



REPUBLICA DE VENEZUELA
Ministerio de Obras Públicas
Dirección General de Recursos Hidráulicos
Dirección de Proyecto - Construcción
Análisis de Sistemas

ORGANIZACION MUNDIAL DE METEOROLOGIA
DECADA HIDROLOGICA INTERNACIONAL (IHD)

REPORTE No. 2

Valoración y Extensión de la Sequía Continental

Por V. P. Subrahmanyam

Traducción: Alfredo Eduardo

Revisión y corrección de la traducción:
Manuel Matute Padrón

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
DEPARTAMENTO DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA

Ministerio de Obras Públicas
Dirección General de Recursos Hidráulicos
Dirección de Proyecto- Construcción
Unidad de Análisis de Sistemas

ORGANIZACION MUNDIAL DE METEOROLOGIA
DECADA HIDROLOGICA INTERNACIONAL (IHD)

Reporte N° 2

VALORACION Y EXTENSION DE LA
SEQUIA CONTINENTAL

Por : V. P. Subrahmanyam

Traducción : Alfredo Eduardo

Revisión y corrección de la traducción :

Manuel Matute Padrón

INTRODUCCION

Actualmente el período de las sequías continentales es uno de los mayores problemas que se confrontan a escala mundial pues sus efectos - directos sobre la producción agropecuaria hace que esta sea sumamente - baja en muchos países, sobre todo en los situados en el cinturón intertro- pical. Este grave problema ha presionado a los organismos técnicos espe- cializados en las diferentes ramas (hidrología, climatología, meteorología, agronomía, hidrogeología, edafología, etc.), relacionadas con el fenóme- no indicado, y especialmente a aquellos organismos que como la Organiza- ción Mundial de Meteorología reúnen especialistas de diferentes partes del mundo, a estudiar completa y detalladamente la situación, partiendo desde lo más elemental pero lo más importante como es la definición exacta de la palabra "sequía", hasta llegar a la comparación y aplicación de diferen- tes metodologías aplicadas en algunas zonas "problemas".

Como una contribución posterior al Foro sobre los fenómenos de se- quía y su incidencia en el desarrollo nacional, recientemente realizado en el Colegio de Ingenieros de Venezuela, y auspiciado por esa Institución y la Asociación Venezolana de Hidrología y Meteorología, y como documen- to de interés técnico para los Ingenieros y demás profesionales que trabajan en la Dirección General de Recursos Hidráulicos, se presenta el siguiente - trabajo : "Incidencia y alcance de la sequía Continental" por el Dr. V. - P. Subrahmanayam, el cual fue preparado sobre la base de "Actualización a partir de los datos en la valoración de la incidencia y alcance territorial

de la sequía", el cual es presentado ahora como el Reporte N° 2 del proyecto Década Hidrológica Internacional de la Organización Mundial de Meteorología (OMM/DHI).

La traducción fue hecha por el Sr. Alfredo Eduardo y la revisión y corrección por el Ing. Manuel Matute Padrón.

Dirección General de Recursos Hidráulicos

Unidad de Análisis de Sistemas

Nov. 1974

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
Resumen	
Sección I : Generalidades	1
Sección II : Definiciones y Conceptos	5
Sección III : Índices y Criterios	11
Sección IV : Valoración de las Sequías	17
Sección V : Problemas para ser Estudiados	26
Referencias	31

Sección I

GENERALIDADES

Las sequías se encuentran entre las tragedias más importantes en la tierra y representan los efectos adversos provocados por la intensa escasez de agua. Desde el comienzo de la historia, las sequías han preocupado al hombre seriamente, pues son la causa de consecuencias graves y a veces catastróficas para sus actividades. Aún hoy, son un ejemplo claro de nuestra impotencia ante lo vasto y formidable de los fenómenos naturales.

De la cantidad de agua que recibe la superficie de la tierra, en su mayor parte de las precipitaciones, se utiliza sólo una cantidad similar a la que escapa a la atmósfera por evapotranspiración. Cualquier condición que reduzca el agua residual de que disponemos para usar se puede considerar como productora de sequía.

El término "sequía" tomado generalmente como un período de sequedad ocasionado por la falta de lluvias, se interpreta de diversas maneras -aunque éstas no entran en conflicto- de acuerdo a las experiencias personales, comunitarias o nacionales. Una de las más recientes interpretaciones de este tipo se le atribuyen a Russel (Foley, 1957) en Australia. Este dice que "sequía significa un período de meses o años durante los cuales llueve poco, el país se consume, la hierba y el agua desaparecen, los cultivos pierden su valor y el ganado muere". En EE.UU. se dió una descripción casi idéntica de sequía (por Tannehill, 1947).

La evidencia histórica no exceptúa ninguna parte del mundo que no haya experimentado, de alguna forma, el impacto de las sequías. En un país -principalmente agrícola como la India, en donde se recibe toda la precipita-

ción lluviosa anual prácticamente durante la corta estación monsonica del Suroeste, la falta o hasta la tardanza del monzón en aparecer es suficiente para afectar la producción y golpear fuertemente la economía del país. La - causa inmediata de muchas hambrunas en la India se le ha achacado casi invariablemente a las sequías (Strachey, 1877).

En Nueva Zelandia, donde se supone que las precipitaciones lluviosas están aceptablemente bien distribuidas en el año, las sequías ocasionales son todavía los riesgos más importantes para el cultivo (Rickard, 1966).

El continente australiano es lugar de ubicación de los desiertos más tórridos del mundo, y en la planificación económica de este país, se conside -ran las sequías como parte del programa (Gibbs y Maher, 1967).

Existen referencias a las sequías en la URSS desde el siglo diez, en evidencias indirectas como las invasiones de langostas (Buchinsky, 1963).

Apartando el hecho de que las lluvias son el elemento más variable -conque el clima condiciona la prosperidad económica de cualquier región - (Tixeront, 1956), se producen situaciones de sequía si en el desarrollo de un territorio, surgen demandas en exceso sobre lo disponible normalmente (Hoyt, 1949). En el contexto de las actividades modernas de una civilización profundamente organizada, tales sequías "artificiales" (Palmer, 1967) deben ser -distinguidas cuidadosamente de las naturales.

Una comprensión más clara y una mejor apreciación se hizo posible -después que, a la vuelta de este siglo, se desarrollaron las clasificaciones climáticas (Koppen, 1900). De los diversos esquemas de clasificación propuestos desde entonces, el de Thornthwaite (en 1948) merece mención especial a este respecto, debido a los conceptos racionales sobre los que estaba basado y a -la utilidad versátil del enfoque en cuestión del balance del agua. Haciendo

uso de un índice de humedad Thornthwaite clasificó los climas en el mundo en cinco grupos principales, los cuales han resultado estar no sólo estrechamente relacionados a las asociaciones características de las plantas y a las distribuciones de suelos, sino que ejerce también influencia directa sobre los problemas hidrológicos de las sequías y de la aridez. Los tipos climáticos húmedo y superhúmedo que pertenecen al grupo húmedico son resistentes a las sequías por naturaleza; en tanto que los dos climas secos (el árido y el semiárido) son normalmente más débiles en este respecto. La categoría subhúmedo (que incluye las subcategorías húmeda y seca), ubicada entre los dos grupos principales mencionados, es la determinación climática de muchos tipos de actividad de sequía (Hoyt, 1949).

Los climas de extrema aridez que resultan del predominio permanente de las condiciones de sequía ocasionan la aparición de los desiertos. Entre estas zonas absolutamente áridas prácticamente carentes de vida vegetal, por una parte, y los climas superhúmedos por la otra, existe gran variedad de climas intermedios que sustentan o pueden sustentar especies vegetales de carácter sumamente diverso. Si bien las potencialidades agrícolas o hidrológicas de estas regiones se determinan a partir de las características climáticas generales, el grado de éxito de los cultivos o del funcionamiento de los proyectos hidráulicos en un clima dado, depende de los caprichos del balance del agua a corto plazo o, para usar la terminología de los climatólogos, de la intensidad y duración de las sequías (Subrahmanyami, 1958).

En las diferentes zonas climáticas mencionadas, Thornthwaite reconoció (en 1947) tres tipos de sequía, a saber :

- a) Sequías permanentes en los climas más secos
- b) Sequías estacionales en climas con estaciones lluviosas y secas bien de

finidas; y

- c) Sequías contingentes como resultado de la ocurrencia irregular y variable de las precipitaciones lluviosas.

Este último tipo se presenta en casi cualquier parte, pero es más característico de los climas húmedos y subhúmedos. Aunque usualmente breves y afectando un área relativamente pequeña, son traicioneras debido a su gran intensidad y los momentos críticos de su incidencia.

A la lista dada, Thornthwaite y Mather añadieron (en 1955, a) la "sequía invisible" que ocurre debido a la llamada "deficiencia hidráulica límite" a causa de que la precipitación es aparentemente adecuada, pero que en realidad no llena las exigencias regulares de evapotranspiración. Rickard consideró (en 1966) que el valor práctico de estas sequías invisibles es más bien dudoso. De sus estudios dedujo que la mayor preocupación en Nueva Zelandia son las sequías contingentes.

Palmer declaró (en 1967) que el término "sequía permanente" no tenía por qué introducirse en la ya sobrecargada nomenclatura de las mismas. Su importancia reside en la delineación de las zonas climáticas, y, para este propósito, se reconocen y aceptan ampliamente palabras tales como "árido" y "desierto".

No obstante la vasta literatura que se ha concretado alrededor de las sequías, parece no haber consistencia en el sentido que se le ha dado al término "sequía". Aunque el elemento radical de toda sequía es la escasez de agua, se han acuñado, aparentemente en base a puntos de vista individuales, las definiciones siguientes :

Para los meteorólogos sequía es una condición de carencia de lluvias durante un largo período en el cual se debería haber tenido normalmente cier-

ta precipitación, de acuerdo a la ubicación geográfica del lugar y a la estación del año.

El agricultor considera la sequía como una falta de humedad para sus cultivos, mientras que el hidrólogo la ve como la responsable de las depresiones de los niveles de agua superficiales y del nivel freático o de la disminución del caudal de los cursos de agua.

Para el economista, por otra parte, la sequía significa una escasez de agua que afecta adversamente la economía establecida de la región.

Por lo tanto, estas consideraciones dan más énfasis a la especie (de Blair en 1943) de que la sequía es una condición absoluta y no relativa. Por ejemplo, un conjunto preestablecido de eventos meteorológicos que conlleve a una sequía fenomenal en un clima generalmente húmedo se consideraría quizás como muy normal o aún como causante de una condición desusadamente húmeda en una región semiárida (Palmer, 1967).

Así pues parecería que una definición universal o completamente satisfactoria de lo que es sequía no sólo no existe, sino que es además imposible de sintetizar.

Sección II

DEFINICIONES Y CONCEPTOS

Para la primera definición de sequía, el elemento que resulta inmediatamente a partir de la naturaleza del problema de la sequedad es el monto de la precipitación en un período dado : Sequías de Precipitación (Meteorológica) : Cole usó (en 1933) una definición de quince días sin lluvias.

Al principio se definió la sequía en la Rusia europea como un período de días durante los cuales el total de las precipitaciones no excediese un quinto de pulgada (Tannehill, 1947).

La definición de Blumestock (en 1942) empleada anteriormente por Thornthwaite (en 1941) era que la sequía era un período con precipitaciones inferiores a 0,10 pulgadas en 48 horas.

La Organización Pluvial Británica definió (en 1936) :

- a) "Sequía absoluta" es un período de al menos quince días consecutivos, para ninguno de los cuales se haya recibido 0,01 pulgadas de lluvia.
- b) "Sequía parcial" es un período de al menos veinte días durante los cuales la precipitación media diaria no excede 0,01 pulgadas; y
- c) "Período seco" a uno de quince días consecutivos, para ninguno de los cuales la precipitación pluvial haya alcanzado 0,04 pulgadas.

Muy a menudo los intentos de definir la sequía restringen las lluvias a un porcentaje definido del valor normal mensual o anual.

Sequía de Precipitación (climatológica) : Henry (en 1906) consideró que había sequía siempre que las precipitaciones, durante un período de veinte o más días, alcanzaran sólo el 30 por ciento del promedio para el lugar dado, en el tiempo considerado. Según él, había "sequía extrema" siempre que las lluvias no llegasen al 10 por ciento del valor normal por veinte días o más.

Bates declara que "las sequías ocurren cuando la precipitación anual es del 75 por ciento de lo normal, o cuando la mensual sea el 60 por ciento de lo normal" (Bates, 1935).

Según Hoyt (en 1936) cualquier cantidad de lluvia menor del 85 por ciento del valor normal constituye una sequía.

Baldwin - Wiseman (en 1941) describió la "sequía técnica" en Australia como un período de tres o más meses consecutivos para los cuales la escasez de precipitaciones pluviales llega al 50 por ciento del promedio.

Los meteorólogos de la Tennessee Valley Authority definieron (en 1944) la sequía como un período de tiempo para el cual en ningún intervalo de veintidós días consecutivos se recibía una precipitación mayor de un tercio de lo normal.

En la India, Ramdas consideró (en 1950) la sequía como una ocasión cuando la precipitación en una semana fuese inferior a la mitad de la cantidad normal.

Sequías Atmosféricas : Knochenhaner visualizó (en 1937) el concepto de sequía atmosférica, usando la temperatura diaria máxima y el valor de la humedad del aire en una observación vespertina con el propósito de definir un período de sequedad.

Condra adoptó (en 1944) una ampliación de esta misma idea; en la cual la sequía era un período de fuertes vientos, precipitación escasa, alta temperatura y humedad relativa generalmente baja.

Según Gaussen (1954), había sequía siempre que la precipitación total mensual en milímetros fuese menor que el doble de la temperatura media en °C.

Linsley describió la sequía, en lenguaje cualitativo pero efectivo, como un período sostenido de tiempo sin precipitaciones lluviosas de significado.

Aunque ligeramente tortuosa, la definición propuesta por la Sociedad Americana de Meteorología de que la sequía "es un período de tiempo anormalmente seco lo suficientemente prolongado para que la falta de agua provoque un desbalance hidrológico grave (v.g. daño a los cultivos, escasez del suministro de agua, etc.) en el área afectada", da énfasis al concepto pródigo de Linsley sobre período de sequedad, y que Palmer lamenta que haya sido ignorado por muchos iniciadores de las definiciones de sequía. La definición de

la SAM estipula además que este término "se debe reservar para aquellos pe ríodos en los cuales la deficiencia de humedad sea relativamente extensiva tanto en el espacio como en el tiempo".

Deacon, Priestley y Swinbank exigieron premura en la sistematización de las definiciones de sequía en relación a la efectividad de la lluvia en diferentes climas. Señalando como referencia la definición empleada por la Organización Pluvial Británica (en 1936), observan que la proposición de "que una precipitación de 0,01 pulgadas o más es suficiente para aliviar la sequía" es claramente inapropiada en la agricultura y que en los estudios de las sequías - hace falta un mejor conocimiento y representación de la efectividad de las llu vias.

Thomthwaite discutió (en 1947) el problema de la sequía con gran amplitud desde un punto de vista práctico y señaló que no se puede definir las se quías sólo como deficiencia de precipitaciones, pues tal definición no toma en cuenta la cantidad de agua que en realidad se necesita. "La sequía, dice, no comienza cuando cesa la lluvia, sino bien cuando las raíces ya no pueden quitarle más humedad al suelo".

Shaut expresó con anterioridad (en 1927) esa misma idea al decir "la se quía en su verdadero sentido, está relacionada con la humedad del suelo, y co mienza cuando la cantidad disponible de ésta disminuye de manera que la vege tación ya no pueda absorber más agua del suelo, lo suficientemente rápido para reemplazar la que pierde por transpiración".

La Oficina australiana de Meteorología considera que el método objetivo de especificar una sequía es el de determinar las necesidades mínimas de agua para un propósito en particular. La sequía ocurre entonces siempre que las lluvias para un intervalo de tiempo dado sean menores que las necesidades -

mínimas de agua; y la severidad de la sequía está ligada a la cantidad en que las lluvias fallan en cumplir este requisito.

Como las necesidades de agua de un lugar dependen del tipo y del número de comunidades vegetales y animales que hagan uso de ella, el concepto de sequía no puede estar completamente divorciado del uso al cual se le destina (Mahen, 1966).

Sequía Agrícola : Las consideraciones anteriores nos conducen naturalmente al concepto de "sequía agrícola" : probablemente el aspecto más discutido de este tema. Su estudio exige un sólido conocimiento de geofísica, fisiología vegetal y economía agrícola.

De acuerdo al concepto de balance hidrológico desplegado extensivamente por Thornthwaite and Mather (1955 b), el suelo es un reservorio cuya capacidad de almacenamiento de agua es limitada : las precipitaciones hacen aportes y la evapotranspiración sirve de descarga. La cantidad de humedad que se encuentra en un momento dado en el suelo refleja las condiciones meteorológicas precedentes, las características del suelo y el nivel de las técnicas agronómicas empleadas en la región (Kulik, 1958). Por lo tanto, en la evaluación cuantitativa con fines agrícolas de la sequía, lo más esencial es hacer observaciones precisas y regulares de la humedad del suelo (Holmes, 1962).

Van Bavel propuso entonces (en 1953) que se debía definir la sequía agrícola en base al status de la humedad del suelo y al comportamiento resultante por parte de las plantas; en vez de basarse en la interpretación indirecta de los registros de precipitaciones pluviales. En sus ponencias subsiguientes (Van Bavel y otros, 1956), trató la sequía como aquella condición para la cual la humedad disponible en el suelo para los cultivos era insuficiente.

Como la insuficiencia de la humedad disponible depende de las características del suelo y de los cultivos sembrados, Rickard reestructuró (en 1966) la definición de Bavel de esta manera : "Existe sequía agrícola cuando la humedad del suelo a nivel de la zona radical es igual o menor que el punto de marchitez permanente. Esta condición continúa hasta que el agua de las lluvias excede la evapotranspiración diaria".

En la vasta bibliografía que se ha acumulado hasta ahora sobre humedad del suelo, se presentan marcadas diferencias de opinión (Peuman, 1945; - Thornthwaite, 1948; Veihmeyer y otros, 1955) en lo que se refiere a su relativa disponibilidad para el crecimiento y el desarrollo de las plantas, en la gama que va desde la capacidad de campo hasta el coeficiente de marchitez. Sin embargo, existe un consenso general sobre el principio más fundamental de que : por debajo del punto de marchitez permanente, las plantas no crecen.

En vista de lo indispensable que son los datos sobre la humedad del suelo para conseguir una definición objetiva y una evaluación de la sequía agrícola, recientemente se han desarrollado métodos para determinar la humedad del suelo a partir de consideraciones sobre los datos climatológicos. Holmes presentó (en 1962) un buen estudio de tales cálculos.

Al ocuparse de la base de las lluvias para las definiciones de sequía - desde el punto de vista del agricultor, Trumble dice (en 1948) que una lluvia efectiva fomenta la germinación y las lluvias influyentes mantienen el crecimiento en el período respectivo.

En contraste con los tratamientos puramente meteorológicos o agronómicos de la sequía, Barger y Thom intentaron (en 1949) evaluar el clima de las precipitaciones, a partir del rendimiento productivo de los cultivos, haciendo -

especial referencia a las cosechas de maíz.

Fitzpatrick definió (en 1953) la sequía como un estado de condiciones deficitarias de humedad que produce un efecto adverso y duradero en las plantas - particularmente los de importancia económica.

White (en 1955), Hurlbut (1957) y Parks y Knetsch (en 1959) informaron haber realizado trabajos de casi la misma naturaleza.

Sequía Hidrológica : Otro aspecto del problema de la sequía, y con mayor significado técnico, es la llamada "sequía hidrológica". Esta ha adquirido - comparativamente una inmensa importancia recientemente, a causa de la industrialización y de la urbanización en muchas partes del mundo, y se ocupa de la reducción del caudal de los cursos de agua, del descenso del nivel del agua en lagos y embalses o del descenso del nivel freático. Así pues, quedan estrechamente relacionados los diversos aspectos de las sequías que emanan del concepto básico de deficiencia de agua, en vez de la mera interpretación estadística de las cifras sobre precipitaciones pluviales.

Sección III

INDICES Y CRITERIOS

A pesar de la definición particular de sequía que se adopte, un problema de importancia práctica lo constituye la parametrización de las características de las sequías (Namias, 1967) como valoración cuantitativa de la gravedad y de la magnitud de las mismas, así como también de la frecuencia de su ocurrencia. Esta es el primer paso en la evaluación de la posibilidad económica de las medidas propuestas para combatir las sequías. Un intento en este senti-

do ha sido el desarrollo de ciertos "índices".

Un índice de sequía que se calcule a partir de valores conocidos de los parámetros seleccionados, permite la evaluación cuantitativa de las sequías. La comparación de estos valores índices con los efectos realmente experimentados en las sequías da la base para su clasificación según su severidad.

En los estudios realizados en el territorio ucraniano de la Unión Soviética, se usa mucho un coeficiente pluviotérmico (Buchinsky, 1963). Este es un índice que relaciona, mediante una ecuación empírica, los totales de las precipitaciones y los totales de las temperaturas mensuales promedio para una estación o un período definido; se encontró que la imposición de la sequía estaba indicada por un PTC (coeficiente pluviotérmico) de 2.0. Jameson, en su estudio sobre las sequías, en Colombo, empleó un "índice de riesgo a las sequías". Este era la relación del número de días de sequía, según la definición de la Organización Pluvial Británica, al número de días examinados.

Ramdas siguió (en 1950) un procedimiento puramente estadístico para el estudio de las tendencias pluviales y de su periodicidad en la India. Consideró, para la estación monzónica convencional, que habría sequía cuando las lluvias estacionales tuvieran una deficiencia mayor del doble de la desviación media. Se ocupó principalmente de la utilización de los datos inmediatamente disponibles para la delineación de los años secos sin hacer referencia a su intensidad.

En relación a su estudio de las Grandes Llanuras, Thornthwaite sugirió (en 1941) un método sencillo para la valoración de las sequías. Del gráfico trazado entre la duración del período de sequía y la frecuencia de ocurrencia de tales períodos, desarrolló un criterio de esperanza de sequía basado en el

número de días sin precipitaciones significativas en diferentes períodos de años.

Como parte de su trabajo sobre la climatología de las sequías en Illinois, Huff y Changnon discutieron (en 1963) el rigor de las mismas a partir de la duración del período de deficiencia mensual de la precipitación, por debajo de lo normal. De los diagramas de frecuencia hechos sobre papel de probabilidad logarítmico entre el porcentaje de precipitaciones normales y el intervalo de recurrencia se obtuvieron índices de severidad. Estaban interesados en la distribución espacial y temporal de las sequías de diferente rigor en relación a las condiciones climatológicas sinópticas y a períodos de bajo caudal de los ríos.

Foley (en 1957 en Australia) hizo un esfuerzo realmente serio para deducir un índice de severidad de las sequías a partir del monto de la deficiencia mensual de precipitación expresado en milésimos de la pluviosidad anual (denominados "unidades" para abreviar). Se identificó ampliamente las sequías a partir de la declinación de las pendientes de los gráficos de masas residual (o de desviación acumulativa) de las unidades mencionadas. Para cada período seco de considerable intensidad así identificado, se hicieron gráficos de duración contra la deficiencia por mes. A partir de estos "diagramas de puntos" (como se los llamó) se determinó el grado de severidad - alto, bajo o moderado - de cualquier condición de sequía en particular, relativo a la experiencia adquirida del área en cuestión.

Más recientemente, Gibbs y Maher usaron para sus estudios sobre las sequías en Australia (en 1967) los índices estadísticos de deciles y el rango de valores deciles. Esto se hizo en cumplimiento del programa de investigación de sequías de la Oficina Australiana de Meteorología en base al análisis estadístico de los datos sobre precipitaciones mensuales y anuales solamente. El -

propósito de este estudio fue la determinación de la ocurrencia de lluvias en el espacio y en el tiempo, dándole énfasis particular a la duración de los períodos excesivamente secos, a su verdadera dimensión y a su dependencia, si es que existe, de la ocurrencia de precipitaciones similares o diferentes, simultánea o previamente, en cualquier otra parte. El primer valor del rango decil del total de pluviosidad, dicen los autores, proporciona correspondencias geográficas con la ocurrencia de las principales sequías.

Los estudios de importancia sobre sequías que se hicieron en la Unión Soviética comenzaron a mediados del siglo diecinueve (según Kulik, 1958). - El resultado más resaltante de estos estudios fue el reconocimiento de que el estado de desequilibrio entre la humedad disponible en el suelo y la necesidad de agua de las plantas es un rasgo específico de las sequías; mientras este desequilibrio sea más grande, mayor será la sequía. Los índices agroclimáticos de sequía que se usan en la Unión Soviética proceden principalmente de datos sobre precipitación y evaporación (Apozhnikova, 1958). Los sugeridos por Vysotsky (en 1905), Selyanikov (en 1930), Bova (en 1931) y Popov (en 1948) pueden ser de interés a este respecto.

Según el enfoque del balance de agua, la sequía se describe exactamente como una condición para la cual la cantidad de agua necesaria para la transpiración y la evaporación directa excede a la cantidad que hay disponible en el suelo. Sólo en el caso en que la precipitación sea mayor que la evapotranspiración potencial (Thornthwaite, 1948), había un excedente de agua que constituirá la humedad del suelo del agua subterránea para que los cursos de agua empiecen a correr nuevamente. Cuando el agua de las precipitaciones es menor que las demandas de evapotranspiración, después de haberse consumido por com

pleto toda la humedad disponible en el suelo, surge la deficiencia de agua. Cuando se expresa como relación de la necesidad de agua (evapotranspiración potencial), esta deficiencia pasa a ser un parámetro muy útil - Índice de aridez, la - que se puede usar para estudios comparativos de las sequías en diferentes lugares o en diferentes períodos de tiempo (Subrahmanyam, 1958).

Palmer intentó definir (en 1956) un índice de sequía visto desde el ángulo del balance de agua, siguiendo un procedimiento general de contabilidad algo similar al sugerido por Thornthwaite (en 1948), pero usando un valor de seis pulgadas para el agua almacenada en el suelo. Cuando se lleva a un gráfico, en función del tiempo, la pendiente de la curva obtenida de este índice indica el rigor de la sequía en cualquier instante dado, y permite la comparación de varios períodos de sequía en el mismo lugar. Siguiendo la misma idea, desarrolló ecuaciones empíricas (en 1965) para relacionar sus valores índices mensuales con las experiencias reales, de manera que se les pudiera asignar límites numéricos a cuatro clases de rigor de sequías : suave, moderada, intensa y extrema.

Con el propósito de usar el rendimiento de las cosechas como índices de rigor de la sequía, Barger y Thom obtuvieron (en 1949) correlaciones entre los déficits de las precipitaciones y las desviaciones del rendimiento de los maizales respecto a los valores normales. De ellas se desarrollaron métodos para predecir la probabilidad de la incidencia de deficiencias de lluvias de magnitudes dadas.

Kulik también declara (en 1958) que la característica más confiable del rigor de la sequía en un país agrícola es la reducción del rendimiento de sus cultivos en comparación con los rendimientos medios a largo plazo.

Al usar los rendimientos como índices de intensidad de las cosechas hay que tener cuidado, sin embargo, en tomar también en cuenta el nivel agronómico de la región.

Excepto para las consideraciones puramente meteorológicas de sequedad tanto en agricultura como en hidrología, los efectos de la escasez de humedad están un tanto retardados, dependiendo de las circunstancias particulares del área y de la verdadera actividad afectada. Por lo tanto, por estas razones, no se puede utilizar el rendimiento de los cultivos, los caudales de los cursos de agua, el nivel de los lagos ni patrones parecidos como medición confiable del rigor de una sequía (Palmer, 1967).

Para el estudio de las sequías en las diferentes zonas climáticas de la India, Subrahmanyam y sus colaboradores hicieron uso (en 1964 y 65) del índice de aridez de Thornthwaite en lugar de la pura deficiencia de agua. La marcha anual del índice de aridez a través de todos estos años de registros meteorológicos se representó gráficamente, y se tomó como representativa del rigor de la sequía, en una base anual, la amplitud de la desviación del índice respecto a su valor normal. Utilizando un procedimiento puramente estadístico, se clasificaron los años de sequía en moderados, grandes, intensos y desastrosos, según que la desviación del índice de aridez anual fuese menor de $1/2 \sigma$, entre $1/2 \sigma$ y σ , entre σ y 2σ o mayor de 2σ respectivamente, en donde σ es la desviación típica o estándar del conjunto de datos empleados.

Sección IV

VALORACION DE LAS SEQUIAS

Aparte de las divergencias de opinión sobre las definiciones y los índices, otro aspecto intrigante del problema de las sequías es que el principio de una sequía nunca es reconocible y el final también es dudoso hasta que comienzan las lluvias continuas (Maher, 1966). Por lo tanto, muchos investigadores se han ocupado de valorar las sequías después que se han establecido, como lo confirma la experiencia real de sus efectos.

Considerando la vasta población para la cual la agricultura es su sostén principal y, la dependencia total del monzón para toda la actividad agrícola, no debe sorprender la inquietud por el hambre en la India, causada principalmente por las sequías. Anteriormente muchos meteorólogos, Balnford (en 1868) y Eliot (en 1909), hicieron un estudio sobre la variabilidad de las precipitaciones en la India, con vistas a obtener una idea general sobre las zonas expuestas a sequías. Walker clasificó (en 1919) la falta de lluvias en la India en "grande", "grave" y "desastrosa" según la deficiencia anual fuese de 30 a 45, 45 a 60 o mayor del 60 por ciento de lo normal. La investigación de Ramdas (en 1950) estaba encaminada a buscar respuestas sencillas pero informativas a las demandas de los agricultores, de los funcionarios forestales y de los ingenieros de riego. En las cartas pictóricas que él preparó se evidencia que la incidencia de los períodos de sequedad, es más o menos una característica normal de la mayoría de los años, sin embargo una vez cada 5, 10 ó 20 años, dependiendo del área en cuestión, las sequías se alargan varias semanas causando grandes daños a los cultivos.

Estudios más recientes de Rao y Jagannathan (en 1963), Majumdar (en 1958) y Williams (en 1958) basados en un análisis estadístico riguroso de las precipitaciones en diferentes sectores de la India, no mostraban ningún cambio o tendencia significativa en las lluvias anuales o estacionales. Aunque todavía inconcluso, la obra de Srinivasan y Venkataraman (en 1958) y Ved Prakash (en 1958) ha señalado la persistencia de los períodos de sequía que duran hasta siete meses o más en Bihar, uno de los estudios de las peores exposiciones a las sequías en la India.

En la región de las grandes llanuras de los EE.UU, ocurren anualmente períodos de sequía de 35 o más días consecutivos (Thorntwaite, 1941). - En la parte norte se presentan, menos frecuentemente, sequías que pueden durar hasta 90 días y, en el sector sur de las llanuras, hasta 120 días, siendo el verano la estación en que hay menor riesgo en toda la región.

Naqvi expuso (en 1958) los resultados de un análisis minuciosa de las variaciones pluviales en Karachi para un período de 100 años, desde 1856 hasta 1955, usando para ello el total de deficiencia de la pluviosidad y la duración de las sequías contínuas, siendo de nueve meses el período de sequedad más largo, en este siglo de estudio. Su conclusión principal fue la de que en Pakistan Occidental hay un ciclo cada 50 años de pluviosidad mínima que afecta gravemente la estructura económica del país. Dice ser el descubridor de las fuertes asociaciones que existen entre los ciclos de las manchas solares y la pluviosidad mínima, que se podría usar con propósitos de pronósticos.

Por otra parte, para la región de Africa del Norte, Dubref no halló (en 1963) ninguna tendencia o variación secular de la pluviosidad.

Rosehan, en su estudio de las fluctuaciones climáticas en el medio oriente, obtuvo indicaciones de amplio consenso en las tendencias de pluviosi - dad, así como también de temperatura, entre el sur de europa y los sectores

medios del oriente del continente asiático.

Foley hizo (en 1957) un estudio muy detallado de todas las sequías registradas en Australia desde los primeros años, en función de la duración, de la intensidad y de los efectos sobre la producción primaria. La técnica gráfica de masa residual en serie empleada por él, sacó claramente a la luz el principio y el fin de los períodos de deficiencia de pluviosidad, así como también la verdadera cantidad de deficiencia en cada período de sequía. De los diagramas que preparó en el sitio, se podrían obtener fácilmente el rigor relativo de las diferentes situaciones de sequía. Sin embargo, su análisis no indicaba ninguna tendencia importante en los cambios climáticos en Australia.

Maher presentó recientemente (en 1966) un análisis estadístico muy exhaustivo de los datos de pluviosidad, para la valoración de las sequías en Australia. Tiene la firme opinión de que el comportamiento de una sequía se puede estudiar ventajosamente en el espacio y en el tiempo mediante el uso de registros meteorológicos de pluviosidad de períodos largos. Para determinar el grado de asociación espacial en las lluvias, Maher concertó, con otras estaciones de la región, coeficientes de correlación para cada una, y preparó unos mapas en donde se muestran las isópletas de los coeficientes de correlación. Los modelos representados en los mapas aportan información sobre la extensión y la distribución superficiales de las condiciones de sequía para diferentes grados de sequedad.

Otros parámetros usados por Gibbs y Maher (en 1967) para hacer estudios adicionales sobre las sequías fueron los deciles y el rango de valores decil; esta última, debido a que no depende del valor absoluto de la pluviosidad anual o estacional, permite que se haga una mejor comparación espacial. Además, como se pueden trazar isópletas de mayor significación, sería posible obtener un mejor cuadro de la incidencia de las sequías en diferentes partes del

país de un año para otro.

Al examinar detalladamente los ciclos de pluviosidad se observa cierto rasgo de casualidad, pero los autores dicen que el resultado fue, sin embargo, cierto tipo de persistencia que tendía a disminuir el número de ciclos cortos y a aumentar los largos, reduciendo al mismo tiempo el número mismo de ciclos totales.

A pesar de ciertas deficiencias como lo admiten los mismos autores, los mapas de deciles proporcionan información útil sobre la distribución espacial de las anomalías pluviales. Además, habrían indicaciones sobre la manera en que se propagan las sequías y la cantidad de riesgos implicados en cualquier empresa específica. Sus investigaciones no revelaron tampoco ningún ciclo regular en la ocurrencia de las lluvias y, por lo tanto, el comportamiento de las sequías sigue siendo de carácter bastante impredecible.

Chatfield en Inglaterra expuso recientemente un tratamiento matemático (en 1966) de los datos de pluviosidad para Londres con vistas a entender si el tiempo del día siguiente a uno húmedo o a uno seco depende o no del día anterior. Llegó a la conclusión de que mientras más durase el período (seco o húmedo), sería mayor la probabilidad de que al día siguiente ocurriese lo mismo.

El estudio de Huff y Changnon (en 1963) sobre la climatología de las sequías en Illinois confirmó que el rigor relativo de estas disminuía al aumentar la duración del período seco. Las inspecciones de las distribuciones de tiempo no dió ninguna evidencia de ciclos de sequía. Los modelos obtenidos, al delinear mapas de los valores de frecuencia para intervalos diferentes de recurrencia, demostraron que las regiones de mayor rigor en las sequías eran de forma alargada; la orientación del eje principal del modelo variaba respecto a la duración de las sequías.

Al tratar de las fluctuaciones climáticas en Ucrania, Buchinsky describió (en 1963) los métodos empleados por la Unión Soviética para el estudio de las sequías, usando diferencias entre los valores promedio del total anual de las precipitaciones durante un largo período y de los valores promedio para períodos de diez años. La información sobre la distribución zonal de las anomalías de las precipitaciones se obtuvo de la planimetría de los mapas que muestran el trazado de las diversas fluctuaciones. Su conclusión fue también la de que la recurrencia de las anomalías de las precipitaciones no era tan evidente.

El análisis del mapa de valores del coeficiente pluviométrico hizo posible la determinación de la distribución y la intercomparación de las áreas afectadas por las sequías de magnitudes diferentes. El esquema ad hoc empleado para la calificación de las sequías según su extensión fue el siguiente :

<u>Porcentaje del área del</u> <u>Territorio afectado</u>	<u>Categoría de</u> <u>la sequía</u>
Menos del 10	Local
del 11 al 20	Vasto
del 21 al 30	Más vasto
del 31 al 50	Extraordinario
Más del 50	Catastrófico

Para el estudio de los cambios seculares en el grado de sequía en cualquier punto también se usaron los valores CPT. Aún así, las fluctuaciones obtenidas no tenían carácter cíclico.

Toda la bibliografía precedente sobre las sequías se basaba en el análisis de los puros registros de las precipitaciones, o, como en la obra de

Buchinsky, en una relación arbitraria entre la precipitación y la temperatura. Con respecto al análisis de frecuencia de las sequías los índices basados tanto en las precipitaciones como en la temperatura, como por ejemplo los de Koppen o los de Thornthwaite, definen las condiciones de sequía más precisamente que los que se basan sólo en las precipitaciones (Hoyt, 1949). Excepto para la delimitación geográfica de las zonas climáticas, los criterios de Koppen sobre aridez y semiaridez no parece que hayan sido usados en climatología. Por otra parte, los conceptos y criterios de Thornthwaite hallaron su aplicación práctica no sólo en la clasificación de los climas, sino también en todos aquellos campos en donde el balance hídrico tiene algún papel que cumplir.

Quizás, a causa de la complicada labor de computación que entra en la determinación de los diferentes elementos que constituyen el inventario de aguas, no se ha usado mucho en los estudios de sequía la técnica y los procedimientos del balance hídrico, excepto para problemas locales o breves. Van Bavel hizo uso (en 1953) de estas ideas, junto a consideraciones de tipo biológico, para desarrollar índices de sequía para la planificación agrícola. A este respecto, definió un "día de sequía" como un período de 24 horas en el cual la tensión de la humedad del suelo excede cierto límite que provoca una reducción apreciable en los procesos de producción del cultivo. Su hallazgo, aunque de limitado significado, fue el de que la frecuencia de los días de sequía dependía del modelo de precipitación, de las características de humedad del suelo, de la profundidad a que lleguen las raíces, de la reacción fisiológica de la planta a la tensión de humedad y de la rapidez de la evapotranspiración.

Considerando el número total de días de sequía agrícola para cualquier estación en particular, como la medición del grado de sequedad, Rickard (1957, 1966) clasificó las estaciones en Nueva Zelandia, con fines agrícolas. En todas las estaciones ocurrían sequías agrícolas cuya duración iba de 6 a 107 días; casi el 60 por ciento de las sequías tenían una duración de diez días o más, lo que parecía imponer una vigilancia severa en la producción de pastos y en los cultivos. Sus datos no dieron tampoco ninguna indicación de periodicidad en la incidencia de las sequías.

En la URSS se utilizan los índices de sequía para la evaluación agroclimática de los recursos de una región para las planificaciones de largo alcance en la producción agrícola. La experiencia ha demostrado que los índices basados en los datos estadísticos de años pasados, comúnmente adecuados a intervalos largos en áreas grandes, no son aplicables a períodos inferiores a una década. Esto se debe presumiblemente a las fluctuaciones climáticas de corta duración, cuyas leyes no se han comprendido muy bien hasta ahora (Saposhnikova, 1958).

Sin embargo, Manning declara (en 1960) que aún para intervalos cortos, los promedios no son sino guías pobres de la esperanza de pluviosidad, especialmente en los trópicos. Esto se debe a que en estas regiones se reciben comúnmente las lluvias en forma de tormentas convectivas de alta intensidad. Bajo tales circunstancias, se requieren técnicas especiales para desarrollar índices de efectividad de la pluviosidad para ser usados en la producción de los cultivos.

"El déficit de evaporación" (diferencia entre la evaporación y la evapotranspiración) es otro concepto que se está usando mucho en la URSS para el análisis físico, no sólo de la aridez en general, sino también de las sequías

en particular (Dzerdzeevski, 1958). Simultáneamente con los procesos atmosféricos en gran escala que son responsables del desarrollo de "Complejos áridos", recomienda una investigación exhaustiva de los balances térmicos que determinan la aridez local y, por lo tanto, la producción de sequía.

Subrahmanyam era (en 1958) el único en la India que dijo haber hecho un estudio general sobre la aridez y sobre las sequías según el enfoque del hidrobalance de Thornthwaite. Junto con sus colaboradores (Subrahmanyam y Subramanian, 1964 y 1965) usó el índice de aridez (Thornthwaite, 1948) para estudiar la frecuencia en décadas (número de años de sequía en décadas sucesivas) de las sequías de rigor diferente en cada estación representativa. De su trabajo se concluyó que mientras no había evidencia de sequía a todo lo ancho de la nación, el norte y el sur de la India experimentaron sequías bastante independiente entre sí. En tanto que en la India meridional tuvo sequías intensas durante la primera parte de este siglo, en la septentrional las sequías dignas de ser mencionadas sólo ocurrieron en las últimas décadas de la primera mitad de siglo. Este hallazgo parece particularmente sorprendente, en vista de que la cantidad y la distribución de la pluviosidad en el país como un todo, tiene estrecha relación con la ubicación y la orientación de la zona monzónica de bajas presiones (Malurkar, 1960 ; Parthasarathy, 1960).

Otro aspecto de la climatología de las sequías que investigó el mismo grupo, era la ocurrencia de desplazamientos climáticos que resultaban de las fluctuaciones interanuales en el hidrobalance de diferentes zonas climáticas. Salieron a la luz varias situaciones interesantes, en las cuales el régimen normal de humedad del clima, indicada por el índice de humedad (I_h), pasó de lleno de categorías de más húmedo a más árido de un año para otro. Uno de los resultados de mayor significado del estudio fue el de que tales fluctuaciones

climáticas interanuales son más pronunciadas y más frecuentes en el grupo de climas subhúmedos; en tanto que en las zonas áridas y semiáridas, aunque hay poca variación de un año para otro, los grandes cambios sólo ocurren ocasionalmente. Esto nos lleva naturalmente al alto grado de estabilidad de los climas extremos (el árido y el hiperhúmedo), haciendo imperativo que los hidrobalanceos de los grupos climáticos intermedios - semiáridos, subhúmedo y húmedo - especialmente el segundo de estos, se investigue cabalmente en todos sus diversos aspectos.

Hasta ahora los estudios sobre climatología dinámica no han recibido mucha atención. Namias (en 1966) dijo haber realizado un estudio de cuatro años sobre las fluctuaciones de tipo persistente, incluyendo deficiencias y excesos en las precipitaciones para grandes porciones de los EE.UU. Con la ayuda de las distribuciones estacionales de la frecuencia de las precipitaciones en áreas climatológicamente homogéneas, se describió la naturaleza de estas anomalías. Los patrones anormales observados se explicaron considerando la atmósfera y el océano como un sistema duplex complejo en el que el último hace el papel de depósito de calor. La transferencia de energía térmica desde este almacén afecta las secuencias de los sistemas atmosféricos, lo que a su vez produce patrones característicos en la distribución regional de las precipitaciones.

Este trabajo de Namias es algo similar al estudio que anteriormente realizó Priestley (en 1964) y que correspondía a la región costera de la Nueva Gales del Sur en el continente australiano.

Sería interesante traer a la memoria a este respecto la discusión de Tannehill (en 1947) de la distribución de las precipitaciones en los Estados Unidos por referencia a los sistemas de alta presión del Pacífico y del Atlántico. "Si bien el pacífico controla en gran parte la cantidad de lluvia" - di

ce - "el atlántico controla en cierto grado la distribución de las precipitaciones". Se puede recordar también que hizo una vaga referencia a las fluctuaciones de las temperaturas oceánicas en el contexto de las oscilaciones de vaivén de las precipitaciones entre los sectores norte y sur de los Estados Unidos de América.

Bond presentó (en 1960) un análisis de la sequía de 1951-52 del norte de Australia, haciendo especial referencia a las características generales de circulación de la región. Se halló que las condiciones estacionales en el norte de Australia están estrechamente ligados al balance de flujo de aire meridional, el cual está, a su vez, relacionado con las circulaciones anticiclónicas de las zonas templadas de los hemisferios norte y sur.

A este mismo respecto tiene cierto interés teórico el intento de Troup (en 1965) de obtener una imagen coherente del alcance y modo de la "oscilación meridional" - término utilizado por primera vez por Walker (en 1924) para describir una fluctuación constante de las anomalías de presión constante - tanto en el hemisferio occidental como en el oriental. Las anomalías pluviales y de temperatura asociadas a la oscilación se podrían derivar cualitativamente a partir de estas anomalías de presión. Gibbs y Maher opinaron (en 1967) que la persistencia de tales anomalías pueden conducir a la aparición de períodos secos y húmedos prolongados.

Sección V

PROBLEMAS PARA SER ESTUDIADOS

Refiriéndonos específicamente a lo que se ha visto hasta ahora, parece ría que la tarea más inmediata en los estudios de sequía es la normalización de la definición de sequía. Se puede aclarar la gran confusión ya existente

asignándole definiciones a diferentes tipos de sequías : atmosférica (meteorológica y climatológica); del suelo; agrícola; hidrológica y así sucesivamente.

A este mismo respecto se tendrá que recomendar también una escritura y una pronunciación consistente en inglés, de la palabra "drought" (Palmer, - 1967).

Se han hecho estudios (Subrahmanyam et al., 1964, 1965) que han de mostrado que para la delineación objetiva de las áreas de exposición a las sequías es esencial un conocimiento cabal de los principales tipos climáticos de diferentes regiones. El sistema de clasificación de Thornthwaite (de 1948) con su procedimiento modificado del balance hídrico (Thornthwaite y Maher, 1955) se puede emplear para este propósito, aún a nivel regional. En las zonas y subzonas climáticas particulares así demarcadas, se puede emprender un análisis intensivo de las sequías.

Russell presentó un sólido argumento para la adopción de un procedimiento similar (en 1956) para comprender claramente las fluctuaciones del hidrobalance de un año para otro en diferentes zonas climáticas.

El próximo asunto que espera respuesta urgente, se refiere a un índice apropiado para valorar las sequías. La mayoría de los índices que están actualmente en uso tienen solamente un valor empírico y reflejan la naturaleza ad hoc de los estudios que se persiguen. Como la sequía es consecuencia directa de la escasez de agua, la cual sólo se puede determinar haciendo un estudio comparado de la marcha de las precipitaciones y de la evapotranspiración potencial, dándole el debido reconocimiento al papel catalítico que juega el suelo, parece nuevamente inevitable que las ideas sobre el hidrobalance encuentren lugar en la evolución de los índices de sequía. Este es el meollo del problema, pues los otros aspectos como la incidencia y la propagación, se pueden estudiar adecuadamente siguiendo las bien establecidas técnicas estadísticas (Gibbs y Ma

her, 1967).

Para el estudio analítico de las sequías se deben emplear los parámetros del hidrobalance en vez de las cifras puras de las precipitaciones. La disponibilidad actual de los computadores electrónicos deben facilitar esta tarea, aportando los elementos requeridos a partir de datos básicos como precipitación, temperatura, duración de la insolación, capacidad del suelo en el campo, naturaleza de la cubierta de la tierra, etc.

El concepto del uso combinado de la duración e intensidad en la evaluación de índices de rigor también requiere un reconocimiento apropiado.

Como renuevos de estas consideraciones, los métodos para la determinación de la evapotranspiración y de la humedad del suelo necesitan un examen crítico. Como estos tópicos son muy controversiales, es más deseable, en harras de la uniformidad en las investigaciones sobre sequías, que se establezcan procedimientos normales para su estimación, de manera que los índices computados y los análisis ejecutados puedan tener un significado comparativo.

La representación cartográfica de los índices de sequía y de sus derivados estadísticos es una herramienta muy poderosa para estudiar la distribución y la propagación en superficie de las sequías. Las técnicas climatológicas empleadas por Gibbs y Maher (en 1967), así como también las empleados por Huff y Changnon (en 1963), merecen seria consideración para su aplicación y su uso diferentes regiones del mundo.

El único aspecto del problema de las sequías que es bastante intrigante y que todavía está oscuro es el pronóstico. Esto se debe principalmente a la carencia de periodicidades confiables en la aparición de las sequías, según lo declaran los investigadores de casi todas las partes del mundo. Parece pues - que no existe una manera fácil para afrontar el problema; excepto, quizás mediante un tratamiento sinóptico y dinámico como el empleado por Namias (en

1966). Según él, el problema de la sequía es parte integral del problema más amplio de la circulación general de la atmósfera. Los patrones de circulación asociados a las sequías tienen su origen, presumiblemente, en la persistencia de la recurrencia permanente de los mitigamientos en gran escala. Sus estudios han indicado la necesidad de ocuparse de los intercambios de energía en los sistemas aire-agua-continente como responsables, por lo menos en parte, de las observaciones duraderas de la circulación general y por ende son causales de sequía en algunas de sus ramas.

Desde el punto de vista de la predicción de las sequías, propone diseñar (en 1967) modelos dinámicos de la atmósfera y de los océanos para estudiar la evolución de las circulaciones de flúidos, permitiendo así la reproducción del clima y de los cambios breves y duraderos. Los dos enfoques que sugiere para este tipo de estudio son : (i) modelos "iterativos", comenzando por un estado inicial instantáneo de la atmósfera y generar el estado futuro en pasos breves sucesivos y (ii) la formulación de una climatología media y de sus cambios en base a formas de tiempo promedio de las ecuaciones dinámicas y termodinámicas. Aunque todavía se encuentra en una etapa experimental, Namias cree firmemente que el estudio de modelos tiene tremendas posibilidades en el aspecto predictivo de las investigaciones de las sequías.

Para hacer un estudio sistemático de las sequías en la India que se deben en gran parte al carácter caprichoso de la circulación monzónica, parece que este enfoque es una buena promesa, especialmente con fines predictivos.

Contrario a la falsa creencia popular, las sequías, a diferencia de las inundaciones, no surgen sin previo aviso, generalmente son la culminación de un conjunto de secuencias meteorológicas que requieren largos períodos de tiempo para desarrollarse (Linsley y otros, 1959). En el curso de un año pueden presentarse varias veces precipitaciones pluviales extremas o inundaciones,

en tanto que para que surja una grave situación de sequía pueden ser necesarios largo períodos de lluvias subnormales. Como hasta ahora no ha sido posible estimar las peores condiciones posibles que se podrían originar en un área dada, la única alternativa era la de ocuparse del período de sequedad más severo que se experimentase, y modificarlo mediante un factor arbitrario de seguridad, para su subsiguiente uso en la planificación económica del país. El enfoque dinámico esbozado si se sigue exitosamente, puede lograr la desaparición de gran parte de la incertidumbre que existe en la incidencia de las sequías y, por lo tanto también, de la arbitrariedad en las mediciones de la planificación para combatir las sequías.

Aspecto final : La mayoría de los cambios seculares de los recursos de agua superficial y subterránea responsables de la aparición de las sequías y que se le atribuyen a causas naturales son sólo cuantitativos, pues resultan de las disminuciones de agua pura en las precipitaciones. Los cambios cualitativos también provienen de causas naturales, como en las regiones áridas en donde ocurre una concentración de los sólidos disueltos en el agua debido a las altas tasas de evaporación. Esto nos lleva al concepto de sequías debido a la no disponibilidad de cantidades adecuadas de agua tolerablemente fresca. Los litorales marítimos son ejemplos vivientes de sequías permanentes, desde este punto de vista, a causa de la desfavorable calidad química del agua disponible. Como muchos cambios en la cantidad y en la calidad de las aguas continentales están correlacionadas con el desarrollo de la humanidad y con la utilización de los recursos de agua, hay necesidad de conocer tan exactamente como sea posible la modificación que introduce el hombre en el ciclo hidrológico, de manera que se le pueda usar para su beneficio económico pero no para su perjuicio (Russell, 1956).

REFERENCES

1. Baldwin-Wiseman, W.R., 1941: Quart. J. Roy. Met. Soc., Vol. 67, p. 40.
2. Barger, G.L. and Thom, H.C.S., 1949: A method for characterizing drought in Iowa, Agron. J., 41, pp. 13-19.
3. Bates, C.G., 1935: Climatic characteristics of the Plains region, in "Possibilities of shelterbelt planting in the Plains region" - by M. Silcox, F.A. et al., Washington, D.C.
4. Blair, Thomas A., 1942: Climatology - General and Regional, Prentice Hall, New York, p. 37.
5. Blanford, H., 1868: Rainfall in India, Memoirs of the Ind. Met. Dept.
6. Blumenstock Jr., G., 1942: Drought in the United States analysed by means of the theory of probability, Tech. Bull. N° 819, - U.S. Dept. of Agri., p. 5.
7. Bond, H.G., 1960: The Drought of 1951-52 in Northern Australia, - Proc. of the Symp. on "Monsoons of the world", New Delhi, pp. 215-222.
8. Bova, N. V., 1941: Agrometeorological indices in the south-eastern U.S.S.R., Socialistic grain farming, N° 3.
9. Buchinsky, I.E., 1963: Climatic fluctuations in the arid zona of the Ukraine, Proc. of the Rome Symp. on "Changes in climate". UNESCO Arid Zone Research Series N° XX, pp. 91-95.
10. Chatfield, C., 1966: Wet and dry spells, weather, XXI, 9, pp. 308-10.
11. Cole, H.S., 1933: Droughts in Arkansas, Mon. Wea. Rev.
12. Condra, G.E., 1944: Drought, its effects and measures of control in Nebraska, Nebr. Conserv. Bull. N° 25, Univ. of Nebr. Cons. and Surv. Div., p. 1.

13. Deacon, E.L., Priestly, C.H.B. and Swinbank, W.S., 1958 : Evaporation and water balance, in "Climatology", Rev. of Res., UNESCO Arid Zone Research Series N^o X, pp. 9-34.
14. Dubief, J., 1963 : Contribution to the problem of climatic changes during the period covered by meteorological observations made in north Africa, Proc. of the Rome Symp. on "Changes in Climate", UNESCO Arid Zone Research Series N^o XX, - pp. 75-78.
15. Dzerdzezevski, B.L., 1958 : On some climatological problems and microclimatological studies of arid and semi-arid regions in U.S.S.R., in "Climatology" and Microclimatology", Proc. - Canberra Symp, UNESCO Arid Zone Research Series N^o XI, pp. 315-325.
16. Eliot, John, 1909 : Imperial gazetteer of India, Vol. I, Ch. III, pp. 104-156.
17. Fitzpatrick, E.A., 1953 : Probability analysis of rainfall factors in drought (NSW), Rural Bank of NSW, Australia.
18. Foley, J.C., 1957 : Droughts in Australia, Bull. N^o 43, Bureau of Meteorology, Melbourne.
19. Gausson, H., 1954 : Proc. 8th Congr. Int. Bot., Paris, Sect. 7.
20. Gibs, W.J., and Maher, J.V., 1967 : Rainfall deciles as drought indicators, Bull. N^o 48, Bureau of Meteorology, Melbourne.
20. Henry, Alfred J., 1906 : Drought, in "Climatology of the United States", U.S. Wea. Rev. Bull. Q (WB N^o 361), pp. 51-58.
21. Homes, R.M., 1962 : Soil moisture calculations, in Proc. of the Symp. on "Water balance of the soil, and forest meteorology" (Ed.) A. Thomson, Dept. of Transport (Met. Branch), Toronto, pp. 65-79.
22. Hoyt, J.C., 1936 : Droughts of 1930-34, U.S. Geolog. Surv. Water - Supply paper N^o 680, pp. 106.
23. Hoyt, William G., 1949 : Droughts, in "Hydrology", (Ed) O. E. - Meinzer, Dover Publications, New York, pp. 579-591.
24. Huff, F.A. and Changnon Jr., S.A., 1963 : Drought climatology of Illinois, Bull. N^o 50, State of Illinois Dept. of Regis. and Educat., Urbana.
25. Hurlbut, L.W., 1957 : Plan ahead for droughts, Nebraska Expt. Sta - tion Quarterly, 4 (4), pp. 14-15.

26. Huschke, R.E. (Ed.), 1959 : Glossary of American Meteorology, Amer. Met. Soc., Boston, Mass.
27. Jameson, H., 1932 : Liability to drought at Colombo, Quart. J. Roy. Met. Soc., Vol. 58, pp. 50-56.
28. Knochenhauer, W., 1937 : Wiss. Abh. Reichsamt Wetterd., Vol. 3, - N° 9, pp. 23.
29. Koppen, W., 1900 : Versuche einer klassifikation der klimate, Geogr. Zeitschr., Band 6, pp. 593-611, 657-679.
30. Kulik, M.S., 1958 : Agroclimatic indices of droughts, in "Agrometeorological problems" (Ed.) F.F. Davitaya and M.S. Kulik, Met. Transl. N° 7, Dept. of Transport (Met. Br.), Toronto, 1962, - pp. 71-74.
31. Linsley, Jr. R.K., Kohler, M.A. and Paulhus, J.L.H., 1959 : Applied Hydrology, McGraw-Hill, New York, p. 581.
32. Maher, J.V., 1966 : Drought assessment by statistical analysis of rain - fall, W.M.O. Regional Seminar on "Agrometeorology", Melbourne.
33. Majumdar, K.C., 1958 : A statistical study of succession of droughts and floods, Proc. Symp. on "Meteorological and hydrological aspects of floods and droughts in India", New Delhi, pp. 71-76.
34. Malurkar, S.L., 1960 : Monsoons of the world - Indian monsoons, Proc. Symp. on "Monsoons of the world", New Delhi, pp. 92-99.
35. Manning, H.L., 1960 : Cotton crop potential and rainfall expectarion in Uganda, Proc. Symp. on "Tropical Meteorology in Africa", Nairobi, pp. 402-414.
36. Namias, Jerome, 1966 : Nature and possible causes of the North-eastern United States drought during 1962-65, Mon. Wea. Rev., Vol. 94, N° 9, pp. 543-554.
37. Namias, Jerome, 1967 : Personal communication to Dr. A. Forsman, - Chief, Hydrometeorological Service of the WMO.
38. Naqvi, S.N., 1958 : Periodic variations in water balance in an arid region - a preliminary study of 100 years' rainfall at Karachi in - "Climatology and Microclimatology", Proc. Canberra Symp., - UNESCO Arid Zone Research Series N° XI, pp. 326-345.
39. Palmer, Wayne C., 1965 : Drought in western Kansas, Weekly Weather and Crop Bulletin N° 43, pp. 7-8.
40. Palmer, Wayne C., 1965 : Meteorological drought, Weather Bureau Res. Paper N° 45, U.S. Dept. of Commerce, Washington, D.C.

41. Palmer, Wayne C., 1967 : The drought problem, U.S. Govt. Memo -
randum dated Feb. 2, 1967, from Lab. for Environmental Data
Research, U.S. Dept. of Commerce.
42. Parks, W.L. and Knetsch, J.L., 1959 : Corn yields as influenced by
nitrogen level and drought intensity, *Agron. Jour.*, 51, pp.
363-364.
43. Parthasarathy, K., 1960 : Some aspects of the rainfall in India during
the south-west monsoon season, *Proc. Symp. on "Monsoons of
the world"*, New Delhi, pp. 185-194.
44. Penman, H.L., 1945 : The dependence of transpiration on weather and
soil conditions, *Soil Sci.*, 1, 74-89.
45. Popov, V.P., 1948 : Moisture balance in the soil and the dryness indi-
ces of climate in the Ukranain S.S.R., *Sci. Rep. of the Sta-
te Univ. of Kiev*, Vol. 7, N° 1.
46. Priestly, C.H.B., 1964 : Rainfall-Sea surface temperature associatons -
on the New South Wales coast, *Australian Met. Mag.*, N° 47.
pp. 15-25.
47. Ramdas, L.A., 1950 : Rainfall and agriculture, *Ind. J. Met. and Geo-
phys.*, Vol. 1, N° 4, pp. 262-274.
48. Rao, K.N. and Jagannathan, P., 1963 : Climatic changes in India -
II : Rainfall, *Proc. Rome Symp. on "Changes in Climate"*,
UNESCO Arid Zone Research Series N° XX, pp. 53-66.
49. Rickard, D.S., 1957 : A comparison between measured and calculated
soil moisture deficit, *New Zealand Jour. Sci. Tech.*, A 58,
pp. 1081-90.
50. Rickard, D.S., 1966 : The ocurrence of agricultural drought at Ashbur-
ton, New Zealand, *New Zealand Jour. Agri. Res.*, Vol. 3,
N° 3, pp. 431-441.
51. Rosenan, N., 1963 : Climatic fluctuations in the middleeast during the
period of instrumental record, *Proc. Rome Symp. on "Changes
in climate"*, *UNESCO Arid Zone Research Series N° XX*, pp.
67-73.
52. Russell, Richard J., 1956 : Environmental changes through forces inde-
pendent of man, in *"Man's role in changing the face of the -
earth"*, (Ed.) William L. Thomas, Jr., *The Univ. of Chicago
Pr.*, pp. 453-470.
53. Sapozhnikova, S.A., 1958 : Agroclimatic indices, in *"Agrometeorologi-
cal Problems"* (Eds.) F.F. Davitata and M. S. Kulik, *Met. -
Transl. N° 7*, Dept. of Transport (Met. Br.), Toronto, 1962,
pp. 71-74.

54. Selyanikov, G.T., 1930 : Methods of Agricultural Climatology, in "Agricultural Meteorology", N° 22, L. 1930.
55. Shantz, H.L., 1927 : Drought resistance and soil moisture, Ecol., Vol. 8, pp. 145-157.
56. Srinivasan, T.R. and Venkataraman, R., 1958 : Frequency of spells of abnormal and subnormal rains in Bihar, Proc. Symp. on "Met. and Hydrol. aspects of floods and droughts in India", New Delhi, pp. 157-159.
57. Strachey, R., 1877 : Physical causes of Indian famines, Famine Commission Rep. (India), 1880, pp. 1-7.
58. Subrahmanyam, V.P., 1958 : Droughts and aridity in India - a climatic study, Proc. Symp. on "Met. and hydrol. aspects of floods and droughts in India", New Delhi, pp. 171-177.
59. Subrahmanyam, V.P. and Subramaniam, A.R., 1964 : Application of water balance concepts for a climatic study of droughts in south India, Ind. Jour. Met. and Geophys., Vol. 15, N° 3, pp. 349-402.
60. Subrahmanyam, V.P. and Subramaniam, A.R., 1965 : Some characteristics and frequencies of occurrence of droughts in the dry climatic zones India, Bull. I.A.S.H., X^e Année, N° 3, pp. 31-37.
61. Tannehill, I.R., 1947 : Drought - its causes and effects, Princeton Univ. Pr., N.J.
62. Tennessee Valley Authority, 1944 : Precipitation in the Tennessee River basin, T.V.A. Hydraulic Data Div.
63. The British Rainfall Organization, 1936 : British Rainfall, Air Ministry Met. Office, London.
64. Thornthwaite, C.W., 1941 : Climate and settlement in the Great Plains, - in "Climate and Man", Year-book of Agriculture, U.S. Dept. of Agri., Washington, D.C., pp. 177-187.
65. Thornthwaite, C.W., 1947 : Climate and moisture conservation, Annls. Assoc. Amer. Geogr., Vol. 37, N° 2, pp. 87-100.
66. Thornthwaite, C.W., 1948 : An approach toward a rational classification of climate, Geogr. Rev., Vol. 38, N° 1, pp. 55-94.
67. Thornthwaite, C.W. and Mather, J.R., 1955-a : The Water Balance, Publ. in Clim., Drexel Inst. Tech., Vol. 8, N° 1.
68. Thornthwaite, C.W., 1955-b : Water budget and its use in irrigation, in "Water", Year-book of Agriculture, U.S. Dept. of Agri., Washington D.C., pp. 346-358.

69. Tixeront, J., 1956 : Water resources in arid regions; in "Future of arid lands" (Ed.) G.F. White, Publ. N° 43, Amer. Assoc. for Adv. Sci., Washington D.C., pp. 85-113.
70. Troup, A.J., 1965 : The Southern Oscillation, Quart. Jour. Roy. Met. Soc., Vol. 91, N° 390, pp. 490-506.
71. Trumble, H.C., 1948 : Trans. Roy. Soc. (S.A.), Dept. of Agri. (S.A.), Vol. LXI, N° 18, pp. 41-60.
72. Van Bavel, C. H. M., 1953 : A drought criterion and its application in evaluating drought incidence and hazard, Agron. J., Vol. 45, N° 4, pp. 167-172.
73. Van Bavel, C. H. M. and Verlinden, F.J., 1956 : Agricultural drought in North Carolina, N.C. Agri. Expt. Sta. Tech. Bull. N° 122.
74. Ved Prakash, 1958 : Dry days in north Bihar during June to September, - Proc. Symp. on "Met. and hydrol. aspects of floods and droughts in India", New Delhi, pp. 160-163.
75. Veihmeyer, F.J. and Hendrickson, A. H., 1955 : Does transpiration decrease as the soil moisture decreases ? Trans. Amer. Geophys. - Union, 36, pp. 425-428.
76. Vysotsky, G.N., 1905 : Steppes in the European U.S.S.R., in "Encyclopaedia of Russian Agriculture" (Ed.) A. Devriena.
77. Walker, G. T., 1914 : Memoirs of the Ind. Met. Dept., Vol. XXI, Pt. V.
78. Walker, G. T., 1924 : World weather - II, Memoirs of the Ind. Met. - Dept., N° 24, p. 275.
79. White, R. C. L., 1955 : Drought and effective rainfall frequency in pastoral New South Wales, Met. Study. N° 5, Bureau of Meteorology, Melbourne.
80. Williams, S. D., 1958 : Frequency of floods and droughts in India, Proc. Symp. on "Met. and hydrol. aspects of floods and droughts in India", New Delhi, pp. 154-156.

