena calidad para riego y pueden ser utilizadas en la mayoría de cultivos y suelos con poco peligro de salinidad e intercambio de sodio.

Los valores del Índice de Langelier son generalmente negativos, lo cual indica que las aguas son corrosivas.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En la región de Anzoátegui Central existen muy buenas condiciones para la acumulación y aprovechamiento de aguas subterráneas, tanto en lo que respecta a volúmenes como a calidad.

Los morichales constituyen ecosistemas muy frágiles, que existen gracias a la descarga natural de los acuíferos. Estos morichales son de gran importancia; puesto que, controlan todo el sistema ecológico de la región, por lo tanto un descenso radical de los niveles de las aguas subterráneas, por efecto de explotación intensiva o por fenómenos climatológicos, puede ocasionar la desaparición de los morichales, con consecuencias ambientales y ecológicas impredecibles.

Si bien existen grandes reservas permanentes y renovables de aguas subterráneas, por la fragilidad ecológica que representa la región, es importante ejercer un control mas estricto sobre los volúmenes de extracción de estos recursos.

BIBLIOGRAFIA

- ALVARADO R., J. (1979).- Estimación del Orden de Magnitud de la Reservas Renovables de Aguas Subterráneas en el Area de Cerro Negro, Estados Anzoátegui y Monagas. DGSIIA/IT/81, MARNR, Caracas.
- ALVARADO R., J. (1989).- Regiones y Características Hidrogeológi-

cas de Venezuela. VII Cong. Geol. Ven., Mem., Tomo III, Barquisimeto.

DIVISION DE HIDROGEOLOGIA (1972).- Mapa Hidrogeológico de Venezuela, Escala 1:500.000. Direc. de Geol., MMH, Caracas.

DIVISION DE HIDROGEOLOGIA (1973).- Estudio Preliminar de las Exploraciones Hidrogeológicas, Región Mesa de Guanipa. Direc. de Geol., MMH, Caracas.

**IV ENCUENTRO NACIONAL DE CLIMA, AGUA Y TIERRA
IV JORNADAS NACIONALES DE HIDROLOGIA,
METEOROLOGIA Y CLIMATOLOGIA**

**Tema 4.1: Procesamiento de datos: Los Sistemas de Información
Geográfica**

**PROYECTO PILOTO DE REGIONALIZACION
DE PARAMETROS CLIMATICOS EN UNA
ZONA AL NOR-OESTE DE VENEZUELA EN
EL CONTEXTO DEL SISTEMA DE
INFORMACION COMPUTARIZADA DEL
AMBIENTE**

AUTORES:

María Teresa Martelo*

Carmen Meneses*

Clemencia Rivas*

Luis León**

*** Dpto. de Agrometeorología. Dirección de Hidrología y Meteorología - M.A.R.N.R.
Proyecto SICA. Servicio Autónomo de Geografía y Cartografía Nacional - M.A.R.N.R.**

INTRODUCCION

El conocimiento de la distribución espacial de las variables climáticas es de gran importancia práctica. Ahora bien, la medición de estas variables se hace en forma puntual, y la red de medición debe estar distribuída de forma que sea representativa de las condiciones climáticas del área. Sin embargo, puede darse el caso de grandes extensiones donde no se dispone de ninguna medición, debido a problemas topográficos, logísticos, económicos, etc. Por lo tanto, el desarrollo de metodologías que permitan aumentar el conocimiento de la distribución espacial de las variables climáticas es una actividad que debe ser impulsada, especialmente en el caso de los países con problemas de información.

Este es un estudio piloto realizado para el área de Yacambú- Quibor en la cual se está desarrollando un sistema de riego de gran importancia para el Sector Agrícola Nacional, utilizando un sistema de información geográfica denominado Sistema de Información Computarizada del Ambiente, perteneciente al Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales Renovables, Servicio Autónomo de Geografía y Cartografía Nacional (Flores et al, 1991)

DESCRIPCION DE DATOS

El área de estudio está ubicada en la parte Nor- Occidental de Venezuela entre los 9° - 12° N y 69° - 70° 30' W. con una extensión de 46.500 km² aproximadamente. Para este trabajo se utilizaron 165 estaciones pluviométricas y 38 estaciones con datos de temperatura, y el período común elegido fue de 20 años: 1967 - 1986. También se usaron mapas a escala 1:250.000 a partir de los cuales se digitalizaron las curvas de nivel para intervalos de 80 m. La fuente de información climatológica fue el banco de datos de la Dirección de Hidrología y Meteorología del Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables, y la de los mapas el Servicio Autónomo de Geografía y Cartografía Nacional.

METODOLOGIA

El estudio consistió en la aplicación de un Sistema de Información Geográfica para desarrollar modelos de regresión lineal múltiple entre parámetros climáticos y variables fisiográficas, que permita conocer la distribución espacial de datos puntuales como son los parámetros climáticos.

La metodología se puede dividir en tres etapas: @ITEM1 = 1) Análisis estadístico de los datos climatológicos, a fin de garantizar su homogeneidad, y la obtención de promedios mensuales;

- 2) Producción de un Modelo Digital de Terreno y derivación de variables relacionadas con la ubicación y la fisiografía;
- 3) Determinación de modelos de regresión múltiple entre el parámetro climático y las variables fisiográficas, y producción de mapas del parámetro climático para cada mes.

Como software fueron utilizados el paquete GEnESIS (Geographic, Environmental, Economical and Social Information System, Solomon et al, 1991), para el procesamiento estadístico y desarrollo de modelos, y el paquete SPANS (Spatial Analysis System, INTERA TYDAC Technologies, 1991) para la generación de los mapas de distribución espacial de los parámetros climáticos.

ANALISIS ESTADISTICO

Los promedios mensuales de la variable climática fueron obtenidos de series históricas completas y homogéneas, lo cual implicó un procesamiento estadístico previo de dichas series, para completar los registros y verificar su homogeneidad (Fiering, 1963). En primer lugar, los datos fueron normalizados, y se calcularon sus estadísticos básicos: media, desviación estándar, kurtosis y skewness, además de usar el test de la corrida para verificar su homogeneidad temporal.

Ya establecido el número definitivo de estaciones a utilizar, se procedió al cálculo de datos faltantes y/o extensión de registro, para completar el período común elegido, usando una regresión múltiple con los

datos de las series normalizadas. Se calcularon todas las ecuaciones posibles, utilizando la estación con datos faltantes como variable dependiente y todas las combinaciones de dos estaciones cercanas como variables independientes. La idea básica era que en la serie extendida los valores del contenido de información de la media y la varianza fueran iguales o mayores a los de la serie original. @SUBSUBTIT = CALCULO DE VARIABLES FISIOGRAFICAS

Se seleccionó un tamaño de celda de 1 km x 1 km. Se digitalizaron las curvas de nivel de los mapas a escala 1:250.000 incluyendo sus límites y se generó un modelo digital de elevación (MDE). Con este modelo se calcularon las siguientes variables fisiográficas: pendiente, azimut, índice de orientación de la pendiente al norte, índice de orientación de la pendiente al este, distancia al mar (DTO) en dirección N-NE-E-SE-S-SW-W-NW (8 variables), efecto de escudo (SHE) en dirección N-NE-E-SE-S-SW-W-NW (8 variables) y altura de barrera (BH) en dirección N-NE-E-SE-S-SW-W-NW (8 variables).

Estas variables se calcularon primero usando el MDT de Sudamérica el cual está formado por celdas de 5' x 5' (aproximadamente 9,25 km x 9,25 km) disponible actualmente por GRID (Global Resource Information Database - proyecto de la UNESCO). Para el límite del área de estudio se tomaron los valores de las variables fisiográficas así calculadas, y dentro del área, se calcularon usando el MDE previamente generado.

DETERMINACION DE LOS MODELOS DE REGRESION MULTIPLE

Se realizó el cálculo de la correlación cruzada entre las variables fisiográficas, para determinar cuáles presentan correlaciones mayores a 80 % y así descartar las que aportan la misma explicación en el modelo. Se decidió con cuáles trabajar y cuáles eliminar en base a su grado de relación con el parámetro climático.

Se dividió el número total de estaciones en dos muestras (calibración - validación) utilizando una selección aleatoria. Se usó el método paso a paso (STEPWISE) para determinar las ecuaciones de regresión y mediante un proceso de tanteo, el número óptimo de variables que debe incluir esta ecuación, mediante la comparación de los errores estándar de calibración y validación obtenidos modificando el porcentaje de varianza explicada que acepta el modelo (factor F). A medida que F es menor, entran en el modelo un mayor número de variables explicativas, por lo que el error de la muestra de calibración disminuye, igual que el de la muestra de validación, pero a partir de un cierto valor de F, aunque el error de calibración sigue disminuyendo, el de validación comienza a aumentar.

Una vez obtenido F, se calculó un modelo tomando en cuenta todas las estaciones. Se decidió que el número máximo de variables explicativas no superara al 10 % (aproximadamente) del número total de estaciones utilizadas. Una vez obtenido el modelo total se hizo un análisis de la distribución de los errores, tanto de valores como de signos. Utilizando las ecuaciones de regresión para cada mes, se procedió a la generación de los mapas de distribución espacial de la variable climática analizada, así como a la generación de los mapas de distribución espacial de los errores, interpolándolos mediante el método TIN (Triangulated Irregular Network, INTERA TYDAC Technologies, 1991).

Por último, se verificó la confiabilidad de los modelos, asignando rangos de aceptabilidad en base a la magnitud del parámetro climático y a los errores estándar, tanto absoluto como relativo, y se generaron los mapas respectivos con una leyenda de cuatro clases: Aceptable, Moderadamente aceptable, Marginalmente aceptable y No aceptable. El resultado final son:

- a) Archivos con valores del parámetro climático en cada celda de 1 Km x 1 Km, para cada mes, y
- b) Mapas, tanto del parámetro climático como del grado de aceptabilidad del modelo, para cada mes.

ANALISIS DE RESULTADOS

Durante el proceso de normalización de las series de precipitación para completar los registros, se observó que algunas de las estaciones permanecieron no normales debido a la alta variabilidad de este parámetro y a la ocurrencia de eventos extremos, pero se decidió incluir a dichas estaciones en el estudio porque los eventos extremos afectaron a gran parte del área.

Una vez realizado todo el proceso, se observó en la distribución espacial de los errores estándar una concentración de valores similares, lo que indicó que los modelos obtenidos no eran aplicables a la totalidad del área, por lo que se decidió dividirla en dos partes, denominadas Quibor-A y Quibor-B. Para efectuar la partición se consideraron los valores del error estándar y su signo (sobre o subestimación), la distribución del régimen de precipitación y factores topográficos. Al subdividir el área, en Quibor-A quedaron 75 estaciones pluviométricas, y en Quibor-B 90 estaciones. Cada subárea fue dividida en muestras de calibración y validación, teniendo la muestra de validación un tamaño aproximado al 10 % de la muestra de calibración, y se repitió todo el proceso.

Una vez obtenidos los modelos de regresión de cada mes en cada subárea, se observó que las variables seleccionadas por los modelos son en su mayoría las relacionadas con las direcciones del I y III cuadrante, existiendo en Quibor-A una ligera predominancia de las direcciones W y NW y en Quibor-B del E y NE. Este resultado es razonable, ya que Quibor-B es la zona más expuesta a los Alisios, mientras que, en general, Quibor-A se encuentra detrás del complejo sistema de serranías del área, que afectan la dirección predominante del viento.

En la Tabla N° 1 aparecen los resultados de los modelos de regresión definitivos para cada mes y cada subárea; en la Tabla N° 2 se muestran los criterios usados para verificar la confiabilidad del modelo. Para ambas subáreas, en los meses de Abril, Septiembre, Octubre, Noviembre y Diciembre, se presentan altos coeficientes de correlación (67% - 85%) y bajos errores estándar relativos (menores a 33 %), lo cual indica que los modelos son aceptables, representando adecuadamente la distribución espacial de la precipitación. Para los meses de Enero y Febrero, y Marzo en Quibor-B, los errores son del orden del 40 %, pero como los errores absolutos son del orden de 10 - 13 mm, se asume que los modelos funcionan a niveles prácticos con suficiente precisión. Del análisis espacial de la confiabilidad se deduce que para aquellos meses donde los modelos funcionan satisfactoriamente, entre 77% y el 97% del área están comprendidos en los rangos de aceptable y moderadamente aceptable.

Para los meses de Mayo, Junio, Julio y Agosto en Quibor-A, así como para Mayo y Agosto en Quibor-B, se ve reflejada la complejidad de la zona tanto en el aspecto fisiográfico como en el climático.

Fisiográficamente el área de estudio incluye zonas costeras, un sistema complejo de serranías y depresiones, parte de la cadena de los Andes y parte del Piedemonte de los Andes. Climáticamente, en el área se presentan desde zonas áridas en la costa hasta muy húmedas en parte del Piedemonte y zonas montañosas, así como regímenes de precipitación de uni a plurimodales, con estacionalidad diferente: hacia la parte sur, la temporada lluviosa está concentrada, a grandes rasgos, entre Mayo y Octubre, ya que responde al movimiento de la Zona de Convergencia Intertropical, mientras que hacia la parte norte (costera), las lluvias se concentran entre Noviembre y Febrero, siendo originadas en su mayor parte por frentes fríos modificados que llegan desde las latitudes medias. Ahora bien, la cantidad total de precipitación recibida en estos meses es tan baja que no establece una diferencia significativa con los valores correspondientes a los de la zona sur donde se produce en ese momento la temporada seca. En vista de esta situación, sería conveniente probar una nueva partición del área para los meses de Mayo, Junio, Julio y Agosto, que considere en forma más adecuada el origen de la precipitación.

Para verificar si la aplicación de esta metodología es en todos los casos tan compleja, se realizó una prueba en otra zona del país, con relieve plano y climáticamente mucho más homogénea, la Cuenca del Río Unare. En este caso, el proceso completo, desde la digitalización de las curvas de nivel a escala 1:250.000 para generar el Modelo Digital de Terreno con celdas de 1 km x 1 km hasta la obtención de las ecuaciones de regresión definitivas, se realizó en un plazo muy corto, tres semanas, obteniéndose los resultados que se muestran en la Tabla N° 3. En toda la zona el origen de la precipitación es único, responde a la zona de convergencia intertropical, siendo los meses lluviosos mayo a octubre y los secos diciembre a abril. Además siendo un área plana y a menos de 400 msnm el relieve no influye significativamente en la distribución de la precipitación.

Asimismo, el proceso para obtener ecuaciones de regresión para otras variables climatológicas en el área original de estudio (Quibor), como las temperaturas máxima media y mínima media, se realizó en corto tiempo. Los resultados se muestran en la Tabla N° 4.

CONCLUSIONES

- a) La metodología es sensible a las diferencias fisiográficas y/o climáticas que se presentan en un área, como lo demuestra la distribución no homogénea del error estándar de la precipitación estimada para el área total, que obligó a subdividir a ésta en dos subáreas.
- b) Para parámetros climáticos como temperatura, o para la precipitación en áreas mas homogéneas tanto climática como fisiográficamente, la metodología produce resultados satisfactorios ya que los modelos de regresión presentan altos coeficientes de correlación y bajos errores estándar de estimación.
- c) La metodología en general se revela adecuada para la regionalización de parámetros climáticos, especialmente en áreas planas y/o climáticamente homogéneas.

REFERENCIAS

- Fiering, M. B. (1963). Use of Correlation to Improve Estimates of the Mean and Variance. U.S. Geological Survey Professional Paper 434-C.
- Flores, F., León, L., Rondón, V., Salcedo, R., Vilachá, V. (1991). Sistema de Información Computarizada del Ambiente. Documento presentado en la III Conferencia Latinoamericana sobre Sistemas de Información Geográfica. Viña del Mar, Chile.
- Gosselin, C., Haja, S.R., Solomon, S.I., Salcedo, R. (1989). Development of an Environmental Information System for Venezuela. IGARSS'89. Vancouver, Canada.
- INTERA TYDAC Technologies (1991). SPANS Reference Manual. Ottawa, Canada.
- Solomon, S.I., Caponi, C., Moreau, A., Dengo, M., Lee, M. (1991). The Geographic, Environmental, Economic and Social Information System (GEnESIS) for Artificial Intelligence Applications. Paper at the 19th General Assembly of the European Geophysical Society. Wiesbaden, Germany.

TABLA No. 1

CARACTERISTICAS DE LOS MODELOS DE REGRESION DEFINITIVOS USADOS EN LA REGIONALIZACION DE PRECIPITACION

AREA	MODELOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
A	Nº DE VARIABLES	4	2	4	1	2	2	1	4	9	10	8	10
	E. STANDARD (%)	45.72	42.47	29.64	35.31	48.37	82.98	87.62	53.76	30.01	21.62	22.50	31.89
	E. STANDARD (mm)	10.08	9.00	9.64	29.78	41.63	55.56	49.54	30.74	25.40	25.48	20.04	16.13
B	C. CORRELACION (%)	71.00	82.05	90.46	81.96	71.71	73.49	68.26	74.15	82.66	80.82	78.79	74.03
	Nº DE VARIABLES	12	10	7	9	5	13	5	2	9	4	9	9
	E. STANDARD (%)	46.74	43.97	39.76	29.13	34.84	28.27	29.10	58.20	30.88	32.12	27.01	33.17
	E. STANDARD (mm)	14.02	11.36	13.20	31.51	48.23	47.89	46.64	76.90	36.36	42.73	25.90	25.86
	C. CORRELACION (%)	77.34	73.59	77.40	85.36	84.19	88.97	86.63	66.17	84.85	74.08	67.34	78.49

TABLA No. 2

CRITERIOS PARA ANALIZAR LA CONFIABILIDAD DE LOS MODELOS DE REGRESION

ERROR ABSOLUTO	ERROR RELATIVO			
	> 50 %	35 - 50 %	20 - 35 %	< 20 %
< 25 mm	3	2	2	1
25 - 50 mm	3	3	2	2
50 - 75 mm	4	3	3	2
> 75 mm	4	4	3	3

L E Y E N D A

- 1 = ACEPTABLE
 2 = MODERADAMENTE ACEPTABLE
 3 = MARGINALMENTE ACEPTABLE
 4 = NO ACEPTABLE

TABLA No. 3

MODELOS DE REGRESION PARA PRECIPITACION EN LA CUENCA DEL RIO UNARE

MODELOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Nº DE VARIABLES	5	5	3	4	2	6	3	7	6	4	8	4
E. STANDARD (%)	23.9	45.5	40.8	21.2	13.1	13.5	13.7	12.0	14.9	14.2	22.9	35.7
E. STANDARD (mm)	3.6	2.6	2.1	7.7	9.9	19.7	22.1	19.7	19.8	14.8	12.8	10.4
C. CORRELACION (%)	71.1	74.4	57.8	79.4	89.0	84.4	69.4	81.8	74.1	66.6	73.9	67.6

TABLA No. 4

MODELOS DE REGRESION PARA TEMPERATURAS MAXIMA MEDIA Y MINIMA MEDIA EN EL AREA GENERAL DE ESTUDIO

MODELOS	TEMPERATURA MAXIMA MEDIA											
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Nº DE VARIABLES	3	3	3	4	5	4	5	5	4	3	2	3
E. STANDARD (%)	2.67	2.63	2.86	3.02	3.17	4.10	3.39	3.59	3.77	3.17	3.36	2.78
E. STANDARD (°C)	0.83	0.83	0.92	0.95	0.99	1.27	1.04	1.13	1.20	0.99	1.04	0.84
C. CORRELACION (%)	94.9	94.6	93.1	92.5	94.0	91.9	94.7	93.6	91.5	92.5	91.0	94.3

MODELOS	TEMPERATURA MINIMA MEDIA											
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Nº DE VARIABLES	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	1	1
E. STANDARD (%)	5.22	4.93	4.57	4.68	4.74	5.05	4.97	5.39	5.15	4.35	4.78	4.91
E. STANDARD (°C)	1.01	0.98	0.94	0.99	1.02	1.08	1.04	1.13	1.09	0.92	0.99	0.97
C. CORRELACION (%)	95.6	95.5	95.7	94.7	94.0	93.5	94.1	93.3	93.6	95.3	94.6	95.2

LA CONSERVACION VS. LA PRODUCCION DE SEDIMENTOS EN LA CUENCA ALTO BOCONO.

Ing. Civil Msc. Fernando Velásquez
Investigador del Centro de Ecología de
Boconó.

Después de más de una década de ejecución de los Programas de Conservación de Cuencas del Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables (MARNR) cabe preguntarse hasta qué punto han sido efectivos en el cumplimiento de sus objetivos. En este trabajo se trata de responder a esta pregunta analizando la situación de la Subcuenca Alto Boconó, en la cual se han evaluado, aproximadamente, tanto la magnitud y evolución de esos Programas, como el incremento en la producción de sedimentos en suspensión a la salida del área de drenaje que comprende.

1. Introducción

El deterioro de las cuencas altas en Venezuela ha sido alertado oportunamente por importantes estudios realizados por el MARNR y consecuente con ello se han implementado diversos Programas orientados tanto a promover el cambio de conducta del campesino como a la protección y ordenamiento de los recursos de suelo, agua y vegetación. El más significativo y antiguo de esos programas es el de Infraestructura Social Conservacionista (ISC), al cual se le incorporaron o le sirvieron de apoyo, los de Planificación, Investigación, Prevención y Defensa, Control de Torrentes y Educación Ambiental, entre otros.

En el caso particular de la cuenca alta del río Boconó, los diagnósticos realizados han dejado en evidencia la necesidad de reforzar los programas de Conservación de Cuencas del MARNR y además, adecuar los programas de otras instituciones que actúan en el ámbito rural, para integrarlos a un gran Plan de Manejo de la cuenca. En efecto, la acción ambiental realizada por el MARNR es muchas veces anulada por las prácticas promovidas por organismos de apoyo al sector campesino, como el MAC, CORPOANDES, FONCAFE, etc., especialmente en lo que se refiere a construcción de vías agrícolas (Ref.1). Esta exigencia de integrar y reforzar programas está siendo canalizada por el mismo Ministerio mediante la elaboración del Plan MARNR - BID de Conservación de la Cuenca del río Boconó (Ref 2).

En este Trabajo se trata de evaluar la bondad de los resultados obtenidos por esos programas analizando sus efectos a la salida de la subcuenca a través de la variación registrada en la producción de sedimentos en suspensión. El predicamento básico al respecto es que en una cuenca bien manejada, que en esencia significa mantenerla bajo un buen uso de la tierra, no debe haber un incremento en la producción de sedimentos.

Se entiende como incremento de ese parámetro aquel que se produce de un período a otro, bajo las mismas condiciones hidrológicas de precipitación y escorrentía. Para hacer estas determinaciones se ha aprovechado la información obtenida por el Centro de Ecología de Boconó, a través del Proyecto de Investigación financiado por el CONICIT y del convenio CEB-MARNR.

2.- Programas y Proyectos de Conservación de la Cuenca.

En la subcuenca Alto Boconó los proyectos conservacionistas se iniciaron en la década del 60 con las obras de conservación de suelos realizadas por el MAC. De hecho, este proyecto, constituido por terrazas y reforestación, fué la única manifestación tangible de inversión pública conservacionista hasta 1978 cuando se inicia el Programa de ISC del MARNR en dos localidades de ésta Subcuenca (Piedra Gorda y La Loma). En los años 1988 y 1989 esos proyectos se habían ampliado a otras 3 localidades y se daba inicio a otros programas complementarios: un control de cárcavas (Potrerito), un proyecto agroforestal (San Rafael) y el programa pionero de Agricultura no contaminante en la Microcuenca San Miguel.

Las obras de defensa y control de inundaciones se iniciaron en 1981, a raíz de las inundaciones catastróficas de ese año. A lo largo de esta década se registran inversiones con muchos altibajos y escasa planificación, siendo, por ejemplo, de 9.22 millones de Bs. en 1988 y solamente 1.6 en 1989. Esta deficiente planificación ha quedado patéticamente demostrada con los daños ocasionados por la creciente de 1990 (similar a la 1981).

A objeto de dar una idea de la evolución de la acción del estado en materia de Conservación en la Cuenca en estudio, en el cuadro No 1 se presenta la magnitud de las inversiones en obras o estudios contratados, desglosado por programas de conservación. Por no tener la globalidad del costo de cada uno de los programas mencionados se acepta un estimado del mismo en base a los indicadores deducidos del monto de obras y contratos.

Estas inversiones parten del año 1968 para coincidir con el período de registros de sedimentos en esa cuenca, y se incluye lo propuesto preliminarmente por el PLAN MARNR-BID como referencia más válida de la magnitud de los recursos necesarios para hacer un uso adecuado de la cuenca (Ref.2). La información disponible no permitía presentar datos de cada uno de los años en el lapso 68 - 89, razón por la cual se adoptan y promedian períodos de dos años 68-69, 78-79 y 88-89 para tener datos más representativos.

De ese cuadro se aprecia un incremento sostenido, desde 1968, en la acción del Estado en materia de conservación de la cuenca. Por su parte, según la estimación preliminar del Plan MARNR_BID realizada en 1989, los recursos necesarios para controlar el deterioro de la cuenca serían aún más elevados.

CUADRO No. 1

EVOLUCION DE OBRAS CONTRATADAS POR EL MARNR (*)
 POR PROGRAMAS Y POR PERIODOS, INCLUYENDO PLAN MARNR-BID
 (Miles de Bs. actualizados a 1989)

ACTIVIDAD O PROGRAMA	PERIODO 68-69(**)	PERIODO 78-79	PERIODO 88-89	PLAN MARNR-BID
ISC (***)	12	240	900	5360
REFORESTACION	8			6020
CONTROL DE TORRENTES Y CARCAVAS			1100	3160
INVESTIGACION Y PLANIFICACION			300	720
ED. AMBIENTAL			500	4440
PREVENCION Y DEFENSA			5410	1100
	20	240	8210	20800

(*) INFORMACION PRELIMINAR

(**) OBRAS DE CONSERVACION DE VERTIENTES DEL MAC

(***) INFRAESTRUCTURA SOCIAL CONSERVACIONISTA

3. Producción de sedimentos en suspensión.

3.1. Registros hidrométricos.

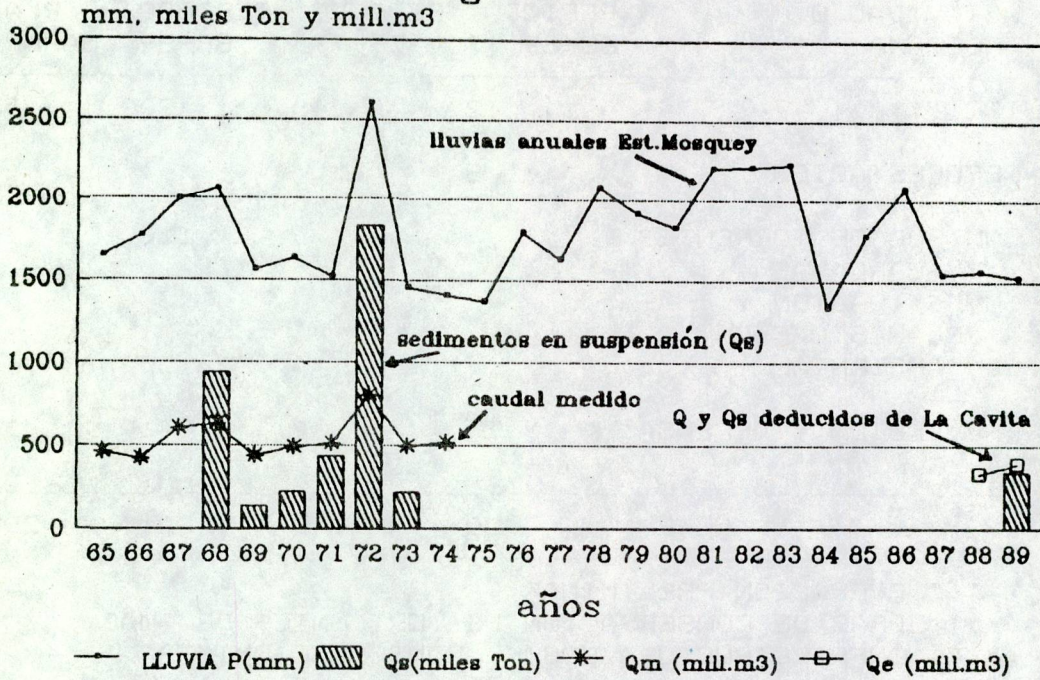
Las variaciones anuales de la producción de sedimentos en suspensión y su relación con las variables escorrentía y precipitación en la subcuenca en estudio está presentada en la figura No.1 Esta gráfica abarca el período 1965-1989 en el cual hay registros continuos de precipitación de la estación Mosquey, la más representativa de esta área. En ese lapso sólo hay registros de sedimentos en dos etapas, la del período de registro aportado por la estación Pte. Zumbador (1968-1973) y la obtenida en 1989 a través de los datos de la estación La Cavita, que reemplazó a la anterior.

El sitio de medición denominado Puente Zumbador está ubicado a 1100 m.s.n.m., frente a la ciudad de Boconó. Comprende un área de drenaje de 448 km² y tal como se mencionó esta obra hidrométrica fue destruida con la creciente de Junio de 1981.

La reanudación de registros hidrométricos en el río Boconó se inició en 1987 en el sitio denominado Puente La Cavita, 4 Km más abajo de la anterior estación y con área tributaria de 540 km². En este sitio los registros también han sido interrumpidos por ocurrencia de crecientes (Abril de 1990). Por esta razón sólo se

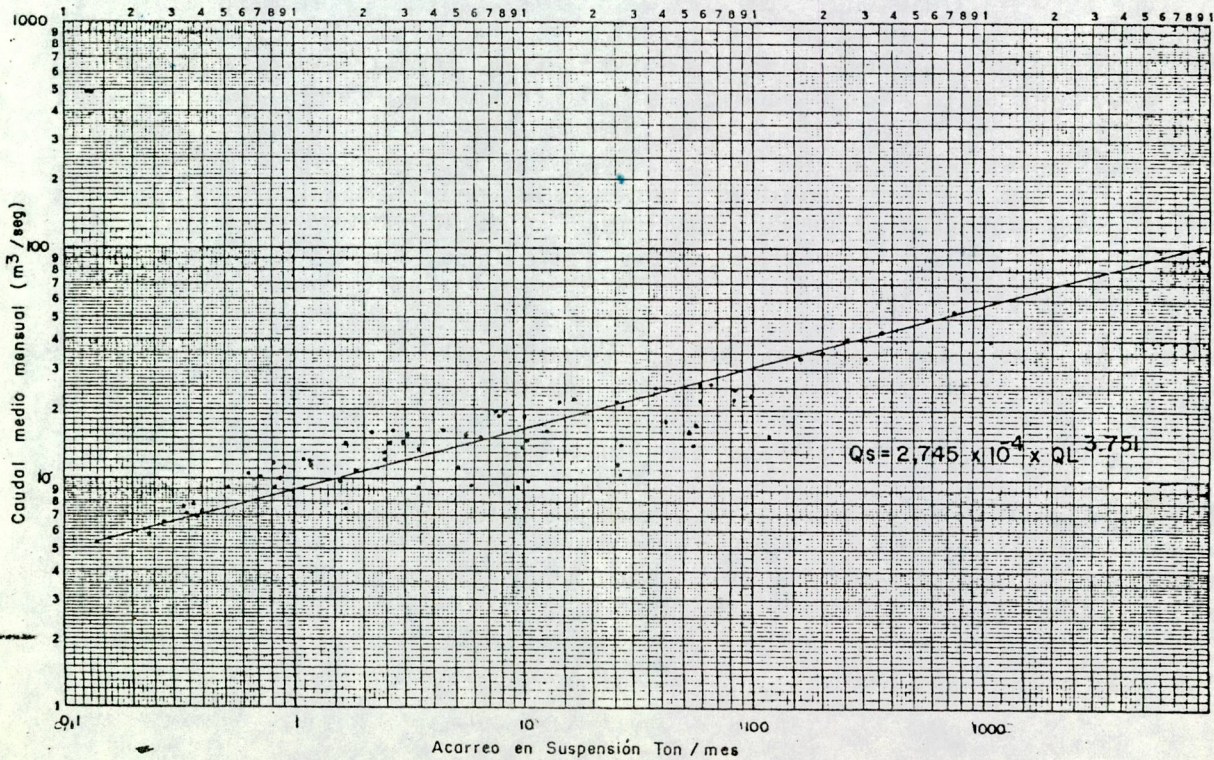
VARIACION ANUAL DE P, Q y Qs ESTACION MOSQUEY Y PTE. ZUMBADOR

Fig. No. 1



MARNR REGION TRUJILLO, OF. BOCONO

Fig. 2 Correlación Gasto Líquido vs. Gasto Sólido en suspensión Estación Río Boconó en Pte. Zumbador. Período 1.968-1.973



han procesado 2 años de escorrentías (1988 y 1989). En cuanto a los registros de sedimentos en suspensión, se cuenta con los datos de 1989, obtenidos como parte del Proyecto de Investigación del Centro de Ecología de Boconó.

3.2. Variación en el período de 20 años.-

Haciendo uso de un sencillo procedimiento diseñado en base a la Correlación mensual de Gastos medios y Acarreo de sedimentos en suspensión (Ref. No. 3), cuya representación gráfica se muestra en la fig. No. 2, se ha calculado el transporte de sedimentos generados por los escurrimientos de 1989, para las condiciones del período 68-73.

CUADRO No. 2

CALCULO DEL TRANSPORTE DE SEDIMENTOS EN SUSPENSION

RIO BOCONO EN PTE. ZUMBADOR

AREA : 448 Km2

MES	GASTO MEDIO (m3/seg)	VOLUMEN MENSUAL Millones de m3	CONCEN- TRACION %	Qs estim. para 1989 (*) miles ton	Qs bajo condic. del 68-73 (**) miles ton
ENE	10.26	27.48	0.006	1.65	1.70
FEB	9.39	22.72	0.005	1.14	1.22
MAR	8.22	22.03	0.005	1.10	0.74
ABR	7.16	18.56	0.003	0.56	0.44
MAY	12.78	34.22	0.008	2.74	3.88
JUN	15.66	40.60	0.015	6.09	8.33
JUL	30.97	82.94	0.293	243.03	107.39
AGO	16.92	45.32	0.040	18.13	11.12
SEP	12.98	33.65	0.031	10.43	4.12
OCT	19.70	52.75	0.081	42.73	19.67
NOV	14.45	37.45	0.028	10.49	6.15
DIC	8.88	23.78	0.005	1.19	0.99
TOTAL		441.51		339.26	165.76

(*) Deducidos de la Estacion La Cavita (540 km2)

-4 3.751

(**) $Qs = 3.745 * 10^{-4} * Q$

FUENTE: CONVENIO CEB-MARNR. BOCONO

De esos cálculos resulta un incremento del 105 % en aproximadamente 20 años.

Esta variación tan significativa se corresponde con lo que se aprecia a simple vista en cuanto al surgimiento o crecimiento de fuentes de erosión local. Principalmente en cuanto a cárcavas, torrentes y deslizamientos en taludes de vías agrícolas e interurbanas y en márgenes de ríos y quebradas. Parte de esto puede ser producto también de las torrenciales lluvias de 1981, cuyas

huellas se hicieron evidentes en la mayoría de las vertientes de la cuenca. Por otra parte, parece existir una paulatina expansión de las áreas agrícolas, ocupando zonas muy frágiles y de elevada pendiente (lógica consecuencia del empobrecimiento de los suelos).

4. Conclusiones y Recomendaciones.

Conclusiones.

a). La Conservación de la Cuenca del Río Boconó ha contado con recursos crecientes por parte del MARNR y se han ampliado los programas para cubrir desde la planificación e investigación hasta la educación ambiental y la agricultura no contaminante.

b). La producción de sedimentos en la subcuenca se ha incrementado notablemente. Para el período 1968-89 se estimó un incremento del 100% en la tasa de producción de sedimentos en suspensión.

c). Es indispensable llevar a cabo el Plan MARNR-BID de Conservación de la cuenca, tanto por los mayores recursos que proveerá como por su concepción integral.

c) Se presume que parte importante de la ineficacia de los programas del MARNR se debe a la descoordinación de los organismos del Estado que actúan en el área rural, en especial la que se produce con la construcción de vías, cuyos diseños y trazados son inadecuados a la fragilidad y pendiente del terreno.

Recomendaciones.

- Fortalecer la coordinación interinstitucional
- Apoyar la ejecución del Plan MARNR- BID.
- Fortalecer la investigación y el Programa de Agricultura Ecológica.
- Diseñar y ejecutar un sistema de monitoreo de los Programas conservacionistas del MARNR y de la acción institucional en su conjunto.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. VELASQUEZ, F. y Rodríguez, R.. Los Proyectos de Investigación y de Manejo de Cuencas en la Cuenca Experimental Boconó. 1990 1er. Congreso Latinoamericano de Manejo de Cuencas. Concepción, Chile.
2. MARNR. Plan de Manejo Conservacionista de la Cuenca Alta del río Boconó. Nivel de Prefactibilidad. 1989 DSGI, Dirección de Manejo de Cuencas. Caracas.
3. CARRILLO, Francisco. Acarreo de Sedimentos en la Cuenca Alta del río Boconó. 1985. Tesis Facultad de Ciencias Forestales de la ULA. Mérida.

DISPONIBILIDAD DE AGUA Y RENDIMIENTO DEL AJONJOLI EN EL ESTADO PORTUGUESA

Juan Carlos Coronado C. y Alex Moreno Sotomayor
 Instituto de Ingeniería Agrícola - Facultad de Agronomía
 Universidad Central de Venezuela
 Apartado 4579, Maracay 2101 - Venezuela

El ajonjolí ocupa una posición muy particular dentro de los cultivos en los Altos Llanos Occidentales. Es sembrado a salida de lluvias, florece en plena estación seca y se cosecha antes de la siguiente estación húmeda. Esto significa que siembras tempranas dispondrían de más agua durante el ciclo ya que para su crecimiento se cuenta con tan sólo el almacenaje del suelo y de las precipitaciones que puedan presentarse. Sin embargo, la fecha de siembra se ha venido retrasando, desplazándose hacia diciembre y enero, con el propósito de escapar a las precipitaciones que causan "encostramiento" superficial, obligan a la resiembra y, por añadidura, generan problemas fitosanitarios que elevan costos. Los productores se han pronunciado, en los hechos, por la siembra tardía con el fin aparente de reducir el riesgo climático para el ajonjolí.

El presente trabajo empleó técnicas de regresión para ponderar el efecto que variables agroclimáticas relativas al balance de humedad tienen sobre la producción. Se pretendía evaluar la decisión de los agricultores a la luz del comportamiento del rendimiento y su nivel de dependencia respecto al clima. Por otra parte, se deseaba perfeccionar el conocimiento de las relaciones ambiente-cultivo esperando así mejorar la capacidad para predecir la actuación del sistema facilitar el prescribir una tecnología apropiada.

El efecto del clima sobre el ajonjolí no ha sido muy estudiado. Para Venezuela podemos mencionar a García *et al.* (1971) y Nicastro (1977) quienes trabajaron bajo condiciones de humedad tremendamente favorables comparada con la época de siembra del ajonjolí en Portuguesa.

MATERIALES Y METODOS

DESCRIPCION DE LA ZONA

Características climáticas

Los datos empleados provienen de la estación de la Colonia Agrícola de Turén (Serial 2273; 9°15' N; 69°6' W; 275 msnm), proporcionados por la oficina climatológica del FONAIAP.

El clima del lugar es Awi, según Köppen. La precipitación media anual es de 1422 mm, concentrándose de mayo a octubre el 84% del total. En los meses en que la precipitación es escasa, la evaporación de Tina tipo A es muy superior a la precipitación. La temperatura media anual es de 27°C con una oscilación térmica anual de 2.9°C y 11.6 °C de amplitud media diaria.

Características edáficas

La zona comprende una planicie aluvial de suelos altamente saturados, con pH alto, con muy poca pendiente y drenaje pobre en áreas depresionales.

Generación de la base de datos

Se emplearon datos del ciclo 1988-1989 de 825 agricultores del Edo. Portuguesa (Distritos Turén y Esteller), obtenidos de encuestas suministradas por FUNDESOL (Fundación para el Desarrollo de las Oleaginosas).

Las variables consideradas fueron aquellas que identifican al productor, el rendimiento y las relacionadas con la condición hídrica del cultivo. Estas fueron: 1) agua inicial en el suelo al momento de la siembra (AINI) y su cuadrado (AINIS); 2) rendimiento (REN); y para cada una de las trece semanas del ciclo, los valores semanales de 3) evapotranspiración de referencia (ET_o) 4) evapotranspiración real (ET_r) y su cuadrado 5) la precipitación 6) los déficit y su cuadrado.

Las variables agroclimáticas se refirieron a períodos de duración uniforme, siete días, llamadas semanas estándar, tomando como punto de partida (semana 1) la primera semana de diciembre.

Para la precipitación se generaron totales semanales a partir de datos diarios obtenidos de la estación Turén.

En base a esa misma fuente se analizaron los diez últimos años (1981-1990) de precipitación dentro de la "época de siembra del ajonjolí" (diciembre a marzo) a fin de observar el comportamiento interanual de este elemento.

La ET_o semanal se estimó mediante el método de Penman modificado (Doorenbos y Pruitt, 1976).

Para la determinación del agua inicial en el suelo al momento de la siembra (AINI), se calculó un balance hídrico en el cual los aportes fueron las lluvias y las pérdidas, la evaporación desde suelo desnudo (E_s) estimada según el enfoque de Stroosnijder y Koné (1982) según el cual las pérdidas de agua entre lluvia y lluvia son descritas por:

$$\Sigma E_s = ET_o \sqrt{E_1} + 3.5 (\sqrt{E} - \sqrt{E_1})$$

donde:

ET_o : evaporación calculada por el método de Penman (mm)

Es : evaporación acumulada (mm) después de una lluvia.

t : número de días después de la lluvia, el día uno será el día de lluvia.

ET_o : evaporación calculada por el método de Penman (mm).

t₁ : número de días en los cuales la evaporación es proporcional a ET_o.

Teniendo en cuenta que a mayores valores de t₁ aumenta la evaporación estimada, se eligió el valor de dos días para ser lo menos optimista posible en la disponibilidad de agua para el cultivo.

Con fines prácticos se supuso que los suelos eran de textura intermedia y, en base a mediciones en terreno (Florentino, 1989; Bascones, 1967) que el valor de capacidad de campo (CC) era de 140 mm en los primeros 30 cm de suelo.

Para estimar la cantidad de agua evapotranspirada en el transcurso del ciclo del ajonjolí acogimos la propuesta de Doorenbos y Kassam (1979) quienes señalan que la evapotranspiración del cultivo viene dada por:

$$ET_r = \frac{S_a D}{t} \left[1 - (1-p) e^{-\frac{ET_m t}{(1-p) S_a D} - \frac{p}{1-p}} \right]$$

donde:

ET_r : evapotranspiración real (mm)

ET_m : evapotranspiración máxima (mm)

t : tiempo en días transcurrido desde el último riego o lluvia abundante

S_a : agua total disponible en el suelo mm por metro

p : fracción de agotamiento del agua total disponible en el suelo

D : profundidad de raíces (m)

e : base del logaritmo natural.

Al aplicar esta fórmula se consideró que:

A. El ciclo del cultivo tuvo una duración de 91 días.

B. En suelos de Turén con capa compactada la profundidad radical sería, aproximando y con optimismo, de: 10 cm para los 0-10 días; 20 cm, 11-12 días; 25 cm, 21-25 días; 30 cm, >25 días (Puche y Moreno, 1982).

C. Por no contar con valores de K_c para ajonjolí, se emplearon los correspondientes al cártamo (*Cartamo*)

tinctorious).

D. Los valores de la fracción de agotamiento del agua total disponible en el suelo (p) usados fueron los del cártamo, oscilando entre 0.875 y 0.40 (Doorenbos y Kassam, 1979).

El déficit hídrico semanal proviene de la diferencia entre el total semanal de ETm y la ETr.

TRATAMIENTO ESTADISTICO

La ecuación de predicción planteada correspondió al modelo de regresión cuadrático general:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \dots + \beta_p X_p + \beta_{11} X_{11}^2 + \dots + \beta_{1p} X_{1p}^2 + e_1$$

$$i = 1, 2, \dots, n$$

donde $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_p$ son los coeficientes de regresión;
 X_1, X_2, \dots, X_p son constantes lineales conocidas;
 $X_{11}, X_{12}, \dots, X_{1p}$ son constantes cuadráticas conocidas;
 e_1 es la variable aleatoria no observable.

Para diagnosticar multicolinealidad se utilizaron dos métodos, los factores infladores de varianza (VIF) y el análisis de los valores propios (Montgomery y Peck, 1982). A fin de detectar autocorrelación se empleó el estadístico de Durbin y Watson y la detección de normalidad descansó en el criterio de acuerdo al cual si el 95% de los residuales estandarizados se ubica en el intervalo (-2, +2) se puede aceptar la existencia de normalidad.

La selección de variables se realizó mediante el procedimiento Stepwise empleando para éste y demás análisis los programas estadísticos SAS, versión 6.04.

RESULTADOS

DISTRIBUCION DE LAS SIEMBRAS

Se observó que la mayor parte de los productores (96%) sembraba antes del 18 de enero (Figura 1). En diciembre 322 agricultores (39%) había sembrado, esto muestra que el 57% de las siembras se concentró en las semanas estándar 5 y 6 (29 Dic-11 Ene).

VARIACION DE LOS RENDIMIENTOS POR FECHA DE SIEMBRA

Se observó una disminución de los rendimientos medios a medida que la siembra se atrasa (Figura 2). Las siembras realizadas en la segunda semana rindieron 637.5 kg ha⁻¹ mientras que las efectuadas a finales de enero y en febrero

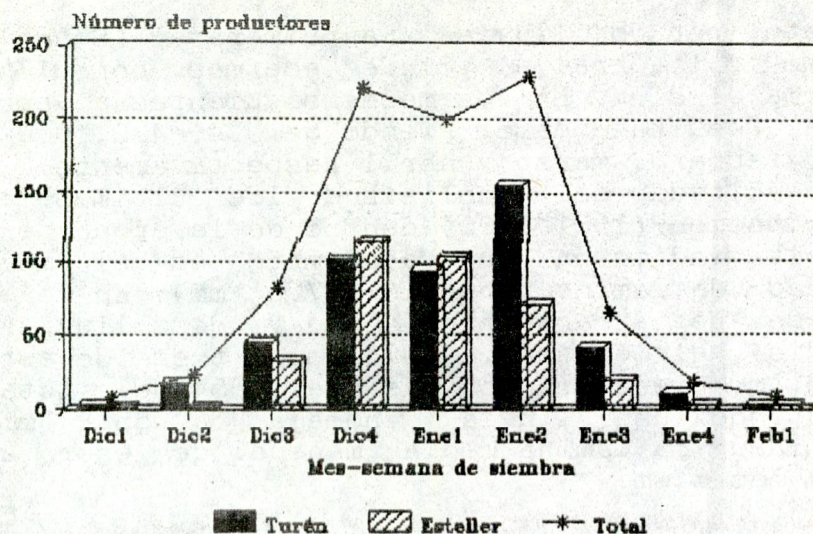


Figura 1. Distribución de las siembras por semanas estándar para los distritos Turén y Esteller (ciclo 1988-89)

de 322 a 341 kg ha⁻¹.

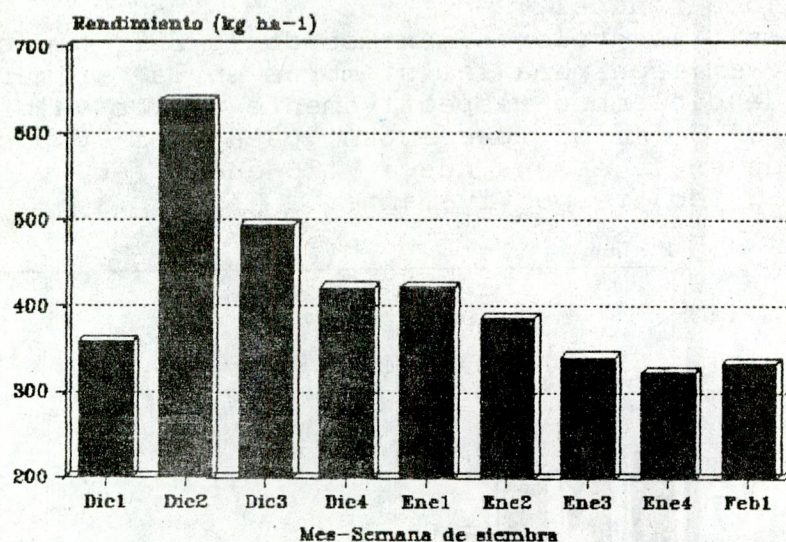


Figura 2. Distribución de los rendimientos promedio de acuerdo a la fecha de siembra.

COMPORTAMIENTO DE VARIABLES AGROCLIMATICAS

El periodo bajo estudio comprende 26 semanas a partir del 1 de diciembre de 1988 hasta el 31 de mayo de 1989, lapso durante el cual existió cultivo en el campo.

Precipitación

El total (40.3 mm) se concentra en un 87.5 % en diciembre, donde se registraron 35 mm, representados, casi por

completo, por dos lluvias, la primera el 16 con un total de 11.5 mm y la otra, el 31 de ese mes, con 17 mm, lo que conforma el 81 %. En los meses siguientes el aporte de agua pluvial resulta escaso, siendo de 0.4, 4.2, 0.0 y 4.0 mm en enero, febrero, marzo y abril respectivamente.

Los resultados del análisis de los últimos diez años de precipitación (1981-1990) dentro de la época de cultivo del ajonjolí indicaron que diciembre es el mes con mayor cantidad de lámina promedio (67.5 mm). En el 90% de los casos se registran entre cinco y diez lluvias (seis en promedio), sin embargo, sólo dos o tres de éstas superan los 10 mm, encerrando más del 85% del total mensual. Descontando una lluvia anómala de 55.8 mm caída el 7/Feb/1990, la lámina media mensual de enero a marzo nos supera los 8 mm.

Evapotranspiración real (ETr).

En la ETr de los productores que sembraron en las cinco primeras semanas, donde las deficiencias de agua aun no eran muy agudas, se observó una tendencia al incremento de la ETr entre la quinta y la sexta semana del ciclo, motivada por el cambio del Kc y el aumento de la profundidad radical.

En general, los valores máximos de la ΣETr del ciclo, 154.5 y 168.4 mm, son para las siembras en la primera y segunda semana de diciembre respectivamente y los valores mínimos, 96.5 y 95.7 mm se presentan para los productores que sembraron en la semana nueve (26 ene-1 feb) y en la semana diez (2-8 feb) respectivamente.

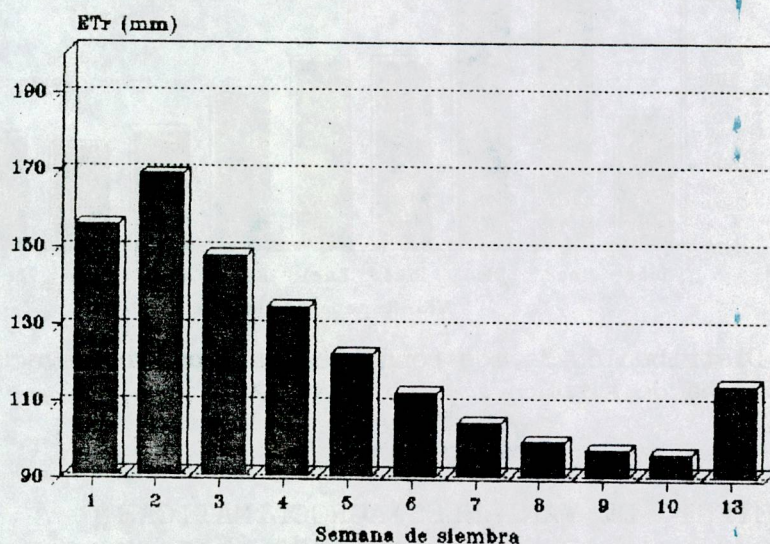


Figura 3. Evapotranspiración real total del ciclo (ETr) para las diferentes fechas de siembra.

Agua inicial (AINI)

La primera semana de diciembre AINI estimado fue de 135.4 mm, pero el valor más alto dentro de la estación se ubica en la quinta semana (139.59 mm), producto de una precipitación de 17 mm. Después del pico de la quinta semana, el agua inicial disminuirá continuamente.

ECUACION DE REGRESION

La regresión planteada fue altamente significativa, con un R^2 corregido de 8.30%. Todos los coeficientes de regresión del modelo difieren de cero, excepto β_0 , los coeficientes de regresión no adolecen por multicolinealidad y los valores de Durbin-Watson obtenidos permiten concluir que no hay autocorrelación.

El modelo estimado sería:

$$REN = -506.78 + 6.48(AINI) + 6.12(PP4) + 0.34(ER4)^2$$

donde:

REN: rendimiento esperado en $kg\ ha^{-1}$.

AINI: agua inicial disponible para el cultivo al momento de la siembra (mm).

PP4: total de precipitación caída en la cuarta semana del ciclo (mm).

ER4²: total de evapotranspiración real ocurrida en la cuarta semana del ciclo, elevada al cuadrado.

DISCUSION

Agua inicial

Los valores de agua estimada en el suelo concuerdan con los obtenidos por Florentino (1989). El total almacenado al inicio de la estación de cultivo del ajonjolí (135 mm), disminuye suavemente a razón de unos $0.75\ mm\ día^{-1}$. Al llegar a la séptima semana estándar (18 de enero), cuando el 98% de los productores ya ha sembrado, se estima un total de 126 mm almacenados. Esto significa que para las primeras semanas de siembra había agua suficiente para cubrir aproximadamente en un 80% las demandas del cultivo.

Trabajos citados por Reddy (1983) señalan que varias especies rinden satisfactoriamente cuando sus demandas de agua son satisfechas en un 75%, lo que permite suponer que, al menos en sus fases de mayor absorción de agua (Brar y Ahuja, 1979), el ajonjolí se encuentra en condiciones aceptables.

El monto del agua inicial calculado aquí refleja que existe una cantidad importante almacenada en el suelo y que ésta fluye a la atmósfera a una tasa que decae exponencialmente

conforme se agota el agua edáfica. Quevedo (1990) indica que los mejores rendimientos son logrados por productores que realizan abundantes pases de rastra, pudiendo interpretarse ésto en el sentido de que tales labores promueven la ruptura capilar, desecación del estrato superior y el "automulch".

Aporte freático

La disponibilidad de agua al inicio del cultivo hace pensar que los aportes freáticos no son imprescindibles para el logro de rendimientos satisfactorios. Aguirre (1974), determinó que para un suelo de textura intermedia, la profundidad de la mesa freática (medida desde la base del sistema radical) sobre la cual su aporte no es importante, equivale a 135 cm. En suelos de textura más gruesa, la mesa debiera encontrarse aun más superficial.

Los datos de profundidad del nivel freático presentados por Nesbit y Romero (1982) muestran que ninguno de los pozos ubicados en Turén registra, para los meses en que el cultivo se encuentra en el campo, una profundidad menor de 190 cm. Por lo tanto, a la luz de los valores de profundidad de raíces medidos (Florentino, 1989; Puche y Moreno, 1982), salvo excepciones, debe descartarse el aporte freático.

Satisfacción de la evapotranspiración máxima (ET_m).

El nivel de satisfacción de la demanda de humedad del cultivo puede ser expresado por la relación ET_r/ET_m , ésta nos estaría diciendo qué fracción del requerimiento óptimo se está evapotranspirando.

En la Figura 4 se aprecia que, para un productor que sembró en la semana 2, en los primeros 35 días su ET_r es satisfecha en un 70% o más, pero para el productor que sembró en la décima semana su demanda de agua no es satisfecha ni en un 30% durante las siete primeras semanas del ciclo.

Agua inicial y fertilización

Los valores de agua inicial confirman la factibilidad de una respuesta a la fertilización. Esto armoniza con lo reportado por Bascones (1961) cuando señala que la absorción de nutrientes ocurre en la fase inicial del ciclo de la planta, lo que se explicaría, al menos en parte, gracias a que en dicho período hay agua disponible para solubilizar el fertilizante.

Ecuación de regresión

La variable agua inicial es la que posee mayor peso explicatorio. Por cada milímetro adicional almacenado en el suelo al momento de la siembra, el rendimiento aumentará en 6.48 kg ha^{-1} . Teóricamente entonces, si sólo consideramos

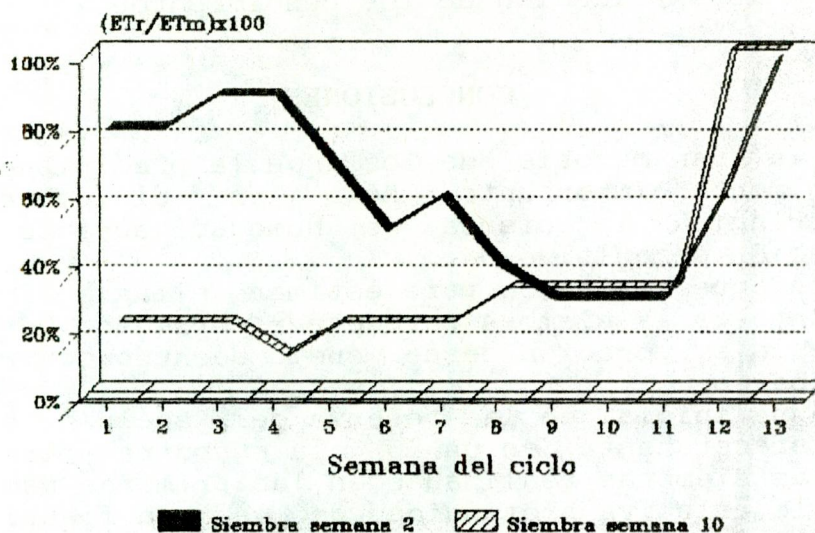


Figura 4. Nivel de satisfacción de la demanda de humedad del cultivo expresada según la relación E_{Tr}/E_{Tm} , para productores que sembraron en la segunda y décima semana.

el agua inicial, un productor que sembró en la primera semana de diciembre con un valor de agua inicial de 135 mm estaría cosechando 97.2 kg ha^{-1} más que el productor que sembró en la octava semana con un agua inicial de 120 mm. Al referir esto a una finca de 50 ha, la siembra temprana significará 4860 kg por encima de la siembra tardía.

El rendimiento promedio de los productores que aran es 103 kg ha^{-1} mayor (Quevedo, 1990), valor cercano a los 97 kg ha^{-1} extra logrado por los que siembran en la semana 1. Quiere decir que la siembra temprana es de importancia similar al uso de arado. A esto se suma el incremento de 6.12 kg ha^{-1} por cada mm de lluvia que caiga en la semana cuatro. en relación al productor de la semana 8 que no recibe lluvia en la cuarta semana de su ciclo.

Análisis colaterales para los buenos productores (cuartil superior, rendimientos sobre 557 kg ha^{-1}) arrojaron un $R^2=1.15\%$ indicando la independencia que los rendimientos de éstos ante el tiempo meteorológico.

En términos generales, el bajo poder explicativo de la ecuación para todos los productores (8.3%) pudiera indicar que las cantidades de lluvia caídas a lo largo de la estación no alcanzaron los montos ni variaron lo suficiente como para generar una variación análoga en los rendimientos. García (1980), trabajando con maíz logró un coeficiente de determinación de 17.5% explicándolo en base al muy homogéneo comportamiento de las precipitaciones.

Es decir que las variables climáticas no presentan cambios significativos durante el ciclo, el proceso de selección atribuirá a otros factores -- edáficos, nivel tecnológico,

manejo -- la explicación de los rendimientos.

CONCLUSIONES

1. Para la gran mayoría de los años la precipitación es de un monto importante sólo en diciembre, siendo restringida la oferta de humedad durante toda la estación de cultivo.
2. El enfoque empleado para estimar el agua inicial al momento de la siembra parece ser correcto. De acuerdo a éste la evaporación desde suelo desnudo ocurre a tasas muy bajas.
3. El agua inicial en la reserva del suelo hace posible satisfacer hasta en un 80% la evapotranspiración real de las siembras realizadas en las primeras semanas.
4. Por la relativa profundidad de la mesa freática en la época de cultivo del ajonjolí, no se considera que aportes freáticos tengan importancia para los rendimientos en la mayor parte de los suelos.
5. El peso de las variables agroclimáticas relacionadas con la condición hídrica del cultivo explica el 8% de la variabilidad de los rendimientos.
6. Existe una respuesta diferencial del rendimiento a las variables climáticas entre los buenos y el común de los productores, no pudiendo establecerse una relación entre rendimiento de los buenos productores y el clima.
7. Para el ciclo analizado, el retraso de la siembra puede significar una reducción de rendimientos de al menos 97.2 kg ha⁻¹, y la pérdida de los incrementos en producción que generan las lluvias de diciembre.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- AGUIRRE, M. L. 1974. Análisis agrofísico de las relaciones entre el nivel freático y la productividad de los cultivos y su aplicación al sistema hidrológico Boconó Masparro. Tesis de grado Magister Scientiae. CIDIAT, Mérida. 81 p.
- BASCONES, L. y R. LOPEZ. 1961. La nutrición mineral del ajonjolí. *Agronomía Tropical* 11: 93-101.
- BASCONES, L. 1967. Efectos de la cobertura sobre la acumulación de las reservas de agua en el perfil para el cultivo del ajonjolí. VII Reunión Latinoamericana de Fitotecnia. 7 p.
- BRAR, G.B. y K. L. AHUJA. 1979. Sesame: Its culture, genetics, breeding and biochemistry. *Ann. Rev. Plant Sciences* :245-313.
- DOORENBOS, J. y W. O. PRUITT. 1976. Las necesidades de agua de los cultivos. Estudio FAO: Riego y drenaje N°24. Roma. 194 p.
- DOORENBOS, J. y A. H. KASSAM. 1979. Efectos del agua

IV ENCUESTRO NACIONAL DE CLIMA AGUA Y TIERRA
IV JORNADAS NACIONALES DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA
Y CLIMATOLOGIA

Obtención de Datos
Manejo y aplicación de datos no tradicionales

Clima, Agua y Tierra
Caracas, 23 al 26 de marzo de 1992

FACTIBILIDAD DEL MONITOREO DE LA VEGETACION TROPICAL
MEDIANTE EL USO DE DATOS DIGITALES SATELITARIOS GOES
(Caso Venezuela)

1. INTRODUCCION

En los países tropicales existe necesidad de la evaluación frecuente (monitoreo) de la cobertura vegetal debido a requerimientos de diversas actividades como son la conservación de reservas naturales y el desarrollo rentable de plantaciones forestales. El monitoreo puede ser efectuado mediante muestreos de superficie y de altura. Entre los muestreos de altura se tienen aquellos realizados a baja altura con aviones y aquellos realizados mediante teledetección por satélite. Una alternativa viable de considera en Venezuela es el uso de datos digitales captados por satélites con un equipo de recepción instalado en el Ministerio de Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables (MARNR, Caracas, Venezuela) desde el año 1990. El presente trabajo contiene un estudio breve de la factibilidad del empleo de los datos captados por el equipo MARNR para el monitoreo de vegetación con atención especial a las plantaciones comerciales de bosques, que en oportunidades pueden requerir de un monitoreo diario e inclusive horario.

2. DESCRIPCION DE LOS DATOS CAPTADOS POR EL EQUIPO MARNR

Los principales datos digitales que recibe el MARNR son archivos de imágenes geográficas de la superficie de la Tierra y/o de la atmósfera en las bandas visible (VI) e infraroja (IR). Cada 30 minutos un satélite geoestacionario operacional (GOES) rastrea el hemisferio occidental y transmite hacia el planeta diversos datos. Los datos de tipo digital son almacenados por el equipo en archivos compatibles con microcomputadores y diskettes de alta densidad formateados en sectores. En general el equipo permite almacenar datos de determinadas partes de la superficie terrestre y uno de los tipos de archivos está constituido por matrices de 1024 líneas (orientadas Este-Oeste) por 1024 columnas (orientadas Norte-Sur). La resolución espacial del sensor en el satélite es de 1.5 km por 1.5 km en VI y de 8 km por 8 km en IR. Para el presente trabajo se empleó un formato denominado Venezuela que cubre la parte continental del país con una resolución de operación de 1.66 km por 1.66 km. En ese formato, cada imagen ocupa un archivo de 1 Mb. Cada 30 minutos es posible obtener una imagen VI y otra IR de Venezuela. La transmisión de archivos

digitales a otras organizaciones es posible desde el punto de vista técnico actual.

3. ESTUDIO DE FACTIBILIDAD

La imagen VI (06:00 am a 06:00 pm) contiene datos del albedo de la superficie, expresado en número de "count" entre 0 y 65 que puede ser convertido a % de albedo entre 0 y 100%. Cero de albedo indica una superficie muy opaca u oscura que no refleja radiación solar (o que está a la sombra) y 100% de albedo indica una superficie muy brillante que refleja una gran parte de la radiación solar. En las tierras tropicales bajas, una superficie brillante puede ser el tope de una nube, una superficie de agua que refleja la luz solar debido a un ángulo solar muy bajo o un desierto; un albedo muy bajo puede estar relacionado con selva tropical húmeda, bosque de galería o un cuerpo profundo de agua en tierra. Los bosques tropicales tienen un albedo medio en el orden 12% con un rango 7% a 15% que depende del estado de la vegetación, de la hora del día, del ángulo de observación y de la presencia de humedad por lluvia reciente [1]. El satélite GOES permite discernir entre 7% y 15% con una resolución aproximada de más o menos 1%; rangos que permiten el monitoreo de bosques.

El formato Venezuela permite el monitoreo en áreas mayores que 276 Ha ya que la resolución en este formato es de 1.66 km por 1.66 km. Si no existieran nubes el monitoreo de vegetación de tipo bosque sería factible a cualquier hora del día. Se podría determinar, a mediano plazo, si la vegetación se hace muy poco densa y el albedo sube a 16% o si se hace muy densa y el albedo baja a 6%. La imagen VI de este formato permite estudiar la progresión de áreas desérticas en lapsos de meses a años.

La imagen IR presenta en el formato Venezuela una resolución virtual (no física) de 1.66 km por 1,66 km que permite el monitoreo de variaciones en la temperatura del ambiente en áreas mayores que 276 ha. La imagen IR permite en este caso determinar la presencia o no de nubes y/o bruma que pueden enmascarar la percepción del sensor VI. El count IR va de 0 a 255 desde temperaturas efectivas de aproximadamente -150°C hasta aproximadamente 80°C . Los topes de la nubes pueden presentarse muy fríos en casos de tormentas con temperaturas efectivas de -70°C y el satélite capta radiación proveniente de una superficie muy fría. Temperaturas efectivas de 30°C indican superficies tibias como desiertos y bosques durante las horas del mediodía.

El monitoreo de vegetación con el equipo GOES necesita de la imagen IR para determinar si la variación del albedo es producto de la interferencia de una nube o de modificación del albedo por lluvia reciente. En otras palabras, se necesita saber cuales posiciones ("pixels") de la matriz geográfica están contaminada con nubes. Con el presente estado de la tecnología usada en los satélites GOES, la imagen IR resulta adecuada para el monitoreo de vegetación cuando las nubes son convectivas y es posible que existan claros entre las nubes o cuando el cielo se presenta con cúmulos. Los mejores resultados se conseguirían con

el estudio de conjuntos de varias imágenes que abarquen 24 horas.

4. ALGORITMO PARA MONITOREO DE VEGETACION

Para usar las imágenes VI e IR es necesario desarrollar un algoritmo que determine, en un área dada, aquellos pixels no contaminados con nubes que presentan reflectividades que pueden provenir de bosques. Es necesario también efectuar trabajos de campo para verificar la exactitud de la respuesta del algoritmo. La salida del algoritmo debe ser el campo escalar matricial impreso en alguna forma que pueda ser transmitida por fax u otro medio sin pérdida de información. El uso de impresoras de impacto y el dibujo de isolíneas con mapa base empleando "plotters" es la mas recomendable. El uso de plotters permite el dibujo de planos con isolíneas u otras formas gráficas en proyección mercator de gran precisión. La cuantificación de la variación del contenido de humedad del suelo y del bosque, mediante el cambio de albedo debe ser incorporado en las etapas mas adelantadas del algoritmo.

Debido a que el monitoreo de vegetación con GOES usa el rango VI, sólo es posible su uso durante las horas de brillo solar. Durante horas nocturnas se requiere otro tipo de tecnología que use mayor resolución y mayor número de bandas de radiación IR. El monitoreo nocturno de la vegetación no es recomendable con la actual tecnología GOES; pero será mas factible con la próxima generación GOES que trabajará con cuatro canales IR y dos canales VI.

5. EJEMPLOS DE SALIDAS POR IMPRESORA

Las Tablas 1 y 2 presentan las matrices VI e IR para la Isla de Margarita (15:30 HLV del 17 de julio de 1991). Las Tablas 3 y 4 presentan las matrices VI e IR para la zona Chaguaramas-Uverito (15:30 HLV del 17 de julio de 1991). En las Tablas 5 y 6 se presentan las definiciones de simbolos usados en las Tablas 1 a 4. El uso de letras y simbolos permite emplear un caracter por cada pixel debido a que el número de count es menor que 255. En los satélites TIROS-N el número de count es de 10 bits y el uso de simbolos conduce a pérdida de información. El algoritmo empleado [2] para preparar las Figuras 1 a 4 (SYMBOLS2) permite diferencia tierra de agua y los espacios en blanco representan pixels con brillo menor que 5.7%, que por lo general, pero no siempre, representan superficies de aguas de mas de 20 m de profundidad. En la Figura 3 se hizo una delimitación de parte del río Orinoco (abajo) y parte de las plantaciones de la zona Chaguaramas-Uverito. Se requieren estudios adicionales para lograr un algoritmo adecuado que delimite áreas en forma automática.

6. CONCLUSIONES

Las Figuras 1 a 4 representan una prueba de que el uso de datos digitales es permisible para el monitoreo de la superficie tropical de tierras bajas. Se requieren algoritmos especializados para el monitoreo cuantitativo sistemático de la vegetación

tropical. El algoritmo actual (SYMBOLS2) debe ser mejorado para obtener mayor precisión de resultados.

BIBLIOGRAFIA

[1] Organización Meteorológica Mundial. The Global Climate. Albedos. Ginebra. 1990

[2] Hidalgo, Luis G.. Manual para el procesamiento de archivos de datos digitales captados por satélites. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Ingeniería. Marzo de 1990.

Tabla 6
IV Caracteres de los mapas IR

CHARACT	NUMBER	COUNT	ALBEDO	ALBEDO
ALFANUM	ASCII	GOES	%	%
CHR\$(I)	I	CT=I-48	100* (CT/63)	100* (CT/63) ²
0	48	0	0	0.0
1	49	1	2	0.0
2	50	2	3	0.1
3	51	3	5	0.2
4	52	4	6	0.4
5	53	5	8	0.6
6	54	6	10	0.9
7	55	7	11	1.2
8	56	8	13	1.6
9	57	9	14	2.0
:	58	10	16	2.5
;	59	11	17	3.0
<	60	12	19	3.6
=	61	13	21	4.3
>	62	14	22	4.9
?	63	15	24	5.7
@	64	16	25	6.4
A	65	17	27	7.3
B	66	18	29	8.2
C	67	19	30	9.1
D	68	20	32	10.1
E	69	21	33	11.1
F	70	22	35	12.2
G	71	23	37	13.3
H	72	24	38	14.5
I	73	25	40	15.7
J	74	26	41	17.0
K	75	27	43	18.4
L	76	28	44	19.8
M	77	29	46	21.2
N	78	30	48	22.7
O	79	31	49	24.2
P	80	32	51	25.8
Q	81	33	52	27.4
R	82	34	54	29.1
S	83	35	56	30.9

IV ENCUENTRO NACIONAL DE CLIMA, AGUA Y TIERRA
IV JORNADAS NACIONALES DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA
Y CLIMATOLOGIA

Estudios Básicos-Situación Actual de los Recursos
Clima, Agua y Tierra
Caracas, 23 al 26 de marzo de 1992

RECONSIDERACION DE LOS MECANISMOS CONVECTIVOS
EN LA REGION TROPICAL DE SURAMERICA

Por
Porf. Luis G. Hidalgo
Universidad Central de Venezuela
Facultad de Ingeniería
Depto. de Ingeniería Hidrometeorológica

Ciudad Universitaria-Caracas 1051
Venezuela

1. INTRODUCCION

En la región tropical (23.5°N - 23.5°S), los pronósticos meteorológicos y el estudio de anomalías climatológicas están sustentados por conocimientos sobre los mecanismos que causan episodios de subsidencia y convección en diferentes escalas. Estos conocimientos son integrados en modelos conceptuales explicativos y predictivos, que han sido comprobados o rechazados según la concordancia entre modelos y datos observacionales. Esos modelos, cuando son aplicados sin revisiones, validaciones y actualizaciones, pueden conducir a situaciones que no permiten el aumento de la pericia de los pronósticos y la formulación de explicaciones sobre anomalías. Por ello, se requieren trabajos de investigación que analicen constantemente los modelos mencionados. El presente trabajo constituye un aporte en esa línea de investigación.

A nivel de región tropical (70000 km^2) se aplican, principalmente (pero no únicamente) los conceptos de zona de convergencia intertropical (ITZC) y subsidencia anticiclónica (SANT). La adquisición de conocimientos meteorológicos sobre ITCZ y SANT forma parte del método científico, que en este caso incluye rigurosos programas de observaciones sincrónicas de gran escala.

En Venezuela, se viene aplicando el concepto de ITZC para explicar episodios de convección continental que poseen una progresión aparente norte-sur y sur-norte. El bajo número de estaciones de radisondeo en la Región Tropical de Suramérica (RTS) no permite elaborar mapas meteorológicos para estudiar con detalles la convección tropical en la RTS. Nuevas vías de adquisición de datos e investigación se hacen necesarias.

2. MAPAS BASADOS EN DATOS CAPTADOS POR SATELITES

En la actualidad, el uso intensivo de datos digitales captados por los satélites TIROS/NOAA permite el análisis de la convección a nivel tropical mundial y mensual (con un mismo tipo de satélite). Se emplean "outputs" de sistemas convectivos tropicales, como son la cantidad de precipitación que llega al suelo (R , mm ó lit/m^2) y la cantidad de radiación infraroja emitida hacia el espacio ("outgoing long-wave radiation", OLR, watt/m^2). Datos de OLR pueden ser convertidos en datos de R mediante algoritmos, ya que existe entre ellos una correlación inversa en regiones tropicales, sustentada por observaciones y modelos físicos y conceptuales.

Desde febrero de 1989, están disponibles mapas de isolíneas de estimados de lluvia tropical (isoyetas) publicados por el Centro Norteamericano de Diagnóstico Climatológicos (NOAA/NWS/NCC) en Washington. La observación

visual de estos mapas indica que los patrones de isoyetas sobre mar presentan forma diferente con respecto a aquellos presentes sobre tierras continentales de la RTS, donde el patrón de isoyetas con tendencia circular no coincide con el patrón con tendencia de banda zonal esperado por efecto ITCZ. En la Figura 1 se presentan los mapas de febrero y marzo 1989 (Hemisferio Occidental). En dichos mapas se pueden observar las diferencias entre los patrones de isoyetas de R sobre mar y (océanos Atlántico y Pacífico al este y oeste de Suramérica, respectivamente) y sobre tierra (RTS).

3. OBJETIVOS

Vista la importancia y necesidad de revizar los modelos conceptuales de convección en la RTS y considerando las publicaciones recientes de mapas de isoyetas tropicales mensuales y las evidencias de que los mecanismos sobre tierra presentan diferencias obvias con respecto a los mecanismos sobre mar, el presente trabajo tiene como objetivo principal el estudio cualitativo y cuantitativo de los mapas de isoyetas de R para demostrar que los patrones presentan diferencias geométricas y establecer posibles causas de tales diferencias.

4. METODOLOGIA

Para lograr el cumplimiento del objetivo establecido se seguirán los siguientes pasos. Estudio de las definiciones de ITCZ disponibles. Selección de un conjunto de mapas para estudio detallado, selección de un conjunto de criterios para la recolección de datos, comparación de los datos, establecimiento de diferencias y posibles causas de esas diferencias.

5. DEFINICIONES DISPONIBLES DE ITCZ

La ITCZ ha sido definida y estudiada bajo diversas definiciones, cada una bajo determinado punto de vista. Stringer [1], acepta la ITCZ como una zona angosta (que aparece en los mapas medios) donde aparentemente convergen los vientos alisios de los hemisferios norte y sur. Esta definición está basada en el concepto dinámico de convergencia lineal del viento. Holton [2] indica que la ITCZ también puede ser definida como una zona en forma de banda estrecha entre ambos hemisferios que presenta convección cúmulos vigorosa. La nubosidad asociada a la ITCZ se aprecia en mapas medios de 12 días. Lamb [3] presenta la ITCZ o ecuador meteorológico como una banda zonal de relativa baja presión donde se encuentran los vientos alisios de los dos hemisferios; la nubosidad se está organizada en una o dos bandas alargadas. Una característica resaltante de las definiciones es la forma de banda zonal de la organización de la nubosidad. Es de esperar un patrón de lluvias de forma semejante; pero no

idéntica ya que no todas las nubes presentan lluvia.

6. INTERPRETACION DE MAPAS Y CRITERIOS DE COMPARACION

Para el estudio de mapas de R se escogió un conjunto de meses fuera de los lapsos El Niño 86-87 y El Niño 91-92 establecidos en el Boletín de Diagnóstico Climatológico (NOAA/NWS/NMC) [4], resultando el período enero 1990 a enero 1991 como el más apropiado para el estudio. La primera inspección de los mapas indica diferencias entre las isolíneas. Como hipótesis se supondrá que existen dos mecanismos diferentes que causan esas diferencias. El mecanismo que actúa sobre tierra recibirá el nombre de Convección Tropical Suramericana (CTS) y sobre mar, el mecanismo conserva el nombre tradicional de ITCZ. Los criterios o variables para comparación son:

AITZC:

Superficie en Km^2 del área de la ITCZ con $R \geq 200$ mm en el Océano Atlántico entre África y Suramérica.

ACTS:

Superficie en Km^2 del área de la CTS con $R \geq 200$ mm en la región tropical de Suramérica.

DITZC:

Longitud horizontal máxima en Km del área de la ITCZ en el Océano Atlántico entre África y Suramérica.

DCTS:

Longitud horizontal máxima en Km del área de la CTS con $R \geq 200$ mm en la Región Tropical Suramericana.

FIITZC:

Índice de forma adimensional para el área de la ITCZ con $R \geq 200$ mm calculado como $\text{DITZC}^2 / \text{AITZC}$. Para un círculo este valor es aproximadamente igual a 1.3.

FCTS:

Índice de forma adimensional para el área de la CTS con $R \geq 200$ mm calculada como $\text{DCTS}^2 / \text{ACTS}$.

LITCZ-A

Latitud de la posición del área con mayor precipitación de la ITCZ (dentro del área $R \geq 200$ mm) en la Costa Suramericana Atlántica.

LITCZ-P:

Latitud de la posición del área con mayor precipitación de la ITCZ (dentro del área $R \geq 200$ mm) en la Costa Suramericana del Pacífico.

LCTS:

Latitud de la posición del área de la CTS con mayor precipitación de la CTS (dentro del área $R \geq 200$ mm) en la

Región Tropical Suramericana.

7. RESULTADOS

En la Tabla 1 se presenta el resultado de determinar los nueve criterios mencionados en trece los mapas de enero 1990 a enero 1991. La muestra de valores de FITCZ presenta un rango 4-2.5 sin puntos de concordancia con el rango 0.8-2.3 de la muestra de valores de FCTS. Esta separación de rangos indica gran posibilidad de que las muestras provengan de diferentes poblaciones. En consecuencia es también posible que los fenómenos que producen los patrones isoyéticos sean diferentes, como se ha supuesto. También es posible deducir que la forma de la CTS tiende hacia la circularidad y que la ITCZ se aparta de esta forma. La ITCZ se presenta en el hemisferio norte; pero no en el hemisferio sur. La CTS fluctúa ampliamente entre los dos trópicos. La ITCZ, en la RTS no se presenta como un fenómeno intertropical como indican las definiciones de ITCZ.

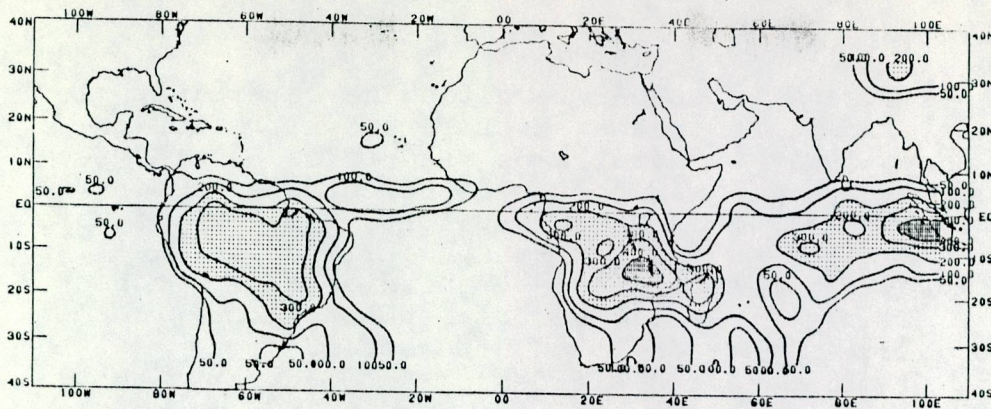
8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Como conclusión principal se pueden indicar, que el presente trabajo ha evidenciado que durante el lapso enero 1990 a enero 1991: la ITCZ no se presenta como un fenómeno inter-tropical en la Región Tropical Suramericana y que otro fenómeno de gran escala, denominado en el presente trabajo, la Convección Tropical Suramericana (CTS) se presenta sobre tierra produciendo un tipo de isoyetas propio de actividad vorticial convectiva y no de actividad de convergencia lineal en banda.

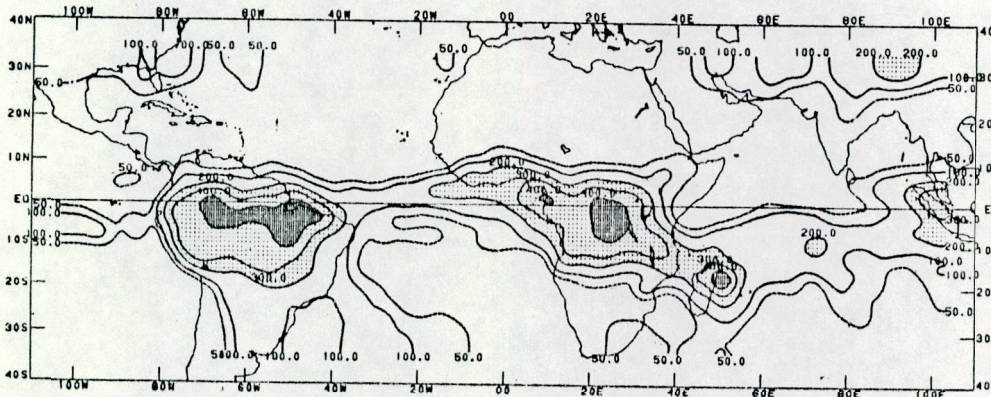
Debido a que el período estudiado es de 13 meses se recomienda ampliar el estudio a un lapso de cinco (5) años para expresar conclusiones de mayor confianza.

BIBLIOGRAFIA

- Holton, James R. An Introduction to Dynamic Meteorology. Academic Press. New York. 1979, pp. 344-348.
- Lamb. H. H. Climate: Present, Past and Future. Volume I. Fundamentals and Climate Now. Metuen & Co. Ltd. London. 1972, pp 131-133.
- Stringer, E. T. Foundations of Climatology. An Introduction to Physical Dynamic, Synoptic, and Geographical Climatology. Freeman and Company. San Francisco (USA) 1972, pp.279-283.
- U.S. Department of Commerce. National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), National Weather Service (NWS). National Meteorological Center (NMC), Climate Analysis Center (CAC). Climate Diagnostics



Febrero 1.989



Marzo 1.989

Figura 1

Estimados de cantidad de lluvia tropical para febrero y marzo de 1989 (mm). Las isoclinas fueron obtenidas mediante la aplicación del método GPI/GOES (Arkin y Meisner, Monthly Weather Review, 1987) a datos de OLR obtenidos mediante satélites TIROS/NOAA. Los contornos están dados cada 100 mm, con un contorno adicional de 50 mm. El sombreado claro se usa para áreas entre 200 y 400 mm y el sombreado obscuro para valores mayores que 400 mm. La técnica usa temperaturas de topes de nubes calculada a partir de datos infrarrojos satelitarios (watt/m^2) y es estrictamente aplicable a regiones tropicales donde las lluvias son principalmente convectivas y el ciclo anual de temperatura es pequeño. Se puede inferir erróneamente sustancial lluvia en regiones del hemisferio norte donde se observan bajas temperatura del suelo, por ejemplo en el Tibet.

Tabla 1

Datos de patrones isoyéticos sobre tierra y sobre mar en la región tropical en el sector 100°W-0°W

Mes	AITCZ	ACTS	DITZC	DCTS	FITCZ	FCTS	LITCZ A P	LCTS
Ene90	-	9	-	4	-	1.8	-	10°S
Feb90	-	4	-	3	-	2.3	1°N -	10°S
Mar90	1	10	2	4	4	1.6	- -	10°S
Abr90	1	8	3	4	9	2	1°N 1°N	8°N
May90	1	5	3	2	9	0.8	3°N 3°N	8°N
Jun90	3	3	6	2	12	1.3	8°N 9°N	9°N
Jul90	1	2	1	2	1	2	9°N 11°N	9°N
Ago90	1	3	3	2	9	1.3	9°N 11°N	8°N
Sep90	1	5	4	3	16	1.8	18°N 12°N	8°N
Oct90	3	9	3	4	3	1.8	12°N 10°N	5°S
Nov90	6	10	5	4	4	1.6	10°N 15°N	5°S
Dic90	2	10	3	4	5	1.6	5°N -	10°S
Ene91	1	10	5	4	25	1.6	5°N -	11°S

Los guiones (-) colocados en algunos lugares indican que el fenómeno no se presentó y por lo tanto no es posible determinar el valor.

AITCZ y AIDTS en millones de km² (10% de erro)

DITZC y DCTS en miles de km (10% de error)

FITCZ y FCTS no tienen dimensiones (17%)

IV ENCUENTRO NACIONAL DE CLIMA, AGUA Y TIERRA

IV JORNADAS NACIONALES DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y CLIMATOLOGIA

ESPECIFICACION TECNICA:

"UTILIZACION DE LAS FORMACIONES ACUIFERAS Y SUELOS ARCILLOSOS DE BAJA RESISTIVIDAD PARA LA DISIPACION DE DESCARGAS ATMOSFERICAS PRODUCIDAS POR TORMENTAS ELECTRICAS, POR MEDIO DE UN SISTEMA DE PUESTA A TIERRA CONSTITUIDO POR ELECTRODOS INTERCONECTADOS A PROFUNDIDAD (EIP) EN ESTACIONES DE TELECOMUNICACIONES."

ING. JESUS ENRIQUE RIVAS CORDOVA
C.A.N.T.V.

Caracas, 23 de Marzo 1992

EXPOSICION DE MOTIVOS:

Desde un principio la necesidad fundamental que originó la creación de la especificación denominada "Electrodos Interconectados a Profundidad" (E.I.P.) se basó en las siguientes inquietudes:

1. En la actualidad los sistemas de puesta a tierra utilizados por la Empresa tales como: fosas, barras cooperweld, BIAC, etc.; no han dado los resultados esperados en varias regiones del país debido a la característica del subsuelo, esto ha hecho que no se satisfaga el cumplimiento de la normativa vigente que requiere de valores de resistencia de puesta a tierra muy bajos en sitios de resistividad variable (Resistividades que tienden a ser muy altas) durante todo el año, por lo tanto estos sistemas no ofrecen el grado de protección deseado para el personal humano y los equipos de telecomunicaciones.
2. Se está buscando reunir información más detallada de aquellas variables que provocan en las regiones donde funcionan las diferentes estaciones de la Empresa estos valores de alta resistividad en el subsuelo, el propósito de esto es ofrecer una explicación más científica del porque no todos los sistemas de Puesta a Tierra funcionan para todas las regiones involucradas, buscandose clasificar de acuerdo a las características del suelo el tipo de Sistema de Tierra que se tenga que utilizar. Esta es la función primordial de los estudios geofísicos-geológicos, de aguas subterráneas y corrosión que forman parte de dicha especificación técnica.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL:

Lograr satisfacer valores de resistencia de Puesta a Tierra para instalaciones de telecomunicaciones de la CANTV, (los cuales está limitados a un rango de valores menor o igual a 2 ohms), por medio de un sistema de electrodos interconectados introducidos por perforación mecánica del terreno hasta la superficie hidrostática o el nivel piezométrico de los acuíferos tanto libres como confinados.

OBJETIVOS ESPECIFICOS:

Los objetivos de esta especificación son los siguientes:

- Definir el procedimiento para la implementación y adecuación futura de electrodos interconectados a profundidad (EIP), para el sistema de Puesta a Tierra en instalaciones de telecomunicaciones.
- Precisar el método por medio del cual se construirá el sistema de Puesta a Tierra con barras interconectadas a profundidad hasta la superficie hidrostática o el nivel piezométrico de los acuíferos libres y confinados para obtener valores limitados y muy bajos de resistencia de Puesta a Tierra (Resistencia menor o igual a 2 Ohms) en las instalaciones de telecomunicaciones de la CANTV.

- Obtener con los datos del análisis granulométrico del suelo donde esté la instalación de telefunicaciones o se vaya a construir esta, un apoyo cuantitativo que nos permita conseguir por medio del ensayo realizado una relación entre los valores muy bajos de resistencia de puesta a tierra y el tipo de horizonte de suelo existente en el área seleccionada, esto se haría con la finalidad de poseer esta información para emplazamientos futuros y selección del sitio de ubicación de otros electrodos interconectados a profundidad (EIP).
- También es prioritario lograr con los ensayos realizados información sobre el grado de actividad corrosiva del suelo para poder seleccionar el tipo de protección que se le aplicará al (EIP) para extender su vida útil lo mayormente posible.

PROPOSITO DE LA UTILIZACION DE LOS ELECTRODOS INTERCONECTADOS A PROFUNDIDAD (EIP) EN INSTALACIONES DE TELECOMUNICACIONES

Los electrodos interconectados a profundidad hasta la superficie hidrostática o el nivel piezométrico de los acuíferos tanto libres como confinados o emperchados tienen como propósito: conseguir un rango muy bajo de resistencia de Puesta a Tierra que satisfaga los valores pedidos por la CANTV (Resistencia menor o igual a 2 Ohms). En realidad este sistema de electrodos interconectados puede ser utilizado para todos los casos de Puesta a Tierra con valores limitados y suelos singulares (5) ya que resulta más económico y funcional que los otros métodos convencionales hasta ahora utilizados por la Empresa o algunos Contratistas, para suelos de alta resistividad y con valores de resistencia de Puesta a Tierra altos. Su implementación solo estaría condicionada por la accesibilidad al lugar donde haya que hacer la perforación con maquinaria liviana o también dependiendo del grado de humedad del suelo superficial o subsuperficial. El objetivo en si es poder alcanzar los estratos del terreno que se encuentre por debajo de la superficie hidrostática o al nivel piezométrico los cuales debido a su gran humedad y su configuración granular (Porosidad) son más conductores (5) y no poseen un asilante natural o mineral que los hagan comportarse como no conductores o malos conductores.

El descenso en el agua en el terreno origina voltajes negativos en las zonas elevadas, al arrastrar el agua las cargas positivas (+) con valores de hasta 0,200 voltios. Se han hecho notables estudios al respecto con los cuales se han concluido lo ante dicho pero lo realmente importante es que en el terreno (subsuelo) hay toda clase de materiales y en nuestro caso nos interesa mucho aquellos que son metálicos y algunas de sus sales ya que son buenos conductores de la electricidad por lo tanto habrá algunos estratos del subsuelo que por presentar pocas cantidades de estos dos (2) últimos materiales antes mencionados se comportarán como aislantes o estratos de resistividad muy elevada. Pero en todos los materiales del terreno existen poros saturados o no de agua, aunque siempre con una cierta humedad. El agua por la presencia de sales disueltas en proporción que depende

de la temperatura, actúa como un conductor, cuya resistividad o resistencia específica oscila en la práctica entre 0,03 $\Omega \cdot m$ (agua de mar) y 3000 $\Omega \cdot m$ (agua extraordinariamente pura, obtenida por destilación con precauciones especiales). La resistividad de las rocas dependerá por lo tanto del volumen de sus poros, de su distribución y de la resistividad del líquido que lo rellena.

Se comprende como se mencionará más adelante que no es posible clasificar totalmente el terreno por la resistividad, ya que esta característica eléctrica está ligada a la porosidad, al contenido y resistividad del agua.

A efectos hidrogeológicos, si la roca se encuentra sobre el nivel freático o el nivel piezométrico o no contiene agua, la resistividad será elevada. Si la resistividad es muy baja, el agua almacenada tendrá un elevado contenido de sales minerales. A efectos indicativos, en la tabla (1), se da un resumen de los valores de la resistividad aparente de diferentes materiales desde el punto de vista hidrogeológico.

Analizando los valores de la tabla (1), se observa cierta dispersión ocasionada por la ubicación, relativa de los materiales.

La práctica permite deducir bastante aceptablemente el estado relativo de la roca y la calidad del agua (sea esta muy conductora o no), siempre que por hipótesis geológica se conozcan la naturaleza de la roca del subsuelo.

INFLUENCIA DE LA CORRIENTE ELECTRICA EN LOS MEDIOS POROSOS QUE CONTIENEN ESTRATOS ARCILLOSOS (3):

Ultimamente se está dando cada vez más importancia a la influencia que ejerce la corriente eléctrica en el subsuelo, en vista de las buenas posibilidades en su empleo técnico. Los resultados en el campo de la electrosmosis (filtración de un líquido a través de un medio poroso bajo el efecto de la corriente eléctrica) siguen siendo muy difíciles de analizar por lo poco investigado que está este campo, sin embargo esta ciencia ya era conocida en la física del siglo XIX (Reuss 1808). Tal vez lo más importante a considerar es que la electrosmosis es sumamente afectada por los cationes de Na, Ca, etc., absorbidos por los estratos de arcillas, los cuales debido a su porosidad y alto grado de retención específica hacen que aumente en un grado mayor esta propiedad eléctrica de los medios porosos. Esto pasa muy frecuentemente en este tipo de estratos arcillosos debido a que son formaciones de grano muy fino que originan a su vez que la superficie de contacto entre el agua freática y el suelo "Superficie Específica" sea muy grande, favoreciendo por ende el intercambio iónico y por lo tanto el paso de corriente con poca resistencia, dependiendo del tipo de arcilla y el contenido mineral del retículo arcilloso.

Las arcillas teóricamente tienen mayor superficie específica que cualquier otro tipo de formación geológica debido a su porosidad esto trae como consecuencia que la película de agua que las rodea sea mayor que las de otros estratos, pero en realidad esto se debe a que los minerales de arcilla que posean mayor cantidad de cationes Na^+ en sus retículos absorben más agua que los contienen cationes Ca^{+2} porque los cationes Na^+ tienen mayor radio atómico que los del calcio y por ende el agua absorbida por los cationes Na^+ tendrá una película más gruesa que la del otro catión involucrado.

Los cationes nuevos pueden incorporarse a los retículos de arcilla además de por filtración de agua también por difusión, es decir a través del movimiento Browniano de las moléculas o debido al paso de conducción de corrientes eléctricas exteriores las cuales no encuentran así resistencia al paso a través de los retículos arcillosos favorecidos por el arreglo molecular de estos tipos de arcillas (Ver tabla Nro. 1).

Los valores indicados en la tabla (1) demuestran el enorme interés que tiene colocar los electrodos de toma de tierra en un suelo con las características hídricas apropiadas.

Por lo tanto al encontrar una capa de suelo o estrato con una resistividad baja obtendremos una resistencia de puesta a tierra menor ya que esta última es proporcional a la resistividad, hay que recordar que "un sistema de puesta a tierra que haga que la corriente se difunda en un gran volumen de suelo tendrá una resistencia inferior que otro en que la densidad de corriente sea muy elevada". A los efectos de la protección contra los rayos y demás perturbaciones atmosféricas, lo que importa es la longitud del electrodo y el tipo de suelo en el cual yace este, la forma del electrodo ni su superficie no tienen ninguna inherencia en el valor de resistencia de puesta a tierra este hecho es esencial tenerlo en cuenta. El valor de la resistencia depende en su mayor parte del grado de humedad del terreno y en si de las capas o estratos que conforman este último.(1).

EN CONSECUENCIA EL METODO UTILIZADO CONSTARA DE LAS SIGUIENTES PARTES:

Antes de la perforación se hará un estudio geofísico del subsuelo para optimizar la ubicación del sistema de puesta a tierra de la instalación de telecomunicaciones. Es decir se perforaría en sitios técnicamente escogidos.

Después de haber seleccionado el sitio en función del estudio realizado y tomando en cuenta ciertos parámetros (tipo de estratos que se hallen en el sondeo, su conductividad etc.) se hará un sondeo mecánico de verificación (SMV), hasta una profundidad tal que se consiga la superficie hidrostrática (acuífero libre) o el nivel piezométrico (acuífero confinado) o zonas de aguas vadosa (acuífero emperchado), el diámetro de la perforación se recomienda que sea de 4 pulgadas. (1) (ver figura II.a y II.b).

mecánico de verificación (SMV), hasta una profundidad tal que se consiga la superficie hidrostrática (acuífero libre) o el nivel piezométrico (acuífero confinado) o zonas de aguas vadasa (acuífero emperchado), el diámetro de la perforación se recomienda que sea de 4 pulgadas. (1) (ver figura II.a y II.b).

También se recomienda ejecutar un registro eléctrico en el hueco perforado para fijar con precisión el espesor y la resistividad real de los estratos de las diferentes formaciones que se hallen en el subsuelo que forma parte del acuífero.

Con la profundidad ya verificada por el SMV, además del SGV se procederá a hacer la verdadera perforación (diámetro 4 pulgadas en adelante la cual no se deberá enturbar, ya que lo que interesa es la conexión directa del electrodo interconectado hacia el acuifero o estratos de menor resistividad (500 ohmxm).

Las barras utilizadas para la construcción del sistema de puesta a tierra se recomiendan que sean de acero cobrizado 1020, acero inoxidable 304 ó 316 porque tienen un tiempo de vida útil mayor (aproximadamente 10 años o más). Pero en su defecto se puede utilizar barras recubiertas de cobre tipo Copperweld de 5/8 pulgadas de diámetro exterior y de 1,50 m. de largo o de la mayor longitud que se consiga en el mercado nacional.

Los conectores o mangos utilizados para interconectar las barras deberán ser de cobre o bronce con diámetro interior mayor a 5/8 pulgadas (1). Previa a la interconexión de los extremos de las barras Copperwld, estas tienen que estar ranuradas por ambos lados para facilitar su enroscamiento.

Tomando en cuenta todo lo antes dicho en items anteriores, y posteriormente teniendo ya lista la perforación se procederá a introducir las barras Copperweld interconectadas por tramos (Ver figura 3.a).

Teniendo el sistema instalado se procederá a poner una tanquilla de conexión (tratada con pintura anticorrosiva) en el lugar donde este la perforación.

El nuevo sistema de puesta a tierra con electrodos interconectados a profundidad (EIP) una vez terminada la tanquilla se interconectará con los demás sistemas si los hubiere por medio de un cable de cobre desnudo AWG 2/0 y soldadura autofundente (caldweld) o mediante soldadura alumino-térmica con recubrimiento anticorrosivo.

Es importante antes de proceder a vaciar el mortero en las perforación que contiene el nuevo sistema de tierra, medir la resitencia del electrodo puesto a tierra para verificar que se haya conseguido el valor deseado de acuerdo a las normas de la Empresa.

SELECCION DEL SITIO PARA LA PERFORACION E INTRODUCCION DEL ELECTRODO INTERCONECTADO A PROFUNDIDAD (EIP), TRATAMIENTO ANTICORROSIVO DEL MISMO.

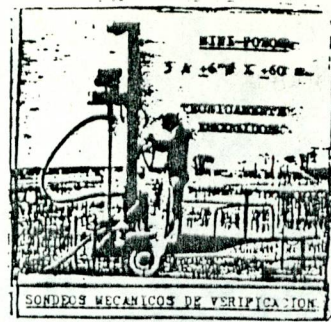
La selección del sitio se hará mediante inspecciones, sondeos geofísicos verticales (SGV), sondeos mecánicos de verificación (S.M.V.) para asegurar la profundidad real en donde se pueda hallar el nivel freático o piezométrico.

De 2 a 3 (S.G.V.) permiten detectar las condiciones del subsuelo en el sitio donde hay probabilidad de que se halle la mesa de agua en donde se ubicará la perforación.

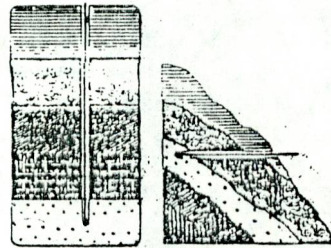
Se efectuará análisis físico-químico-biológicos de la calidad del agua y los materiales sólidos que contengan las muestras extraídas por medio de la perforación hecha en el sondeo mecánico de verificación (S.M.V.). En función de este análisis se podrá conocer el grado de actividad corrosiva del subsuelo y por lo tanto se procederá a tomar las medidas pertinentes para proteger más eficientemente el electrodo interconectado a profundidad (EIP), en emplazamientos futuros.

Entre las medidas a tomar para proteger dicho electrodo de la corrosión las Empresas especializadas en este ramo (13), recomiendan utilizar la protección catódica para el sistema E.I.P., o aumentar el espesor de cobre de las barras Copperweld, en general se tendría que calcular cual sería el espesor de cobre más óptico para ofrecer dicha protección esto se haría si se tuviera la rata de corrosión anual del cobre para ciertos tipos de suelos pero a falta de este tipo de información solo podríamos recomendar que dicho espesor se aumentará en 2 ó 3 mm. según la información sobtenida de la documentación bibliográfica consultada (5) hasta los actuales momentos.

Algunos autores recomiendan (14), como se ha hecho en ocasiones anteriores que los electrodos utilizados se ubiquen en tal forma que alcancen la capa freática ya que la resistencia que ofrece el terreno al paso de corriente disminuye sensiblemente, este medio de disipación de las descargas atmosféricas no ofrece ningún peligro para la vida humana porque la descarga es subterránea y su extensión puede abarcar cientos de kilometros de acuerdo al tamaño del acuífero. Pero hay que hacer notar que por el contrario, si está contraindicado utilizar electrodos en lagos, ríos, torrentes, acequias o en el mar ya que estos sectores son frecuentados por el público y podría resultar peligroso.



PERFORACIONES Y POZOS



Folleto de equipos para perforar de la DEEROCK (11-999) Fig. (1)

TABLA NO. 3.

Resistividad de algunos materiales en $\Omega \cdot m$

Aguas subterránea en granitos y rocas hipogénicas.	20-100
Aguas subterránea en calizas y carbonos	20-50
Aguas salobres	1-10
Aguas potables superficiales	20-300
Agua de mar	< 0.2
Agua destilada	> 500
Arcillas y margas	10-100
Calizas y areniscas	50-3000
Pizarras	50-300
Rocas hipogénicas y metamórficas.	100-10000
Gravas	100-10000
Arenas	100-1000
Limos	50-500

FUENTE: E. CUSTODIO y R. LLANAS, HIDROLOGIA SUBTERRANEA, BARCELONA, EDITORIAL OCEGA, 1976.

Central o Estación de la CARTV

Electrodo Interconectado a Profundidad (E.I.P)

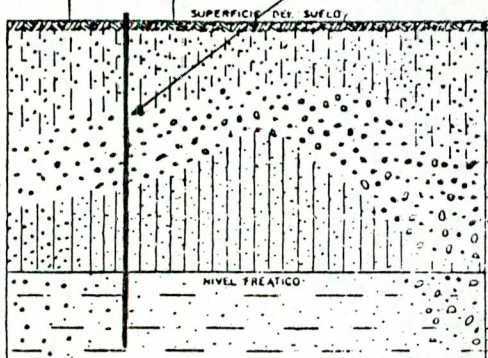


FIG. II- Diagrama con el cual se muestra el ascenso variable de la franja capilar.

- 1 : suelo
- 2,3,4 : partículas finas medias y gruesas de arena con grava, respectivamente
- 5 : agua capilar suspendida o agua capilar as. 1000
- 6 : ascenso del agua capilar
- 7 : agua subterránea

Fuente: Introducción a la Hidrología Subterránea (UCV) Profesor. Perez Machado (.1.987 - 1.988)

3.e-

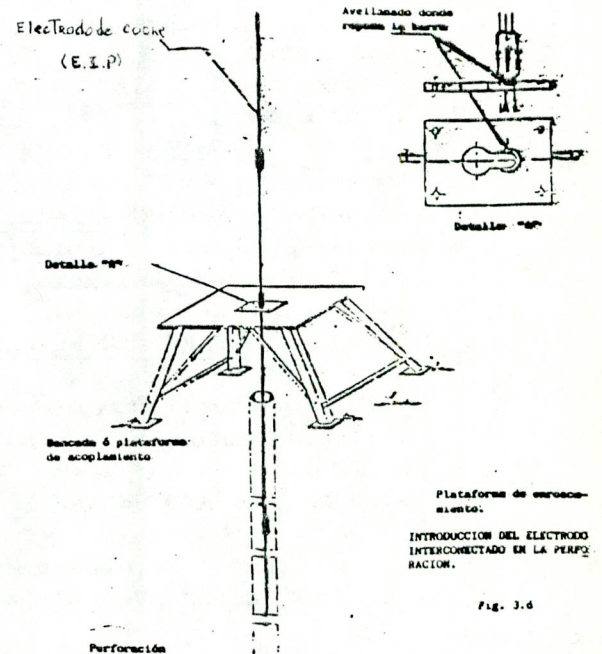


Fig. 3.6

Fuente: Ponencia de la telefonica de España. (Nov. 1.990. Caracas)

BIBLIOGRAFIA

- (1) **"NORMA TECNICA"** Código: NT. f4001
Telefonía de España. Subdirección General de Tecnología y Planificación Tecnológica (1985).
- (2) **"PUESTA A TIERRA Y PROTECCION EN SISTEMAS DE TELECOMUNICACIONES"**
C.E.T., C.A.N.T.V., Septiembre 1988.
- (3) **"MANUAL DE MECANICA DE SUELOS"**
Autor: Profesor Dr. Techn Kezdi Arpad Akademiai Kiado, Budapest (1975) (Hungary), editado por la Universidad Central de Venezuela (Edición Revisada), Ediciones de la Biblioteca Central, Caracas-1975.
- (4) **"INTRODUCCION A LA HIDROLOGIA SUBTERRANEA"**
Autor: Profesor Pérez Machado, José Leoncio, Editado por : Facultad de Ingeniería, Dpto. de Hidrología y Meteorología. U.C.V., 1987.
- (5) **"CONTENIDO DE LAS PONENCIAS PRESENTADAS POR LA TELEFONICA DE ESPAÑA EN EL SEMINARIO DE PROTECCION ELECTRICA DE LA PLANTA TELEFONICA CELEBRADA EN VENEZUELA"**
Autor: A. Rodriguez de Torres, perteneciente al Dpto. de Ingeniería de Acceso, Sistemas de Protección y Supervisión, Noviembre 1990.
- (6) **"HIDROLOGIA SUBTERRANEA"**
(Tomo I y II), Autor: E. Custodio y R. Llamas, Ediciones Omega, Barcelona España, 1976.
- (7) **"HIDROLOGIA PARA INGENIEROS"**
Autor: Linsley-Kohler-Paulus Editorial Mc Graw-Hill, Bogotá-Colombia, 1977.
- (8) **"DESARROLLO DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS"**
Autor: Universidad Central de Venezuela, Editado por Gráficas Condal, Barcelona-España.
- (9) **"ENSAYO DE LABORATORIO EN MECANICA DE SUELOS"**
Autor: Profesor Vgas. T., Celso, Facultad de Ingeniería, U.C.V., Caracas-Venezuela, 1981.
- (10) **"PEQUEÑO LAROUSSE ILUSTRADO"**
Autor: Ramón García-Pelayo y Gross, Ediciones Larousse, Paris, 1972.

(11) **"MANUAL DE DRENAJE Y PRODUCTOS DE CONSTRUCCION"**

Autor: The ARMCO International Corporation, Editado por R.R. Donmelly & Sons Company, Chicago, Illinois E.E.U.U., 1958.

(12) **"ENCICLOPEDIA CONCISA SOPENA"**

Tomos I, II, III año 1974, Editorial Ramón Sopena S.A. España.

(13) **"INSTALACIONES DE PUESTA A TIERRA"**

Autor: Re Vittorio, Editado por: Marcombo-Boixaren, Pags. 21,22.

NOTA:

El presente documento se puede consultar en el Centro de Documentación perteneciente al Dpto. de Apoyo y Control Logístico/GIO/VO/CANTV.

Falsos residuales y falso error standard de estimación

J.M Guevara Díaz

Con el amplio uso de las microcomputadoras y difusión de los paquetes estadísticos se ha facilitado enormemente la aplicación de los métodos estadísticos en las diferentes ciencias. Esto es un adelanto deseado, pero ha originado sus inconvenientes por la tendencia de aceptar los resultados, sin la reflexión necesaria en base a la exactitud de tales ayudas.

Un buen ejemplo de esta preocupación lo encontramos en uno de los mejores programas estadísticos empleados actualmente y son los casos de los residuales de regresión y del error standard de estimación, Se , obtenidos mediante el programa STATGRAPHICS (versión 2.6 de 1987)

Un residual de regresión, $[Y - Y']$ es la diferencia entre un valor observado de la variable dependiente, y su respectivo estimado por el modelo. El Se se utiliza para medir la precisión de la estimación de un modelo matemático, y se define por las siguientes expresiones:

$$1] \quad Se = \sqrt{\Sigma[Y - Y']^2 / N - 2}$$

$$2] \quad Se = Sy \sqrt{[1 - r^2] [N - 1] / N - 2}$$

Donde:

Sy , es la desviación standard de la variable dependiente, Y .

r^2 , el coeficiente de determinación o cuadrado del coef. de correlación entre las variables dependiente e independiente.

N , el número de datos

Y' , La estimación de la variable dependiente, por el modelo.

1 y 2, representan respectivamente, el número de variables independientes y el número de coeficientes de regresión utilizados.

Cuando el programa calcula regresión lineal simple o lineal múltiple, todos estos conceptos encajan y no hay ningún problema en la interpretación. La confusión surge cuando se emplean los modelos no lineales: exponencial,

multiplicativo y recíproco, cuyas soluciones se basan en transformación logarítmica de la Y y X en el modelo multiplicativo; transformación logarítmica de la Y, en el exponencial; y en el inverso de la variable dependiente, en el modelo recíproco:

- 3] $Y = \exp [a + bx]$ modelo exponencial
 4] $Y = a X^b$ " " multiplicativo
 5] $1/Y = a + b X$ " " recíproco

El error estandard de estimación que se indica en los cuadros de resultados generados por el programa en los modelos no lineales, no mide la precisión del modelo en la estimación de la variable dependiente, Y, sino la precisión respecto a la estimación de la variable dependiente transformada (LOG Y o 1/Y).

Inconveniente similar ocurre en el mencionado programa con los residuales de regresión, los cuales también son calculados respecto a las variables transformadas y no con respecto a las variables originales.

El usuario no se da cuenta de las observaciones anteriores e indica el modelo con la precisión dada por el programa e interpreta los residuales inadecuadamente. ¿Que debe hacerse entonces? Muy sencillo, al aplicar el Statgraphics para resolver ecuaciones no lineales, no se deben utilizar los resultados de los estadísticos Se ni de los residuales, sino, calcular los residuales con Y' del modelo y Se por [1] empleando estos residuales.

Los datos de los 154 valores de las variables mpg y cylinders que trae el STATGRAPHICS como series en su archivo DATA, los hemos empleados en los modelos de regresión simple: lineal, exponencial, multiplicativo y recíproco, para visualizar los planteamientos anteriores.

El cuadro No. 1 resume las variables, sus transformadas y los principales estadísticos generados. El Se en el modelo lineal es de 5,44. Si se compara con los errores calculado por el programa, resultaría respecto a los dos primeros, casi 30 veces mayor y respecto al recíproco, 802 veces mayor!, pero al compararlo con los verdaderos residuales, la diferencia es insignificante. Todo ello debido a que el programa calcula el error standard de estimación respecto al LOG Y o de 1/Y y no respecto a Y, como lo hemos afirmado.

Cuadro No.1 Los MODELOS y sus estadísticos

LINEAL	EXPONENCIAL	MULTIPLICATIVO	RECIPROCO
$Y = a + bX$	$Y = \text{EXP}[a+bX]$	$Y = a X^b$	$1/Y = a+bX$
a: 46.415	4.0	# 92.75	0.00965
b: - 3.637	- 0.14	-0.78	0.0057
r: - 0.675	- 0.721	- 0.728	0.755
r ² : 0.4549	0.521	0.531	0.579
Se: 5.44	* 0.185	* 0.183	* 0.00678

El programa muestra el Log neperiano de $a = 4,53$.

* Con respecto a Y transformada. Los verdaderos Se son: 5.44; 5.42; 5.42 y 5.49, respectivamente

El programa calcula correctamente las estimaciones (predictions) de la variable dependiente Y, con las cuales se pueden obtener los Se verdaderos de la expresión [1] al salvar las estimaciones con el nombre Yest, por ejemplo, presionar la tecla F8, escribir el comando EXEC y aplicar la siguiente secuencia para obtener:

$$6] \quad \text{SQRT}((\text{SUM}(Y - Yest)^2)/N-2)$$

Donde, Y es la variable dependiente original y N el número de datos.

El coeficiente de correlación requiere otra consideración. Como se sabe, mide la asociación lineal entre dos variables y se obtiene por el método de los mínimos cuadrados. Construido un modelo de regresión lineal, también se calcula el coeficiente de correlación, mediante la relación de la desviación standard de las estimaciones por el modelo, Sy' , y la desviación standard de la variable independiente, Sy :

$$r = Sy'/Sy \quad [7]$$

Esta expresión en el modelo lineal coincide con el resultado dado por el STATGRAPHICS. Si la aplicamos a los otros modelos con las estimaciones de mpg, cuyas estimaciones ya dijimos, son correctas, los resultados serán:

MODELO	coef.de correlación
Lineal	4,9658/7,3772 = - 0,677

Multiplicativo	4,9302/7,3772	= - 0,668
Exponencial	4,7936/7,3772	= - 0,649
Recíproco	4,6939/7,3772	= - 0,636

Sin embargo, la expresión [7] en el cálculo de r en los modelos no lineales, puede resultar inadecuada como se aprecia en el caso presentado por McCuen et al (1) para llamar la atención sobre este caso, empleando los cinco datos de Y y X con el siguiente modelo multiplicativo y donde el coeficiente de correlación resultó mayor de 1!:

$$Y = 0,9048 X^{1,888}$$

Y	X	Yest	RESIDUALES
7,389	2,718	6,049	1,34
20,086	7,389	40,449	-20,36
403,429	20,086	270,448	132,98
2980,958	54,598	1808,027	1172,93
8103,084	148,413	12087,816	-3984,73

$$r = S_y'/S_y = 5.221,51/3.471 = 1,50$$

(Por el modelo lineal r = 0,997 y entre LN Y y LN X, como lo calcula el STATGRAPHICS, igual a 0,985)

El valor irracional del coeficiente de correlación anterior, se explica por la no linealidad, puesto que el coeficiente sólo mide la asociación lineal entre las variables.

Conclusiones:

1. El programa STATGRAPHICS (y seguramente los demás programas estadísticos utilizados en microcomputadores) no da el verdadero error standard de estimación en los modelos exponencial, multiplicativo y recíproco, sino respecto a la variable transformada, $Se_{LN Y}$ y $Se_{1/Y}$, de allí sus bajos valores que hace presumir en lo exitoso de estos modelos en la estimación de la variable dependiente original Y.

$$Se_{LN Y} = \sqrt{\frac{\sum [LN Y - LN Y']^2}{N-2}} \quad (\text{en mod. multiplicativo y exponencial})$$

$$Se_{1/Y} = \sqrt{\frac{\sum [1/Y - 1/Y']^2}{N-2}} \quad (\text{en modelo recíproco})$$

2. Los valores de la correlación y del coeficiente de determinación, solamente se refieren a la relación de Y y X en el modelo lineal. En el modelo multiplicativo, la correlación es entre LN Y y LN X; en el exponencial entre LN Y y X; y en el modelo recíproco, entre 1/Y y X

3. Los residuales individuales, siempre se deberán estimar por $[Y - Y']$ y no como lo hace el programa, por:

LOG Y - LOG Y' [multiplicativo y exponencial]
 1/Y - [1/Y]' [recíproco]

Al emplear estos últimos valores en el cálculo del error estandard de estimación, es lo que origina la confusión que tratamos de aclarar.

4. Los "falsos residuales", son tambien representados en el gráfico de los **residuals** y su análisis, en consecuencia, debe ser tambien omitido.

5. En el modelo recíproco, si lo deseado es la estimación de 1/Y, entonces hay que invertir los resultados y los demás estadísticos (r, r², los residuales y Se) serían correctos respecto a estos nuevos valores.

Recomendaciones:

a. Hacer caso omiso de los coeficientes de correlación y determinación; del Se, y de los residuales del programa STATGRAPHICS para los modelos cuestionados y obtener Se con la expresión 6] con F8 y el comando EXEC. Previamente deben eliminarse dos columnas que acompañan a las estimaciones (PREDS) mediante la siguiente secuencia: Data management-File operations-edit-all-F5-Remove-Enter y F6

b. Tener en consideración las conclusiones y recomendaciones anteriores al utilizar otros programas estadísticos de microcomputadores.

[1] McCuen, Richard et al. Problems with logarithmic transformations in regression. **Journal of Hydraulic Engineering**, vol. 116 No. 3 March 1990.

IV ENCUENTRO NACIONAL
CLIMA, AGUA Y TIERRA

IV JORNADAS NACIONALES DE
HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y CLIMATOLOGIA

Caracas, 23 al 26 de marzo de 1.992

ANALISIS PRELIMINAR DE SEQUIAS EN LA CUENCA DEL RIO CHAMA
A NIVELES ANUAL Y MENSUAL

Elaborado por:

Ing. For. MSc. Gustavo A. Silva León
Div. de Planificación y Ordenación del Ambiente
con asistencia de
Deptos. de Hidrología e Incendios Forestales
MARNR - Región Mérida

Mérida, 28 de enero de 1.992

INTRODUCCION

La sequía es un fenómeno natural en cualquier región, que se caracteriza principalmente por una precipitación muy baja o anormalmente baja durante un periodo importante de tiempo. El verano o estación seca a nivel nacional se corresponde con el lapso noviembre - mayo. En ocasiones se habla de un verano muy seco, de un verano largo, o de un año seco. Este último está relacionado con una baja importante en la precipitación de periodos normalmente lluviosos, situación que puede calificarse como de sequía no ordinaria o extemporánea.

La evidencia de una sequía importante en varios sectores de la cuenca del río Chama durante el periodo junio-agosto de 1.991, y la manifestación de incendios forestales extensos y extemporáneos, son las principales razones que motivan la presente ponencia. Este análisis tiene en la Estadística el apoyo adecuado para determinar situaciones de sequía en una región dada, en base a los registros históricos de precipitación y los datos de lluvia correspondientes al periodo de interés. El problema metodológico está en definir los criterios apropiados para identificar esas situaciones de sequía.

OBJETIVOS

- 1.- Verificar la ocurrencia de años secos en la cuenca del río Chama en un periodo de tiempo reciente y extenso.
- 2.- Verificar la ocurrencia de periodos secos en la cuenca del río Chama entre mayo y septiembre de 1.991, y relacionarla con los estiajes e incendios forestales ocurridos a finales de ese periodo.

La cuenca del Chama es considerada hasta El Vigía.

METODOLOGIA

- 1.- Para analizar la ocurrencia de años secos, se propone y utiliza el procedimiento siguiente:
 - a) Selección del periodo de tiempo T: 20 años correspondientes al periodo 1.971 - 1.990.
 - b) Selección de una red de estaciones pluviométricas. Se escogen N estaciones que se consideren representativas de la lluviosidad en la cuenca del río Chama. Las estaciones escogidas son 9: Páramo de Mucuchies, Valle Grande, Tabay, Mesa de Ejido, El Morro, San Juan de Lagunillas, San. Pedro - Chiguará, Tovar y Las Tapias.
 - c) Criterio para identificar años secos en una estación dada.

Sean:

$X_{i,j}$ la precipitación anual registrada en la estación i en el año j del período T considerado (mm)

P_i la precipitación media anual calculada en la estación i para el período de T años (mm)

S_i la desviación estándar insesgada de la precipitación anual calculada en la estación i (mm)

U_{Si} el umbral de sequía anual tentativo de la estación i (mm)

entonces el año j fue seco en la estación i si:

$$X_{i,j} < U_{Si} = P_i - S_i$$

Se elabora un cuadro con las N estaciones en las filas y los valores de P_i , S_i y U_{Si} (Cuadro 1).

Se elabora otro cuadro con las N estaciones en las filas y los T años considerados en las columnas, donde se indiquen con el símbolo S los años que resultaron secos en cada estación (Cuadro 2). Se recomienda que las estaciones conserven un orden lógico en las filas de acuerdo a su ubicación en la cuenca.

- d) Criterio para determinar el número de años secos en la cuenca del Chama.

Sean:

NS_i el número de años secos resultante en la estación i en el período de T años

NS el número de años secos resultantes en la cuenca del río Chama en el período de T años

entonces se añaden al cuadro anterior los valores NS_i , totalizando el número de símbolos S al final de cada fila, y NS resulta de promediar los NS_i .

- d) Criterio para identificar los años secos en la cuenca del Chama.

Sea:

NS_j el número de estaciones que resultaron con año seco en el año j

entonces se añaden al mismo cuadro los valores NS_j , totalizando el número de símbolos S al final de cada columna, y se determina por inspección de los mayores NS_j , cuáles fueron los NS años secos resultantes en el período de T años.

2.- Para analizar la ocurrencia de meses secos en el período mayo - septiembre de 1.991, ampliado ilustrativamente hasta enero 91, se propone y utiliza el procedimiento siguiente:

- a) Selección de una red de estaciones pluviométricas. Se escogen M estaciones que sean representativas de los diferentes sectores de la cuenca del río Chama. La estaciones escogidas son 10, las mismas anteriores más la estación La Punta.
- b) Criterio para identificar meses secos en una estación dada.

Sean:

$X_{i,k}$ la precipitación mensual registrada en la estación i durante el mes k de 1.991 (mm)

$P_{i,k}$ el promedio histórico de precipitación en el mes k obtenido en la estación i (mm)

$S_{i,k}$ la desviación estándar histórica de precipitación en el mes k obtenida en la estación i (mm)

$U_{Si,k}$ el umbral de sequía mensual tentativo en el mes k para la estación i (mm)

entonces el mes k de 1.991 fue seco en la estación i si:

$$X_{i,k} < U_{Si,k} = P_{i,k} - S_{i,k} ; \text{ solo si } U_{Si,k} \geq 10 \text{ mm}$$

Se elabora un cuadro con las N estaciones en las filas y los meses k del 91 en las columnas, copiando para cada mes y estación los valores de $U_{Si,k}$ y $X_{i,k}$ (Cuadro 3).

- c) Criterio para identificar períodos secos en una estación dada, en base a los meses secos obtenidos.

La ocurrencia aislada de un mes seco en una estación dada no es significativa a priori. Se considera significativa la ocurrencia consecutiva de dos o más meses secos en una estación.

Se elabora un cuadro, ubicando en las filas las estaciones que tuvieron dos o más meses secos consecutivos, y en las columnas los meses del 91 correspondientes a períodos secos (Cuadro 4). Cada vez que la precipitación mensual de una estación resulte menor que el umbral de sequía, se coloca el símbolo S en la cuadrícula correspondiente. Si el valor de precipitación es el mínimo histórico de ese mes, se añade el símbolo + al símbolo S. Además se añaden cuatro columnas para los períodos secos: la suma de la lluvia promedio de los meses, la suma de la lluvia caída en esos meses, el porcentaje de ésta suma respecto a la suma promedio y la lluvia caída por mes.

2.- Análisis de meses secos en la cuenca del río Chama para el periodo enero-septiembre de 1.991.

CUADRO 3

Estación	Variable	Meses k									
		Ene	Feb	Mar	Abr	May (mm)	Jun	Jul	Ago	Sep	
PM	US 42-90	-4,4	-0,6	5,9	34,0	70,2	91,5	98,9	70,0	54,0	
	X 91	7,1	5,3	50,5	70,8	35,6	7,8	124,9	138,3	85,7	
VB	US 61-90	4,3	17,9	40,3	143,3	160,6	59,1	38,0	80,8	119,6	
	X 91	23,4	23,1	112,1	187,7	257,6	46,7	36,6	41,1	188,1	
TA	US 48-90	0,2	2,1	23,7	88,6	141,3	67,3	60,0	80,0	125,6	
	X 91	18,9	26,3	100,5	90,5	90,5	41,8	42,8	53,1	130,2	
LP	US 75-90	3,1	-0,6	14,8	73,5	113,2	78,5	55,8	75,7	107,9	
	X 91	19,5	22,0	85,6	111,8	147,2	68,0	47,0	75,3	144,5	
ME	US 48-90	-5,2	-4,5	0,9	40,4	70,2	32,2	30,2	34,0	55,5	
	X 91	21,3	20,3	85,9	51,6	123,5	52,9	28,6	20,8	84,0	
EM	US 62-90	-2,4	-0,3	-0,7	11,3	38,3	25,2	30,1	38,9	42,4	
	X 91	1,7	0,5	26,8	47,6	32,2	23,9	16,3	46,8	30,2	
SJ	US 70-90	-6,7	1,2	6,7	22,2	45,2	15,8	18,2	31,4	53,4	
	X 91	0,3	4,0	29,7	35,0	68,2	33,2	4,1	25,9	54,6	
SP	US 70-90	-7,6	13,0	14,8	25,8	49,9	15,0	15,8	30,1	35,1	
	X 91	2,9	12,3	68,3	36,4	71,4	10,2	8,0	18,5	63,6	
TO	US 68-90	1,6	5,5	18,5	32,2	81,3	44,3	37,2	61,0	66,5	
	X 91	13,5	27,9	69,0	46,3	96,1	53,0	108,8	72,7	182,4	
LT	US 68-90	5,6	6,3	18,8	37,6	46,4	34,1	38,7	32,2	52,2	
	X 91	9,8	7,1	87,9	68,9	63,8	24,7	47,9	58,7	99,0	

CUADRO 4

Estación	Año 1.991				Lluvia prom. del periodo (mm)	Lluvia caída % del prom. (mm/mes)		
	May	Jun	Jul	Ago				
Pmo. de Muc.	S+	S+			251,6	43,4	17,2	21,7
Valle Grande		S	S	S+	310,2	124,4	40,1	41,5
Tabay	S	S	S	S	571,7	228,2	39,9	57,1
La Punta		S	S+	S	330,9	190,3	57,5	63,4
Mesa de Ejido			S	S	120,4	49,4	41,0	24,7
El Morro	S	S	S		165,2	72,4	43,8	24,1
San Juan			S+	S	81,6	30,0	36,8	15,0
San Pedro-Ch.		S	S	S	144,7	36,7	25,3	12,2

EFECTOS DE LOS PERIODOS SECOS DETECTADOS EN 1991

En primer lugar, es necesario hacer referencia a la ocurrencia de las lluvias en la cuenca del río Chama, para comprender mejor los efectos de los periodos secos detectados.

El régimen de lluvias en la cuenca alta del río Chama es unimodal desde sus nacientes hasta Mucurubá, por influencia marcada del clima del piedemonte de los Llanos Altos Occidentales; tiene su pico de lluvias en junio y julio y una estación seca comprendida entre noviembre y marzo. El régimen de lluvias en el resto de la cuenca es bimodal con picos de lluvia en mayo y octubre y estación seca entre diciembre y marzo, y es determinado por el clima del sur del Lago de Maracaibo; la estación lluviosa tiene una disminución acentuada de la precipitación en julio, excepto en las cuencas de los ríos Nuestra Señora y Mocotíes, por influencia del clima del piedemonte de los Llanos Altos Occidentales.

De acuerdo a los datos de precipitación mensual del año 1.991 indicados en el Cuadro 3, se constatan un verano efectivo en enero y febrero y lluviosidad moderada en los meses de marzo y abril. Luego, en vez de empezar las lluvias abundantes de la estación lluviosa, se inicia una recesión pluviométrica que se evidencia con los periodos secos señalados en el Cuadro 4. Algunos efectos de esa recesión son los siguientes:

- 1.- Disminución importante de la producción agrícola de los cultivos en secano o con riego limitado que se sembraron entre abril y junio de 1.991, dependiendo del sector de la cuenca del río Chama. No fue posible cuantificar este efecto.
- 2.- Disminución notoria de los caudales de ríos y quebradas en diferentes regiones de la cuenca del río Chama al final del periodo seco correspondiente, excluyendo la cuenca del río Mocotíes. En toda esa extensión, el MARNR solo tiene en operación dos estaciones hidrométricas, las cuales se encuentran en el río Chama a nivel de Mucurubá y Ejido. En el Cuadro 5 se indican caudales estimados en Ejido.

CUADRO 5

Mes:	Jun	Jul	Ago	Sep
Promedio histórico 64-76 (m ³ /s):	33,34	30,85	29,29	30,51
Promedio mínimo histórico (m ³ /s):	12,81	17,40	20,00	23,70
Promedio estimado del 91 (m ³ /s):	12,39	14,26	15,68	13,54
(con curvas mira gastos disponibles)				

Normalmente se considera que la porción aguas arriba de esta estación hidrométrica equivale a la cuenca alta del Chama. En dicha cuenca se encuentran las estaciones pluviométricas Páramo de Mucuchies -única bajo régimen unimodal-, Valle Grande, Tabay y La Punta.

3.- Alto riesgo de ocurrencia de incendios forestales en la misma porción de la cuenca del río Chama. En el Cuadro 6 se indican los incendios verificados por el MARNR - Mérida a finales del periodo mayo - agosto de 1.991 en la cuenca del Chama.

CUADRO 6

Cuenca	Municipio	Vegetación afectada	Superficie incendiada (Ha)
Mocoties Medio (Chama Medio)	Tovar	Baja	9
		Alta	5
Chama Bajo	Pinto Salinas (Mesa Bolívar)	Media	512 *
Chama Bajo	Sucre (Chiguará)	Media	10
		Alta	20
Chama Medio	Libertador (Mérida)	Baja	30
Chama Medio	Campo Elías (Ejido)	Media	2
		Baja	1

* 500 Ha corresponden a 8 incendios ocasionados en septiembre, que destruyeron sectores agroforestales y varias viviendas.

CONCLUSIONES

- 1.- En la cuenca del río Chama se manifiestan años secos con una frecuencia aproximada de 2 años secos cada 11 años. Los años secos resultantes en el periodo 1.971 - 1.990 fueron 1.977, 1.984, 1.987 y 1.989.
- 2.- La metodología propuesta para la identificación de meses secos no se considera aplicable para meses de la estación seca, cuando el umbral de sequía mensual tentativo resulta muy bajo o negativo.
- 3.- En el periodo mayo - agosto de 1991 se manifestaron periodos de sequía no ordinarios o extemporáneos en diferentes regiones de la cuenca del río Chama, que tuvieron las características siguientes:
 - a) La sequía consistió en una reducción importante de la lluvia en dos o más meses del periodo mayo-agosto, según la región afectada.
 - b) Esta sequía se evidenció desde las nacientes del Chama hasta El Vigía, sin incluir la cuenca del río Mocoties, porque no hubo disminución significativa de la lluvia en las estaciones Tovar y Las Tapias.

- c) El periodo seco más largo correspondió a la estación Tabay con una duración de cuatro meses.
 - d) La sequía más intensa en relación a la precipitación promedio o esperada resultó en las estaciones Páramo de Mucuchies y San Pedro - Chiguará, ocurriendo un record histórico en la primera estación para los meses correspondientes.
 - e) La sequía más intensa en relación a la precipitación caída resultó en las estaciones San Pedro - Chiguará y San Juan de Lagunillas.
- 4.- Los periodos de sequía detectados en la cuenca alta del Chama produjeron un estiaje record en la estación hidrométrica del río Chama en Ejido, por cuanto cada caudal mensual estimado en el periodo junio - septiembre del 91 resultó menor al caudal mensual mínimo correspondiente al periodo 1.964 -76.
- 5.- Aceptando que la estación San Pedro - Chiguará es representativa de la precipitación en Mesa Bolívar, porque ambas localidades corresponden a vertientes situadas frente a frente y a cada lado del Chama, entonces es evidente que los extensos incendios forestales de Mesa Bolívar se relacionaron con un foco de sequía muy severa, como lo fue el de San Pedro -Chiguará.

RECOMENDACIONES

- 1.- Puede extenderse a otras regiones del país, el análisis utilizado para identificar años secos.
- 2.- Puede extenderse a otras regiones del país el análisis utilizado para identificar periodos secos no ordinarios o extemporáneos.
- 3.- Prever los recursos financieros, materiales y humanos que permitan mejorar la cobertura de las redes pluviométricas regionales, no solo para refinar los análisis de sequías sino de la lluviosidad en general; así como para mejorar la cobertura de las redes hidrométricas regionales y la calidad de las mediciones, y actualizar los registros históricos de caudales.

APROXIMACIONES GEOMORFOLOGICAS EN UN SECTOR DE LA CUENCA BAJA DEL RIO CARONI

Autor: Profesor José María Villavicencio Ch.
Escuela de Geografía

RESUMEN

El presente trabajo de investigación corresponde a un proyecto que hemos logrado combinar con varios investigadores. Para realizar un estudio integrado de geología, geomorfología, suelos, vegetación y ordenamiento del sector de la cuenca comprendido en las márgenes derecha e izquierda del Río Caroní entre Guri y Puerto Ordaz.

La necesidad de buscar una mejor calidad de vida en esta área es lo que nos ha motivado a realizar este proyecto pues allí, se desarrolla una gran actividad industrial de explotación de recursos naturales al lado de una extracción casi rudimentaria de oro y diamantes en medios sedimentarios del cuaternario sobre estructuras de rocas muy antiguas del precámbrico con edades calculadas radiométricamente entre 3,5 a 0,9 ga (un ga comprende mil millones de años).

Los chequeos de campo los hemos venido realizando desde hace 10 años con el apoyo de Edelca (Electricidad del Caroní, C.A.) pero, desde hace dos años hemos acordado hacer el estudio integral para desarrollar más cada una de las especialidades mencionadas con anterioridad.

En cuanto a la geomorfología trataremos de realizar cartas geomorfológicas, estudios de laboratorio, descripción de cortes en la llanura aluvial, la evolución actual, datación, etc. Lo cual nos permitirá un mejor conocimiento de esta área y siempre contando con el apoyo del personal de CVG-EDELCA.

Aproximaciones geomorfológicas en un sector de la cuenca baja del Río Caroní

Este estudio es la base de un proyecto de investigación que venimos realizando desde hace 10 años aproximadamente, y el cual ha originado algunos análisis preliminares para tratar de conocer mejor la dinámica de esta baja cuenca que cuenta con 15.000 km². Situada entre los 6 grados 52' y 8 grados 25' de latitud norte y 66 grados 33' y 63 grados 27' de longitud oeste, en esta área se encuentra la obra civil más grande que ha desarrollado el hombre en Venezuela (La Represa de Guri) y la cual genera la mayor cantidad de energía eléctrica de nuestro país.

La producción de oro, diamantes, hierro y rocas ornamentales es otra fuente de riqueza de la zona. Hemos atacado el problema del estudio desde el punto de vista del impacto ambiental en los medios geomorfológicos, geológicos, de suelo, vegetación y climático, en un sector, donde en la actualidad se desarrolla la construcción de otras 3 represas, aguas abajo de Guri (Tocoma, Caruachi y Macagua II). El análisis del impacto tiene como consecuencia que debemos profundizar en el conocimiento de los factores anteriormente nombrados, lo cual conlleva a un análisis multidisciplinario de este sector, comprendido entre Guri y la desembocadura del Río Caroní en el Orinoco.

El estudio de los procesos no es el objetivo principal de esta ponencia sino presentar algunas características que resaltan de este medio físico, altamente interesante por su riqueza, ubicación y desarrollo futuro.

El Río Caroní discurre sobre el escudo Guayanés sobre rocas muy antiguas precambrianas arqueozoicas y proterozoicas, con edades calculadas por métodos radiométricos entre 3.500 millones y 1.000 millones de años.

Toda la cuenca del Caroní alcanza 95.000km² y se divide en 4 provincias: Cuchivero, Roraima, Pastora e Imataca. Las que nos interesa en este estudio son la Pastora e Imataca.

Bajo Caroní

El límite entre el alto y bajo Caroní se establece en la confluencia con el Río Paragua en un lugar que anteriormente se llamaba San Pedro de Las Bocas. Este poblado quedó bajo las aguas del Lago de Guri debido a la última subida de cota por la ampliación de la represa que la llevó a formar un lago artificial de 4.250km².

La llanura en la cual drena el bajo Caroní es suavemente ondulada, sobre la que se elevan filas, colinas e inserberges separados por anchos valles, cuya pendiente media es inferior a 2m/km de sur a norte. La llanura es el resultado de un largo proceso erosivo morfoclimático sobre rocas ígneas y metamórficas. La densidad de drenaje es menor que en la cuenca alta debido, al menor volumen de precipitación en la zona, mientras el patrón de drenaje es dendrítico y disminuye de cierta manera el control estructural.

La temperatura media del área es de 22,9 grados centígrados, pudiendo llegar a 27 grados centígrados en los lugares más bajos y a 11,5 grados centígrados en los puntos más elevados, la oscilación diaria de la temperatura es 9,3 grados centígrados como máximo.

Las temperaturas más altas casi siempre se alcanzan entre las 13:00 y las 16:00 horas y las más bajas poco antes del amanecer entre las 04:00 y las 07:00 horas.

La precipitación en la cuenca alta alcanza una media de 2.715,7mm presentando áreas con una precipitación anual nunca menor de 4.000mm como se registra en la subcuenca del Paragua medio, en el bajo Caroní los totales anuales apenas superan los 1.000mm.

Geomorfología

Indicar que el área está estudiada geomorfológicamente no es cierto, eso es lo que estamos haciendo, sin embargo, hemos recabado información en estudios preliminares **en un área con paisajes de llanura** formando algunos relieves exhumados en forma de mesa. Los efectos de esta exhumación erosiva han permitido afloramientos de cuarcitas ferruginosas como la del Cerro Bolívar o filas del Necuima o Quiribay (paralelas a la falla de Guri al este del Río Caroní) como también las cuarcitas ferruginosas de las filas María Luisa y Buenos Aires, cuyos flancos fracturados y aportes de sedimentos coluvionales han producido desarrollos de glacis de edad pleistocénicas sobre todo, terminando en pequeñas terrazas en el Río Tocomita. Estos glacis, alcanzan unos 8 grados de pendiente y en la mayoría de los casos, cubren domos graníticos redondeados.

Existen numerosos valles de 10 a 20 metros de profundidad cuyos coluviones de vertientes han colmatado el valle dándole forma casi redonda al tipo de paisaje, lo cual nos llama mucho la atención y estamos tratando de profundizar en esta morfogénesis tan particular. Cerca de la confluencia del Río Orinoco se presentan llanuras aluviales con remanentes de rocas duras, granitos y cuarcitas ferruginosas y es en esta área donde se desarrolla el glacis del 70 donde tomamos muestras para hacer curvas granulométricas en el laboratorio. Allí obtuvimos curvas de acumulación libre en material de tipo homométrico, la base de la sección de la muestra medía 1,76 cms de color marrón rojizo y el tope de la secuencia se hacía de color amarillo con un espesor de 50 cms, cuya edad era del pleistoceno datada relativamente.

Lo mismo ocurrió en la muestra tomada en el sector de Matanza, pero la base de la secuencia era de 5 metros, de color rojo y en el tope medía 70 cms de color marrón, material homométrico y de edad pleistocena.

En cambio en el sitio El Corozo, municipio Piar, al sur del Pao, en un coluvión de vertiente de edad pleistocena de color rojo y espesor de 80 cms, el material era de tipo heterométrico con gran cantidad de materia orgánica, el horizonte de la base de la secuencia es de color blanca con muchas concreciones de hierro combinadas con materia orgánica, lo mismo hemos hecho en la quebrada El Lindero, Merey, etc, en la carretera Ciudad Piar-Guri-Puerto Ordaz.

Más cerca de la desembocadura del Caroní en el Orinoco aparecen las llanuras de inundación.

El color negro de las aguas del Caroní, creemos se deba al contenido de ácidos húmicos CO₂, CH₄, H₂, los cuales son muy reductores y de un Ph ácido, como el que presentan los suelos del área en estudio. Por lo demás, debemos seguir investigando esta serie de fenómenos en estas aproximaciones geomorfológicas.

Con la ayuda de imágenes de radar hemos comenzado a elaborar una serie de croquis con sus respectivas leyendas para conocer mejor el área y sus potenciales económicos como es la

explotación de oro y de diamante y últimamente, granitos para uso ornamental extraído de las canteras alrededor del cerro o fila Buenos Aires.

Hidrogeomorfología

Estamos ensayando la utilización de la morfometría de drenaje basado en el método Horton, modificado en el MEM y lo hemos aplicado en las cartas 1:100.000 números 7539 y 7538, obteniendo un mapa de drenaje de segundo orden con densidades entre 01 y 03 en la margen izquierda del Caroní, entre Ciudad Piar y Ciudad Bolívar.

Los resultados de este análisis y descripciones nos preparan para incursionar en la informática aplicada a la geomorfología.

El estudio detallado de este trabajo lo tendremos listo dentro de un año, pero ya se han podido analizar algunas fracturas y relieves que se han ido colmatando por coluviones poco profundos procedentes de los valles que conforman el área. Se ha podido determinar también algunas zonas de recarga de aguas subterráneas.

Cartas Fisiográficas

En principio, hemos llamado a este intento de cartas pregeomorfológicas, cartas fisiográficas, porque solo hacen mención de descripción y no de procesos y evolución. La llamamos con toda propiedad, fisiográficas, porque lo que contiene es un inventario de la forma que allí aparecen, es el caso de la carta del Cerro El Pao y del Cerro Bolívar. Allí se describen tipos de colinas altas, medias, bajas, vegas y llanuras onduladas, elaboradas con fotografías aéreas a escala 1:20.000 y 1:50.000.

Cartas de Vegetación

Realizamos una carta de vegetación en el Cerro El Pao a escala 1:50.000 donde aparecen una serie de características de la vegetación la cual cambiará de aspecto cuando la mina de cielo abierto del Pao deje de funcionar y se transforme en un lago artificial alimentado por las aguas subterráneas que inundan constantemente la mina.

Estas 3 cartas fisiográficas y de vegetación no están terminadas como se dijo al principio pues ese es el proyecto donde trabajamos en la actualidad con un equipo multidisciplinario.

Condiciones Actuales

En el impacto ambiental se resume todo el trabajo que será de gran utilidad en la explotación de la cuenca baja del Caroní, pues el equilibrio de las áreas estables, semiestables e inestables del medio morfogenético se está afectando por la construcción de las represas de Guri, Tocoma, Caruachi y Macagua II. Es allí donde estamos atacando el problema, partiendo de los estudios geomorfológicos que deben dar respuestas para mantener el equilibrio morfodinámico en esta parte de la cuenca.

Conclusiones

El proyecto de investigación, apenas lo hemos iniciado, tenemos muchas dudas, pero estamos trabajando con ayuda del personal de CVG-EDELCA, sobre todo con el personal de cuencas gerenciado por el Ing. Alfredo Lezama y el jefe de la división de Estudios Básicos, Ing. Freddy Guzmán, así como el asesoramiento del Geol. Cruz Briceño, quien ha compartido el trabajo de campo con los profesores y estudiantes de la Escuela de Geografía.

Creemos que algunas respuestas las tendremos en un período de 8 meses pero este trabajo no debe durar menos de 2 años en su ejecución.

Referencias

- | | |
|------------------------------------|--|
| Briceño S, Cruz.
CVG - EDELCA | Comunicaciones en campo. Guri. 1991.
Informes inéditos de campo. Caracas. 1988 |
| González de Juana Clemente et. Al. | Geología de Venezuela y de sus Cuencas Petrolíferas.
ed. Foninves. Tomos I y II. Caracas, 1980.
407pp y 031pp. |
| Theobald, N. et Gama, A. | Geologie Generale et Petrologie. ed. Doin. Paris,
1969, 566pp. |
| Tricart, Jean | Principes et methodes de la geomorphologie
Masson, París, 1965, 496pp. |
| Tricart, Jean et Cailleux, A. | Initiation a L'etude des sables et des galets.
Centre de Documentation Universitaire La Sorbone,
Paris, 1965, 369pp. |
| Villavicencio Ch, José María | Estudio Geomorfológico preliminar de la Cuenca
baja del Río Caroní.
Caracas, UCV. 1988, 136pp. |

IV ENCUENTRO NACIONAL DE CLIMA, AGUA Y TIERRA
IV JORNADAS NACIONALES DE HIDROLOGIA
METEOROLOGIA Y CLIMATOLOGIA

Tema 3.1. : Organización y Manejo del Territorio en base a los Recursos Clima, Agua y Tierra

Geógrafo Vidal Saez(1), Ing. Hidrometeorologista María T. Martelo (1)

METODOLOGIA PARA ZONIFICACION
DE CULTIVOS

(1) Departamento de Agrometeorología, Dirección de Hidrología y Meteorología, Tlf. 408-18-42, Fax 545-06-07

CARACAS, MARZO 1992

METODOLOGIA PARA LA ZONIFICACION DE CULTIVOS

INTRODUCCION

La búsqueda de una agricultura más eficiente es prioritaria para asegurar la alimentación de la población, así como para lograr la conservación de los recursos básicos del hombre, el suelo y el agua. Una mejor comprensión del proceso de la producción agrícola aseguraría una mayor eficiencia a ésta, especialmente en el caso de los cultivos de secano, que conllevan una alta carga de riesgos; una de las formas de reducir estos riesgos es la zonificación de cultivos, que consiste en organizar la distribución de cultivos en espacios geográficos en función de los recursos clima, suelo y agua disponibles en esos espacios, con el fin de racionalizar su uso, ya que el simple aumento de las áreas cultivadas no asegura un buen rendimiento de los rubros sembrados. Este trabajo pretende sintetizar la metodología empleada por el Departamento de Agrometeorología del MARNR para la zonificación de cultivos en las áreas de Mesa de Guanipa, Guanare-Masparro, Valle del Río Yaracuy, Sur del Lago de Maracaibo, y actualmente en Cuenca del Río Unare, Planicie de Maracaibo y Valle de Quíbor.

1.- DATOS UTILIZADOS

Se utilizan datos climáticos a dos niveles temporales : mensual (precipitación, evaporación, temperaturas máxima y mínima medias, humedades relativas máxima y mínima medias, radiación, insolación y velocidad del viento) y decadal (precipitación y evaporación).

La información edáfica principal es el contenido de humedad en el suelo, tomado de las curvas de retención de humedad; si éstas no existen, se estima el valor en base a la textura , según un nomograma publicado por el CIDIAT (Norero, 1976); también se consideran el drenaje, profundidad, pendiente, fertilidad y pH. La clasificación por capacidad de uso se utiliza como información síntesis del uso potencial. La escala espacial de trabajo es 1 : 250.000.

Para el cultivo se recopila información sobre las duraciones de las fases fenológicas que atraviesa en el ciclo vegetativo, sus requerimientos respecto a las características edáficas nombradas anteriormente, y sus requerimientos respecto a las características climáticas, en cada fase fenológica, haciendo énfasis en la demanda de agua. Se usa el coeficiente de cultivo "Kc", que relaciona la demanda de agua del cultivo, básicamente un factor biológico, con la evapotranspiración potencial (ETP), que puede ser entendida, y a efectos prácticos es calculada, como un factor climático. También se considera el efecto de la disminución de rendimiento por déficit hídrico, con el coeficiente "Ky". Esta información es, en su gran mayoría, obtenida de la FAO (Doorembos, 1977 y 1979), y de otras fuentes.

2.- METODOLOGIA

La idea básica es comparar los requerimientos de los cultivos en cuanto a suelo y clima, y la "oferta" edafoclimática del área, para cuantificar que tan satisfactoriamente son cubiertos los requerimientos, y en consecuencia, que grado de aptitud tiene el área para el cultivo específico. En primera instancia, se analizan separadamente las relaciones suelo-cultivo y clima-cultivo, y luego se integran para obtener un resultado único.

2.1.- PROCESAMIENTO DE LA INFORMACION CLIMATICA

Para precipitación se usa un registro de al menos 20 años; todos los datos climáticos mencionados en el punto (1) son completados, y verificada su homogeneidad; para la precipitación y la evaporación decadales se calculan los estadísticos primarios.

Con los datos mensuales de temperaturas, humedad relativa, insolación, radiación y viento, y utilizando la evaporación de Tina Tipo A como patrón de comparación, se determina la fórmula de evapotranspiración potencial (ETP) mejor adaptada al área, de doce fórmulas posibles. La ETP calculada

según esa fórmula se relaciona entonces con la evaporación mediante una regresión lineal, de modo que se cuenta con valores de ETP en todas las estaciones que miden evaporación. A partir de la ETP mensual se obtiene de manera gráfica la ETP decadal, y se calcula una nueva regresión lineal entre esta ETP y la evaporación decadal.

A continuación se determinan las zonas con patrones homogéneos de ETP dentro del área, a fin de determinar cual ETP utilizarán aquellas estaciones que miden unicamente precipitación.

Por último se calculan los balances hídricos decadales obteniéndose, para cada década de cada año, los valores de : Precipitación > 1/2 de ETP, Precipitación > ETP, Índice YAO (YAO=ETR/ETP), Almacenamiento de agua en el suelo, Excesos de agua y Déficit de agua.

Analizando esta información se puede calcular, para cada década, la frecuencia de ocurrencia de sequías ($P < 1/2ETP$), superación de un valor umbral (por ej., almacenamientos mayores al 40 % de la capacidad máxima de almacenamiento), valores de láminas con una probabilidad dada (por ej. la lámina de excesos que tiene 75 % de probabilidad de ocurrencia, es decir, que será superada 3 años de cada 4), etc.

2.2.- CALCULO DE FECHAS DE SIEMBRA

Usando los datos mensuales de precipitación y ETP, y según la metodología de Franquin (Franquin, 1983), se obtienen para cada año de registro las fechas de inicio y fin de los períodos de crecimiento y húmedo, y en base al análisis frecuencial, las fechas de 25 %, 50 % y 75 % de probabilidad de ocurrencia, que a efectos prácticos se asimilan a un inicio del período lluvioso temprano, normal y tardío, respectivamente. Asimismo, se obtienen las duraciones de los períodos de crecimiento, húmedo y de siembra, para esas tres probabilidades. Esta metodología solo es aplicable en aquellas zonas con régimen estacional de precipitación.

2.3.- INTEGRACION CLIMA-CULTIVO

Primero se selecciona el criterio según el cual se compararán los requerimientos del cultivo con la oferta climática del área, y luego se determinan los valores umbrales de los requerimientos para 4 rangos de adaptabilidad (Apto, Moderadamente Apto, Marginalmente Apto y No Apto). De esta comparación se obtienen los mapas de integración clima-cultivo.

2.3.1.- Áreas con Régimen Estacional de Precipitación

El criterio de adaptabilidad es el factor de efecto del déficit sobre el rendimiento (K_y):

$$(1 - (Y_a/Y_m)) = K_y * (1 - (E_{Ta}/E_{Tc})) \quad (a)$$

donde : Y_m =rendimiento potencial ; Y_a =rendimiento real ; E_{Tc} =ETP* K_c =evapotranspiración máxima del cultivo ; E_{Ta} =evapotranspiración real del cultivo y se asumen los siguientes grados de aptitud : Apto si $Y_a/Y_m > 0.75$; Moderado si Y_a/Y_m vale 0.50 a 0.75 ; Marginal si Y_a/Y_m vale 0.25 a 0.50 y No Apto si $Y_a/Y_m < 0.25$.

Para hallar los umbrales, se despeja en (a) el valor E_{Ta}/E_{Tc} , y conocido E_{Tc} , se calcula como lámina (mm), el valor de E_{Ta} que requiere el cultivo para obtener un rendimiento dentro de cada rango de aptitud, tanto para la fase crítica, como para el ciclo vegetativo total. Estos valores de E_{Ta} se comparan con la oferta climática del área, que es la precipitación efectiva de 75 % de probabilidad de ocurrencia (lámina superada 3 años de cada 4) acumulada durante el ciclo vegetativo y las fases críticas.

2.3.2.- Áreas Muy Húmedas con Precipitación no Estacional

En estos casos no es aplicable el criterio basado en el K_y , puesto que la limitante no es el déficit; en su lugar se usa un criterio que combina el Índice YAO con los excesos. En primer lugar, se establece el requerimiento del cultivo en términos de la duración de ciclo vegetativo y fases críticas, para los cuatro rangos de adaptabilidad, y luego se compara con la oferta climática del área, asumiendo como la duración del período durante el cual el Índice YAO es mayor a 80 % ($YAO = ETR / ETP = 0.8$ ó más) con un 75 % de probabilidad de ocurrencia, es decir, en 3 años de cada 4; En segundo lugar, se establecen los valores de excesos que son aceptables según los cuatro rangos de adaptabilidad, y se compararon con la "oferta"

del área, que es la lámina de exceso de 75 % de probabilidad de ocurrencia; por último se integran de forma gráfica estos dos criterios, obteniéndose la clasificación clima-cultivo.

2.3.3.- Áreas Secas

En zonas áridas, como Quíbor, para ninguna probabilidad la oferta climática satisface los requerimientos, por lo que el trabajo se centra en calcular láminas netas de riego, usando los valores de déficits climático y de cultivo. En áreas como Planicie de Maracaibo, con clima semiárido a árido, se usa el criterio de adaptabilidad basado en el K_y , como en el punto 2.3.1., y se establecen los requerimientos para cada rango de adaptabilidad a través del índice YAO de cultivo ($YAO_{cultivo} = YAO / K_c$); como oferta climática del área se analizan los valores del Índice YAO de 60 % de probabilidad de ocurrencia, dado que para el nivel de 75 % el área es prácticamente No Apta para cualquier cultivo. En este caso se determina para cada década del año su grado de adaptabilidad según un índice, y se calcula un índice total como la sumatoria del índice decadal durante el ciclo vegetativo y durante las fases críticas.

2.4.- INTEGRACION SUELO-CULTIVO

En base a la información edáfica disponible, se selecciona un criterio para jerarquizar la influencia de los factores de suelo (textura, drenaje, etc.) sobre los cultivos. Luego se determinan los umbrales para los cuatro rangos de adaptabilidad, y se generan los mapas suelo-cultivo.

2.5.- ZONIFICACION AGROCLIMATICA DE CULTIVOS

El mapa de zonificación agroclimática se produce superponiendo los mapas integrados suelo-cultivo y clima-cultivo. La leyenda general mantiene cuatro rangos de adaptabilidad. Si alguno de los dos factores es No Apto, la clasificación definitiva es No Apto.

2.6.- ANALISIS DE RIESGOS CLIMATICOS Y EDAFOCLIMATICOS.

Como complemento a la zonificación, se analiza el riesgo de ocurrencia de veranillos de dos intensidades (sequías y semisequías), así como excesos y déficits, en ambos casos para una y dos décadas consecutivas.

2.7.- BALANCES HIDRICOS DE CULTIVO

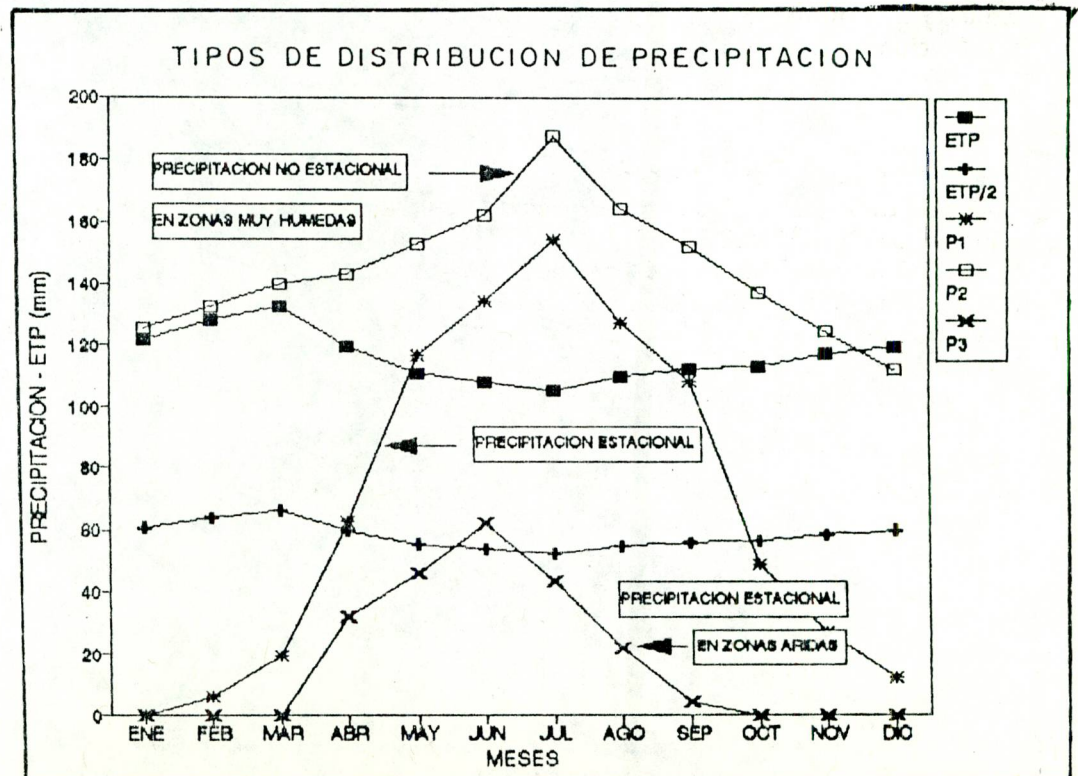
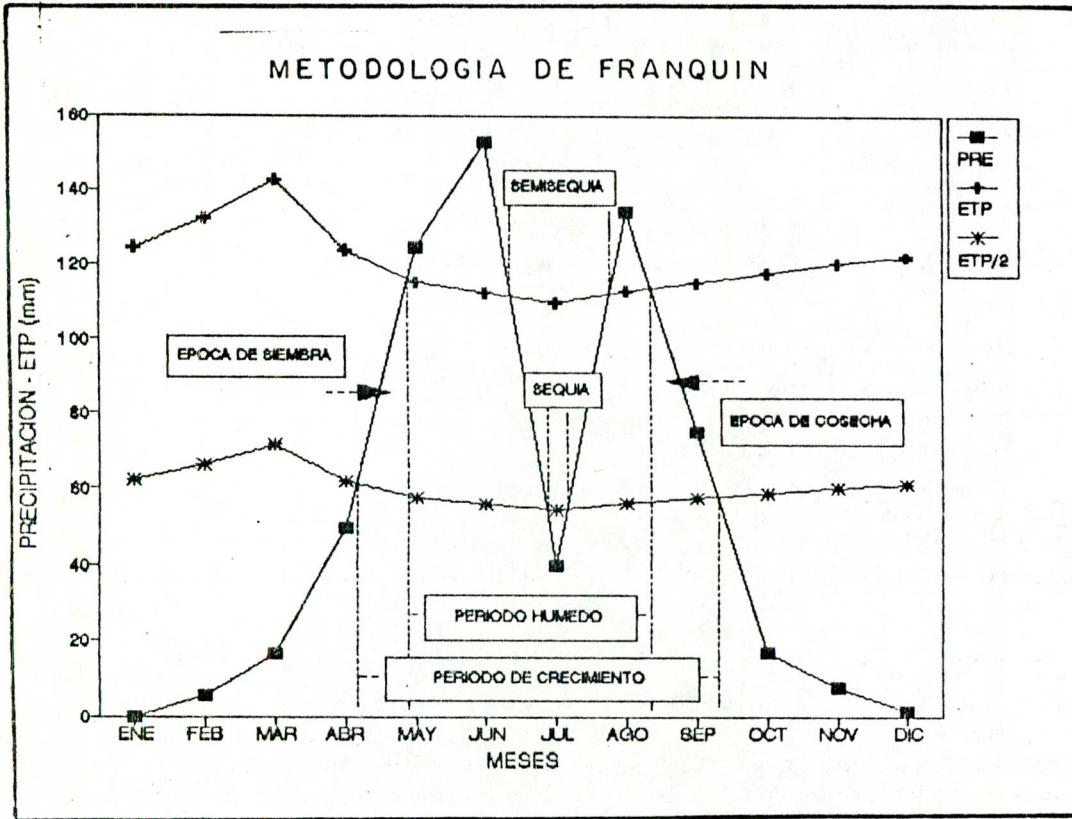
Como último paso se calculan los balances hídricos decadales de cultivo, con la E_{Tc} y la precipitación de 75 % de probabilidad de ocurrencia. El balance asume cada década del año como fecha de siembra, y calcula el rendimiento relativo esperable (%) resultante de las disminuciones tanto por déficits como por excesos; señala además el período no apto para siembra por problemas de trabajabilidad del suelo. Esta información es útil para afinar las fechas óptimas de siembra a entrada de aguas, y determinar las fechas de siembra a salida de aguas, aunque no es usada directamente en la zonificación.

3.- RESULTADOS

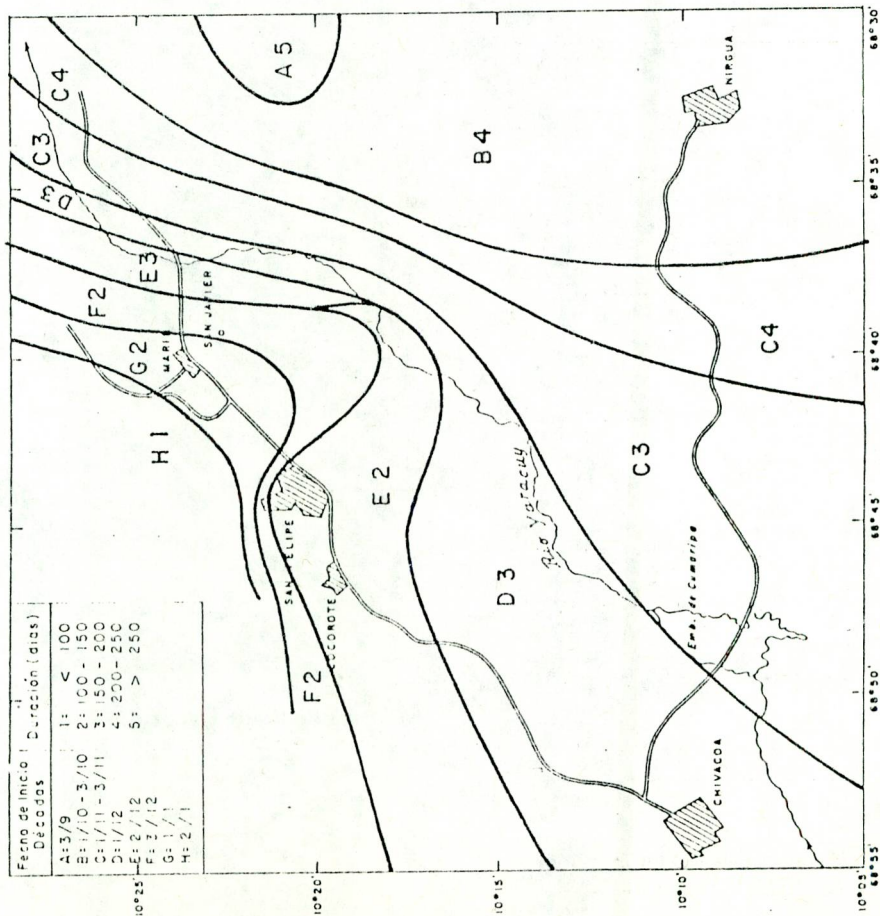
Los resultados obtenidos con esta metodología son :

- Base de datos climáticos procesados con aplicación hacia las actividades agrícolas, así como información derivada (E_{TP} , YAO).
- Fechas de inicio y duración de las épocas de preparación de tierras, y épocas en las que es posible el cultivo para diferentes niveles de probabilidad de ocurrencia.
- Organización espacial de cada cultivo en base a las condiciones edafoclimáticas del área, según cuatro niveles de adaptación : Apto, Moderado, Marginal y no Apto.
- Frecuencia de ocurrencia de eventos adversos al cultivo : veranillos, déficits, y excesos de agua en el suelo.
- Riesgos asociados a la duración de la época óptima de siembra.
- Valores de láminas para diferentes niveles de probabilidad de ocurrencia de déficits, excesos y almacenamiento de agua en el suelo.

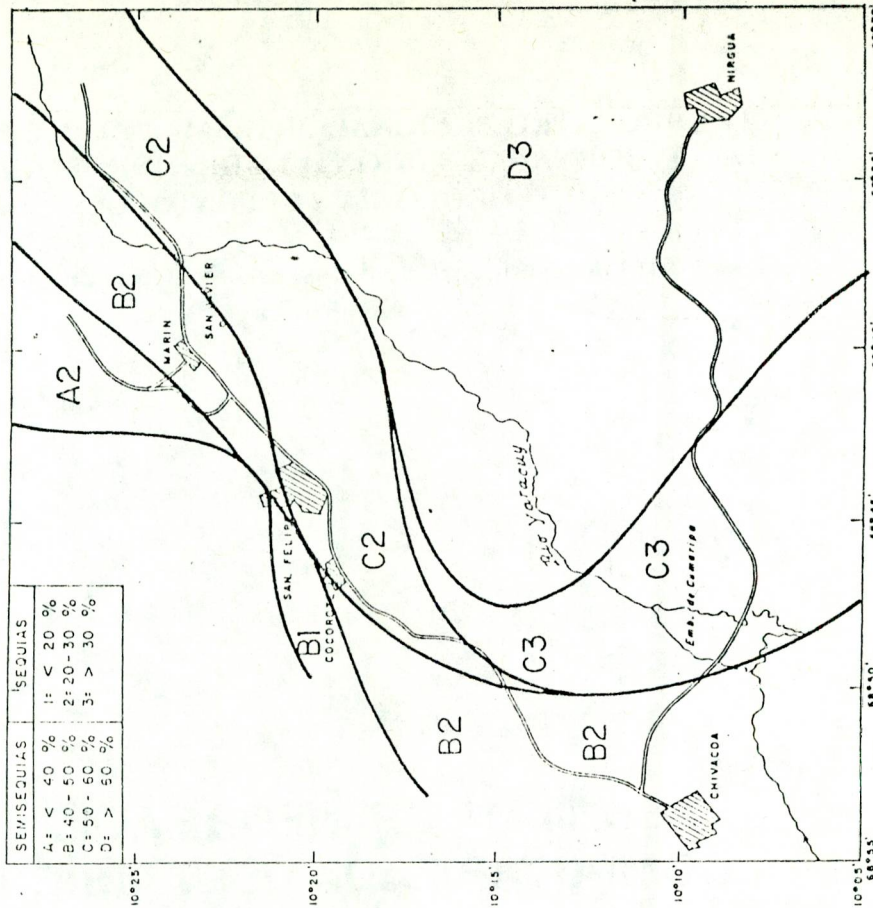
- Doorembos et al. Requerimientos de Agua de los Cultivos. Boletín FAO de Riego y Drenaje No. 24, Roma, 1977.
- ----- Efectos del Agua sobre el Rendimiento de los Cultivos. Boletín FAO de Riego y Drenaje No. 33, Roma, 1979.
- Franquin, P. Modelos Estadísticos sobre Potenciales del Período Climático de Crecimiento de Cultivos en "Información Agroclimática para el Desarrollo - Reviviendo la Revolución Verde", FONAIAP, Maracay, 1983.
- Norero, A. Evaporación y Transpiración. Serie Suelos y Clima, CIDIAT, Mérida, 1976.



FECHA DE INICIO Y DURACION DEL PERIODO CON RIESGO DE OCURRENCIA DE DEFICIT MAYOR DE 50 %



RIESGO PROMEDIO DE OCURRENCIA DE SEQUIAS Y SEMISEQUIAS EN MAYO



**IV ENCUENTRO NACIONAL DE CLIMA, AGUA Y TIERRA
IV JORNADAS NACIONALES DE HIDROLOGIA,
METEOROLOGIA Y CLIMATOLOGIA**

**Tema 4.1: Procesamiento de datos: Los Sistemas de Información
Geográfica**

**SISTEMA DE INFORMACION
COMPUTARIZADA DEL AMBIENTE**

**AUTORES:
Freddy Flores
Luis León
Ramiro Salcedo
Victor Rondón
Victor Vilachá**

Servicio Autónomo de Geografía y Cartografía Nacional

INTRODUCCION

A principios de 1988 se procedió a iniciar la primera fase de un sistema que, mediante el uso de las imágenes de satélite y la tecnología de los sistemas de información geográfica, pudiera procesar la gran cantidad de datos acumulados desde la creación del Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales renovables (M.A.R.N.R.). Este sistema produciría la información que los gerentes del Ministerio requerían para que el proceso de toma de decisiones fuese más dinámico, preciso y eficiente (Gosselin et al, 1989).

Esta primera fase consistió en el diagnóstico de la situación que presentaban las direcciones del M.A.R.N.R. responsables de generar la información básica. Una vez obtenido, se definieron cuatro proyectos pilotos que permitirían demostrar las posibilidades reales derivadas de la utilización de las tecnologías mencionadas:

- 1) Generación de cartografía topográfica con imágenes estereoscópicas del satélite SPOT en áreas no cubiertas.
- 2) Actualización de cartas a escala 1:100.000 con imágenes de satélite.
- 3) Aplicación de un modelo distribuido de lluvia-escorrentía en una cuenca no intervenida.
- 4) Producción de cartografía temática a partir de imágenes del satélite LANDSAT-TM.

El éxito obtenido con los resultados de estos proyectos sentó las bases para la segunda fase del proceso de creación del Sistema de Información Computarizada del Ambiente (SICA), el cual consistió, por una parte, en definir la configuración que en materia de hardware y software debía ser adquirida y por la otra, prever todo el soporte técnico necesario para asegurar una transferencia tecnológica eficaz al grupo gerencial y técnico del SICA. La culminación de esta fase tuvo lugar entre los meses de Enero y Abril de 1990 con la adquisición, instalación e integración de los equipos y sistemas y su puesta en funcionamiento para iniciar el entrenamiento por áreas al personal técnico del proyecto. Para julio del mismo año, las cuatro unidades operativas de SICA entraban en total funcionamiento.

ESTRUCTURA ORGANIZATIVA

El M.A.R.N.R. en Venezuela, es el organismo a cargo de la generación, recopilación, organización, almacenamiento y procesamiento de la mayor parte de la información físico - territorial. El Servicio Autónomo de Geografía y Cartografía Nacional, como parte del M.A.R.N.R, tiene bajo su responsabilidad la producción de la información cartográfica básica y derivada del país, así como el manejo de las redes geodésicas, gravimétricas y mareográficas y la producción de estudios e investigaciones geográficas. El SICA se ubica administrativamente dentro de éste último por cuanto sus funciones tienen que ver esencialmente con el quehacer cartográfico y geográfico. Sin embargo su función primordial es apoyar, con el manejo de la tecnología, a la gestión general del ambiente.

OBJETIVOS GENERALES

Son dos los objetivos principales que se persiguieron con la creación del SICA:

- 1) Establecimiento del centro de procesamiento digital de imágenes del M.A.R.N.R.
- 2) Establecimiento de un sistema de información geográfica para proveer a la gerencia del Ministerio con información rápida, precisa, actualizada y eficiente.

DESCRIPCION DEL SISTEMA

UNIDADES DEL SISTEMA Y FLUJO DE DATOS

El SICA está dividido en cuatro unidades operativas: Procesamiento digital de imágenes, Actualización de mapas a escala 1:100.000, Base de datos cartográficos digital y Análisis espacial.

La información producida por cada una de las áreas o subsistemas, son los datos de entrada para otro subsistema, generándose de esta manera un flujo de información constante y dinámico (Fig. No. 1). No obstante, los productos intermedios pueden ser solicitados por usuarios externos, dependiendo de sus necesidades.

Las imágenes de satélite corregidas geométrica y radiométricamente producidas por la unidad de procesamiento digital de imágenes y pasadas a film positivo son utilizadas por la unidad de actualización de mapas. Las cartas actualizadas son luego digitalizadas y archivadas en la base de datos cartográficos digital. Tanto las imágenes de satélite previamente procesadas y en formato digital, como la información contenida en la base de datos, pueden ser recogidas por la unidad de análisis espacial para el desarrollo de modelos de distribución de características o eventos ambientales.

COMPONENTES DEL SISTEMA

El SICA está compuesto por una red local de 5 microcomputadoras del tipo PC-386 (Fig. No. 2), todas ellas provistas de dispositivos gráficos a color de alta resolución. Además se cuenta con los siguientes equipos periféricos: dos mesas digitalizadoras con capacidad para detectar distancias del orden de 0,1 mm, una unidad de almacenamiento para respaldo en cartuchos de 150 MB de capacidad, una impresora de matriz de puntos, una impresora de inyección de tinta, una impresora láser y un plotter.

El único componente no digital del sistema consiste en dos dispositivos óptico-mecánicos PROCOM-2 los cuales son utilizados por la unidad de actualización de mapas para la proyección de las imágenes de satélite en film sobre los mapas desactualizados.

DESCRIPCION DE LAS UNIDADES

Como cualquier sistema integrado, las unidades del SICA tienen objetivos específicos a cumplir y metodologías propias de trabajo, contribuyendo de esta manera al logro del objetivo final del sistema: el establecimiento de un sistema de información geográfica con multiplicidad de funciones. A continuación se describen cada uno de los subsistemas.

PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMAGENES DE SATELITE

Objetivo

Selección, evaluación y procesamiento de imágenes de satélite en formato digital. Estas imágenes son utilizadas luego dentro del sistema en formatos digitales (para análisis espaciales) o transferidas a film positivo (para la actualización de mapas). También pueden ser impresas en papel fotográfico de requerirlo cualquier usuario dentro o fuera del Ministerio.

Resultados

Se han procesado una gran cantidad de imágenes tanto del satélite Landsat TM como SPOT XS que han servido de apoyo a la unidad de Actualización de mapas, así como a otras instituciones: Universidad Central de Venezuela, Departamento de Informática de la Comandancia General del Ejército, Proyectos varios del M.A.R.N.R. (Sistema de Información de Tierras de Venezuela y Proyecto para la Cartografía del Amazonas Venezolano), CORPOANDES, Universidad de los Andes, etc.

ACTUALIZACION DE MAPAS A ESCALA 1:100.000

Objetivo

Actualización de los mapas topográficos existentes a escala 1:100.000, empleando técnicas analógicas e imágenes de satélite de alta resolución.

Resultados

Desde que entró en fase operacional en julio de 1990 hasta el primer semestre de 1991 se han actualizado 66 mapas, estando cada uno de ellos en diferentes fases del proceso posterior a la interpretación.

BASE DE DATOS CARTOGRAFICOS DIGITAL

Objetivo

Digitalización, edición y organización en una base de datos computarizada de la información cartográfica básica (planimetría y altimetría) existente y actualizada a escala 1:100.000.

Resultados

En la actualidad existen en Venezuela 350 mapas a la escala de trabajo, cuyas dimensiones son de 30' de longitud por 20' de latitud. Luego de 14 meses de trabajo, se ha conseguido cubrir un aproximado del 20% de los mapas existentes y actualizados.

ANALISIS ESPACIAL

Objetivo

Creación de modelos de distribución espacial de fenómenos ambientales, mediante el procesamiento y análisis de datos georeferenciados. Estos datos pueden provenir en formato digital de las demás estaciones dentro del sistema (base de datos cartográficos y procesamiento digital de imágenes) o de distintas fuentes dentro y fuera del Ministerio en forma de base de datos digitales. Estos últimos son, en general, puntuales.

Resultados

Hasta la fecha, se han efectuado modelos de distribución de precipitación y temperatura para una área al nor-oeste de Venezuela obteniendo mapas tanto de distribución del parámetro climático como de errores y aceptabilidad de los modelos. Los resultados obtenidos son satisfactorios, incluso en elementos tan variables, tanto temporal como espacialmente, como la precipitación (Martelo et al, 1991).

Se está comenzando un estudio de susceptibilidad de erosión en la misma región, aplicando la ecuación USLE (Universal Soil Loss Equation).

PERSPECTIVAS A CORTO PLAZO

En la actualidad se encuentra en preparación la fase III del SICA, la cual consistirá, principalmente, en la ampliación del sistema en cada una de las áreas, tanto en hardware como en software, además de incluir el entrenamiento apropiado, continuando de esta manera la transferencia de tecnología que se ha venido llevando a cabo por parte de los asesores canadienses.

La unidad de actualización de mapas contará con dos sistemas adicionales PROCOM-2, lo que permitirá la asistencia a otros departamentos del M.A.R.N.R. en cuanto a la interpretación de imágenes de satélite para la producción de mapas temáticos.

La unidad de procesamiento digital de imágenes será ampliada en su capacidad de almacenamiento con la adición de una unidad de discos ópticos. En cuanto a su capacidad de procesamiento, serán añadidos un programa para el procesamiento de imágenes de radar y otro para la interpretación de imágenes asistida por computadora, lo cual aumentará las posibilidades de producción de mapas temáticos para ser usados en análisis espacial.

La unidad de base de datos cartográficos digital contará con dos nuevas estaciones para digitalización y edición, las cuales tendrán instaladas la nueva versión de MicroStation PC.

La unidad de análisis espacial será ampliada en su capacidad de almacenamiento, y se adicionará una nueva estación de trabajo con programas avanzados para el procesamiento estadístico de datos meteorológicos e hidrológicos.

Será creada una nueva unidad dentro del sistema para la edición final de mapas, con la finalidad de acelerar el proceso de separaciones de colores y producción de artes finales. Esta nueva unidad estará basada en estaciones de trabajo bajo UNIX y unidas en red a las estaciones ya existentes.

CONCLUSIONES

- 1) El SICA ha sido una experiencia única dentro del Ministerio del Ambiente puesto que en él se ha integrado un sistema de información geográfica completo, cuyos procesos van desde la actualización de los mapas hasta la creación de modelos de distribución espacial. Por otra parte es el único sistema computarizado existente en el ministerio con la capacidad de procesamiento digital de imágenes de satélite.
- 2) El M.A.R.N.R. decidió obtener asesoramiento profesional para el diseño y montaje del sistema como un todo, en lugar de adquirir los componentes separadamente y como resultado se consiguió una transferencia de tecnología altamente satisfactoria, y no sólo el aprendizaje de varios paquetes aislados.
- 3) Se ha creado en SICA un equipo multidisciplinario, lo cual implica una gran capacidad de producción de información procesada. El equipo que trabaja en el sistema a tiempo completo, ha sido entrenado para el manejo de las herramientas existentes, mientras que el personal a tiempo convencional son expertos en las aplicaciones, lo cual aumenta la eficiencia del equipo.
- 4) Como consecuencia del diseño del sistema, que implica una interrelación efectiva de todas las unidades, los productos que se obtienen pueden pertenecer a un nivel superior de información que no se consigue con la simple adición de una serie de procesos. En otras palabras, existe sinergia en el sistema.
- 5) Los procedimientos empleados han demostrado ser lo suficientemente eficientes para que se plantee una ampliación del sistema y así aumentar la tasa de producción.

REFERENCIAS

- Gosselin, C., Haja, S.R., Solomon, S.I., Salcedo, R. (1989). Development of an Environmental Information System for Venezuela. IGARSS'89. Vancouver, Canada.
- Martelo, M., Meneses, C., Rivas, C., León, L. (1991). Proyecto Piloto de Regionalización de Parámetros Climáticos en una zona al Nor-Oeste de Venezuela en el Contexto del Sistema de Información Computarizada del Ambiente (SICA). Documento presentado en la III Conferencia Latinoamericana sobre Sistemas de Información Geográfica. Viña del Mar, Chile.
- Solomon, S.I., Caponi, C., Moreau, A., Dengo, M., Lee, M. (1991). The Geographic, Environmental, Economic and Social Information System (GENESIS) for Artificial Intelligence Applications. Paper at the 19th General Assembly of the European Geophysical Society. Wiesbaden, Germany.

FLUJOGRAMA OPERACIONAL

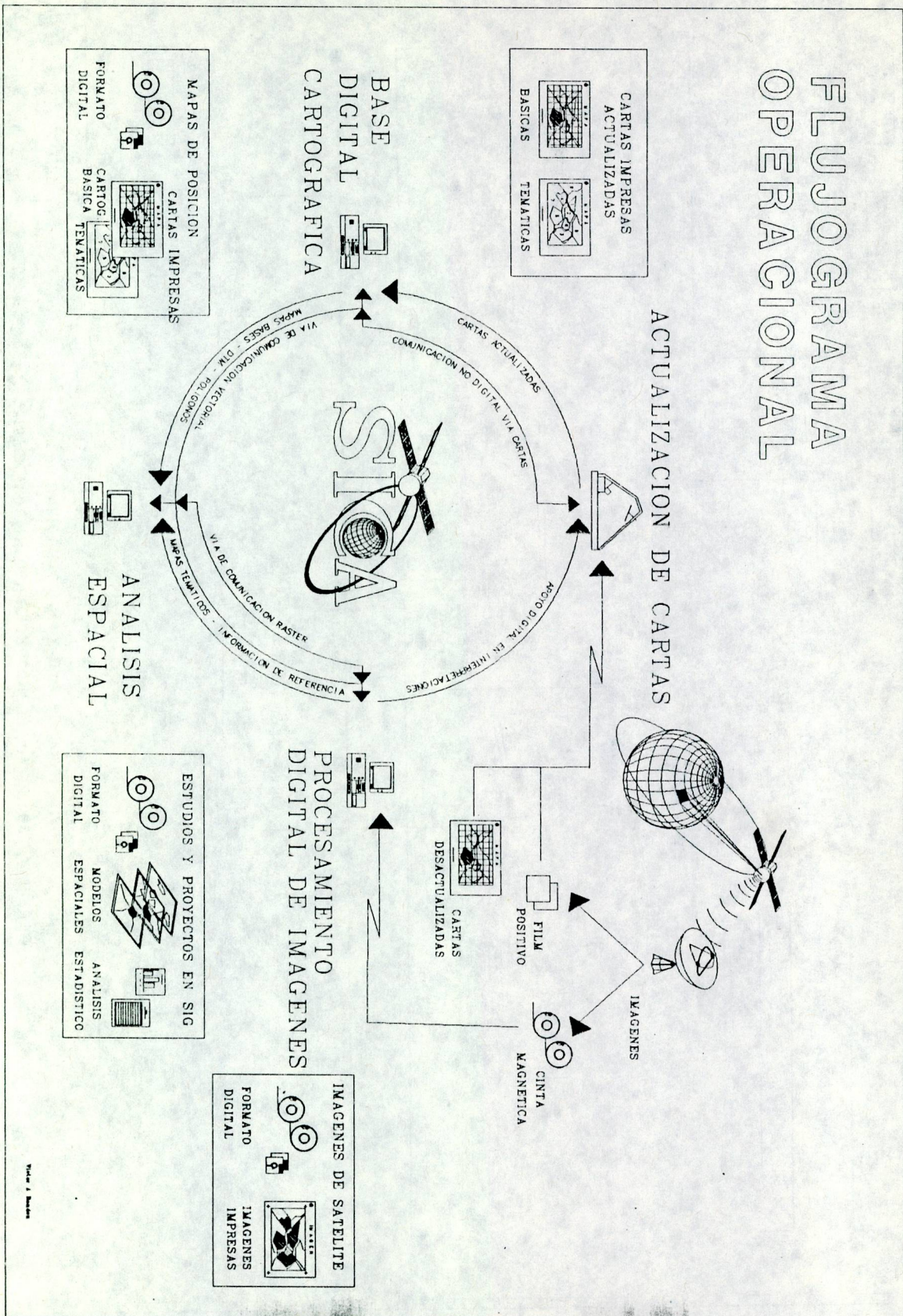


Fig. 1. Sistema

