

SEQUÍA EN CENTROAMÉRICA: IMPLEMENTACIÓN METODOLÓGICA ESPACIAL PARA LA CUANTIFICACIÓN DE SEQUÍAS EN EL GOLFO DE FONSECA

Christian Birkel*
tuberide@web.de

Fecha de recepción: 16 de agosto 05 / Fecha de aceptación: 18 de noviembre 05

Resumen

Estamos en la actualidad enfrentando un cambio climático causado por el calentamiento global, cuyos impactos sobre el ciclo hidrológico fortalecen los efectos ocasionados por el fenómeno de El Niño, que influye en la oscilación del clima centroamericano y causa condiciones extremas como sequías severas, aunque hay indicaciones de que la frecuencia de los eventos de precipitaciones intensas aumentaría, y se alargaría la duración de períodos secos por el calentamiento global.

En el estudio se evalúan los modelos que permiten calificar y cuantificar los períodos de sequía en América Central.

Palabras claves: Clima, América Central, Sequía, fenómeno del Niño, Modelos meteorológicos

Summary

In the last years we are facing a climate change (IPCC, 2001) caused by the global warming, which impacts on the hydrological cycle fortify occurring effects of the El Niño phenomenon. This global atmospheric circulation influences the oscillation of Central American climate causing extreme conditions such as severe droughts. Intensive precipitation events, however indicate an increase in their frequency and due to the global warming the duration of dry periods experiences a prolongation. This study evaluates models to qualify and quantify periods of meteorological drought in Central America.

Key words: Climate, Central America, meteorological drought, El Niño phenomenon, meteorological models.

Introducción

América Central se caracteriza por presentar un clima regional húmedo al concentrarse en un istmo, y por la gran influencia de las masas

oceánicas del mar Caribe y del océano Pacífico. Sin embargo, existen factores locales como el elevado sistema montañoso, que crea un contraste climático en sus vertientes y origina una fachada del Caribe muy húmeda y propensa a eventos de inundaciones y una del Pacífico con un clima contrastado, donde sobresale una larga estación seca que provoca una intensiva sequía en la región más poblada de Centroamérica.

Como región geográfica, América Central se ve afectada por sequías, principalmente en

* Universidad de Hamburgo. Instituto Hidrológico de la Universidad de Friburgo (IHF), Alemania. Comité Regional de Recursos Hídricos (CRRH), Costa Rica.

la vertiente del Pacífico del istmo. La sequía, como fenómeno meteorológico, consiste en una disminución significativa de la lluvia que afecta a las actividades agrícolas y a los ecosistemas naturales, y por lo tanto, el fenómeno no solo debe considerar aspectos meteorológicos, sino también comprender factores de tipo económico, poblacional y cultural.

Se pretende en este estudio evaluar y cuantificar los períodos extremadamente secos en América Central; para ello se escogió la región del golfo Fonseca que comprende parte de Honduras, Nicaragua y El Salvador, y en ella se aplican modelos matemáticos y climatológicos, los cuales se relacionan con variables socio-económicas como la pobreza, el uso de la tierra y la densidad de población para establecer el grado de vulnerabilidad de las comunidades humanas. La relación con las variables socio-económicas es muy importante porque refleja el grado de vulnerabilidad de las poblaciones.

Se eligió la región del golfo de Fonseca debido a su permanente estado de pobreza, su total dependencia de la agricultura, su alta densidad de población y la fuerte exposición al fenómeno de la sequía.

La aplicación de modelos climatológicos a la región del golfo de Fonseca permite implementar dichos métodos en un sistema de alerta temprana (SAT), de tal manera que se pueden monitorear permanentemente los fenómenos de sequía y de variabilidad climática en general, lo que permite emitir oportunamente avisos de recomendaciones de alerta, sugerir medidas de prevención y facilitar a los organismos políticos la toma de decisiones.

El sistema de alerta temprana aplicado a la región del golfo de Fonseca podría ser ampliado y aplicado al resto de la vertiente del Pacífico de América Central, y constituirse en una herramienta para ayudar a reducir la vulnerabilidad socioeconómica de Centroamérica, ante el impacto causado por el fenómeno de la sequía.

Metodología

El propósito de este trabajo no es crear una definición de la sequía, sino establecer métodos

para caracterizar el fenómeno de la sequía en Centroamérica según las características físicas y socio-económicas del istmo. Por eso, el primer paso consistió en la recolección de datos de población, pobreza, uso de la tierra, nutrición, inseguridad, disponibilidad del agua, economía y del clima, elementos que se consideraron apropiados para la tipificación de la sequía en la región.

En América Central los datos meteorológicos y socioeconómicos han sido recolectados por agencias, organizaciones y equipos de investigaciones avocados al estudio de la sequía en la región.

El segundo paso consistió en crear una base de datos unificada que fuera útil para la realización de futuros trabajos que se avoquen al estudio de la manifestación de la sequía en diversos espacios regionales. Con esta base de datos se escogió la región del golfo de Fonseca que es la más afectada por la sequía en la región, con el propósito de reconstruir su historial de sequía, su calificación y su cuantificación.

El tercer y último paso consistió en elaborar una propuesta para la creación de un Sistema de Alerta Temprana y un plan de acción frente a la sequía.

La disponibilidad de datos climáticos, sociales y económicos fue el principal limitante para realizar este estudio a nivel del Istmo Centroamericano. Sin embargo, se logró avanzar en la consecución de los objetivos propuestos gracias al apoyo del Comité Regional de Recursos Hídricos (CRRH) y a la colaboración de los Institutos Meteorológicos de cada uno de los países de Centroamérica.

La recolección de datos para la implementación metodológica espacial se inició con el trabajo realizado por la Escuela de Geografía de la Universidad de Costa Rica, donde el profesor Rafael Arce Mesén desarrolló mapas digitales de todo Centroamérica en resolución fina con capas adicionales de cuencas hidrológicas, población y niveles altitudinales. De esta manera se garantizó la disponibilidad de datos con herramientas modernas como los Sistemas de Información Geográficos (SIG).

Para conocer la división político-administrativa a nivel de los municipios, departamentos

y fronteras se recurrió al estudio del “Atlas de Centroamérica” elaborado por el Banco Mundial (2001), lo que nos permitió contar con información en formato digital de los departamentos o provincias. En total se contó con datos de 1300 municipios en todos los países de Centroamérica.

La situación de pobreza representa una variable de gran importancia porque aumenta el estado de vulnerabilidad; en nuestro estudio

tomaremos los datos y el análisis de las líneas de pobreza de Sauma (2003).

Para la estimación de la “línea de pobreza” extrema se define una canasta básica de alimentos (CBA) que satisface en teoría las necesidades básicas de alimentación de la población, a la cual se le agregan los costos de alquiler de casa. El cuadro siguiente muestra las necesidades que sirvieron de base para el cálculo de la pobreza (cuadro 1).

Cuadro 1

Centroamérica: Índice de pobreza humana (IHP) según país. 2000

País	Valor IHP	Probabilidad al nacer de no sobrevivir hasta los 40 años de edad (% de la cohorte) 1995-2000	Tasa de analfabetismo adulto (% de 15 años de edad y mayores) 2000	Población sin acceso a fuentes de agua mejoradas (%) 2000	Niños menores de 5 años con peso insuficiente (%) 1995-2000	Posición*
Centroamérica**	18.3	12.4	23.3	13	18	
Costa Rica	4.0	4.0	4.4	2	5	2
El Salvador	18.1	10.9	21.3	26	12	32
Guatemala	23.5	15.6	31.4	8	24	40
Honduras	20.5	16.0	25.4	10	25	36
Nicaragua	24.4	11.5	33.5	21	12	41
Panamá	8.4	6.4	8.1	13	7	8
Golfo de Fonseca**	21.0	12.4	26.7	19.0	16.3	

*Entre 88 países en desarrollo con información disponible.

** Estimación del autor a partir de datos de CELADE, 2000.

Fuente: Sauma (2003) Índice de Pobreza Humana según país.

Los datos y cálculos de la pobreza (Sauma, 2003) se lograron integrar en un Sistema de Información Geográfico (SIG) para identificar a los municipios más pobres a los cuales se les incorporó los datos de lluvias y se obtuvieron las áreas de mayores sequías y su tiempo de duración, lo cual es fundamental para la toma de decisiones.

La región del golfo de Fonseca depende económicamente de la agricultura, con predominio de la agricultura de exportación en la gran propiedad, aunque es importante también la agricultura de subsistencia de pequeña propiedad. Estos dos tipos de agricultura están expuestos a las variaciones en las condiciones del clima, en

especial a la presencia de amplios períodos de sequía.

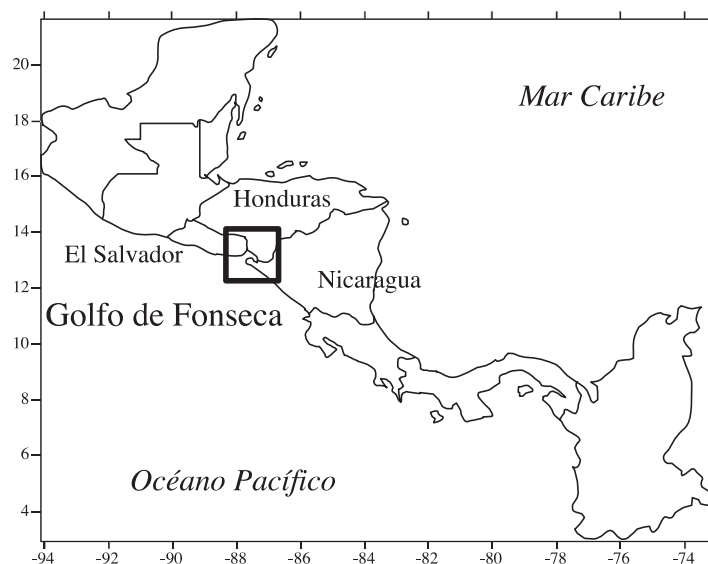
Los datos climáticos en América Central son muy irregulares en el tiempo y desigualmente distribuidos en el espacio. Existen registros de 492 estaciones climáticas para todo Centroamérica con una variabilidad en los registros de 2 años hasta 100 años. El primer paso fue verificar la ubicación de dichas estaciones mediante la implementación de las respectivas coordenadas en un mapa digital; sin embargo, se

detectó que existían errores en la ubicación de algunas de ellas. Los países en los cuales aparecen estos errores han sido informados para que revisen sus datos.

Después de un análisis estadístico se seleccionaron las estaciones que presentaban un mínimo de 30 años de registro, lo que redujo el número de estaciones útiles para el estudio a 125, tal como lo demuestra el mapa siguiente (Fig. 1).

Fig. 1

Estaciones climáticas con registro de 30 años



Para la definición y ubicación de las zonas secas centroamericanas se tomaron como base los datos de precipitación de todas las estaciones climáticas de Centroamérica. El cálculo de la precipitación promedio anual permitió confirmar y redefinir el “corredor seco” centroamericano y establecer una relación entre los municipios afectados por la sequía y la pobreza extrema.

Para la región del golfo de Fonseca se retuvieron 5 estaciones meteorológicas a las cuales se aplicó: el índice de sequía “SPI” (Standardized Precipitation Index) y el índice de “Palmer”, los cuales permiten una reconstrucción de eventos secos, determinar la situación actual y elaborar pronósticos de la posible extensión de la sequía.

Para la comparación gráfica de los índices fue necesario unificar ambas escalas, lo que permitió reconstruir eventos de sequías en el período histórico de registro de las estaciones climáticas retenidas para el análisis; casos específicos que se pudieron determinar fueron los períodos de sequía producidos por el fenómeno El Niño en los años 1976 y 1977.

Clima y sequía en América Central

El Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) realizó un estudio de la situación climática de América Central con datos

mensuales de lluvia y se obtuvo un mapa de riesgos de sequía y de inundaciones (CIAT, 2000). En este mapa se puede observar que las regiones propensas a la sequía se localizan en el Pacífico de América Central, mientras que las regiones de inundación coinciden con las tierras bajas del Caribe con abundantes lluvias.

Para el estudio de la distribución de la lluvia en América Central se consultaron 125 estaciones meteorológicas las cuales se distribuían heterogéneamente en el espacio centroamericano; no obstante, existían espacios que no tenían representación, por lo que fue necesario realizar la interpolación de datos.

La interpolación de los datos presentó algunas limitaciones y errores. Por un lado, la Península de Azuero en Panamá se muestra más húmeda de lo que es, mientras que el Valle Central de Costa Rica aparece excesivamente seco, lo cual no refleja así la realidad de estas dos regiones climatológicas.

Esta irregularidad podría deberse al escaso número de estaciones disponibles en estas regiones, hecho que aumenta la incertidumbre de

la interpolación. A modo de ejemplo se observa como la menor presencia de estaciones en Panamá con respecto a Costa Rica causa distorsiones en los resultados.

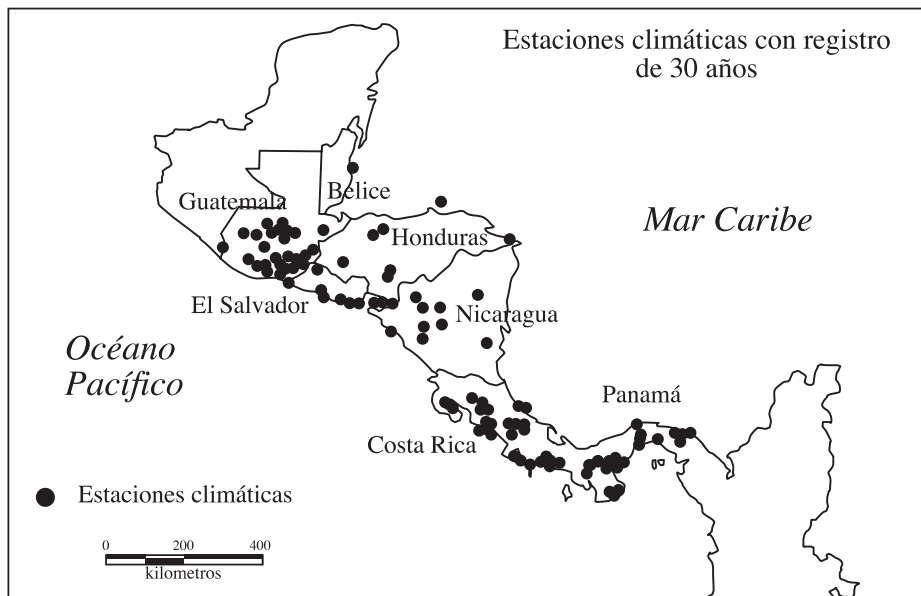
Los datos de distribución de lluvia del Comité Regional de Recursos Hídricos (CRRH) confirman lo que se representa en el mapa de riesgo de sequía (CIAT, 2000), ya que ambos estudios coinciden en la existencia de un corredor o arco seco que domina en el lado del Pacífico de Centro América.

En lado del Pacífico de América Central las sequías presentan una duración entre los 3 y 6 meses, aunque hay regiones como Escuintla, El Progreso y Chiquimula en Guatemala; los alrededores de Tegucigalpa en Honduras; la meseta de Matagalpa de Nicaragua, algunos sectores de la provincia de Guanacaste en Costa Rica y la península de Azuero en Panamá donde el riesgo de sequía es superior a 6 meses.

La figura 2 es el resultado de la superposición de tres mapas: el de municipios, el de índice de pobreza y el de déficit extremo de agua o sequías.

Fig. 2

Mapa de los municipios con alta pobreza afectados por sequía



El análisis de la pobreza y la distribución de la sequía permitió determinar las regiones más secas y propensas a eventos de sequía en América Central y una de las situaciones más críticas se da en el golfo de Fonseca, que presenta grandes oscilaciones climatológicas, un uso de la tierra agrícola y elevados índices de pobreza; por estas razones se aplicaron los modelos climatológicos para estudiar las sequías en la región del golfo de Fonseca.

Aplicación de los modelos de sequía meteorológica a América Central

El índice del Centro Climatológico de Colorado (SPI): El programa para calcular el SPI, Índice del Centro Climatológico de Colorado, requiere un registro de por lo menos 30 años. Es recomendable un registro más largo para garantizar un cálculo estadístico confiable. Además, hay que preparar los datos según lo requiere el programa, en espacios y formato ASCII.

En nuestro caso tenemos seis estaciones climáticas con un registro de lluvia anual de 30 años:

- I. Chinandega, Nicaragua
- II. El Papalon, El Salvador
- III. Tegucigalpa, Honduras
- IV. Catacamas, Honduras
- V. Ingenio, El Salvador
- VI. Jinotega, Nicaragua

El programa está escrito en C++, que es un lenguaje de programación basado en Fortran, el cual realiza un cálculo estadístico de una distribución matemática de los datos de la precipitación. Para revisar el proceso en detalle se puede consultar la página Web del Centro Climático de Colorado. La siguiente descripción solamente explica la metodología básica para comprender el cálculo.

McKee (1993) desarrolló el "Standardized Precipitation Index (SPI)" para definir y observar

la sequía. El Centro Climático de Colorado utiliza el "SPI" para observar condiciones de sequía normal en los Estados Unidos. Este índice permite al investigador determinar anomalías de una sequía y anomalías de un evento muy húmedo independientemente de la localidad y escala de tiempo. Thom (1966) aplicó la distribución gamma que define por medio de la frecuencia y densidad la probabilidad de ajustar series de precipitación.

El cálculo del "SPI" involucra el ajuste de una función de densidad gamma en la distribución de frecuencia de los valores de la precipitación de una estación climática. Los parámetros Alfa y Beta están estimados para cada estación, escala de tiempo (1 mes, 3 meses, 6 meses o 12 meses), y cada uno de los meses del registro. Thom (1966) optimiza la estimación de Alfa y Beta con el método "Maximun Likelihood".

Posteriormente, la probabilidad acumulativa $H(x)$ se transforma en la distribución estándar normal con promedio de cero y desviación de uno, la que es el valor del "SPI".

El "SPI" se obtuvo a partir de un tiempo de registro de 30 años y puede obtenerse para cualquier período de tiempo dentro esos 30 años. Este índice no presenta más que una probabilidad acumulativa con relación al período base de 30 años para el cual se estiman los parámetros Gamma de Alfa y Beta.

SPI con +1:	condiciones de humedad extrema.
SPI de 0 a +1:	condiciones normales de humedad.
SPI de 0 a -1:	condiciones de inicio de sequía.
SPI de 1 a -3:	condiciones de sequía extrema.

El programa ofrece períodos definidos fijos de uno, tres, seis, doce, veinticuatro y treinta y seis meses para realizar interpretaciones de maneras distintas. Por ejemplo, el período de tres meses compara estos meses con todo el registro de los treinta años para extraer anomalías, por lo tanto, se pueden detectar períodos secos o húmedos, es decir, de exceso o de déficit hídrico; un ejemplo se ofrece a continuación (Cuadro 2).

Cuadro 2

Índice de SPI calculado para períodos de 1-3-6 y 12 meses para la Estación de Tegucigalpa, Honduras

Año	Mes	1	3	6	12
1960	1	0.37	-99.00	-99.00	-99.00
1960	2	1.02	-99.00	-99.00	-99.00
1960	3	-0.14	0.14	-99.00	-99.00
1960	4	0.38	0.27	-99.00	-99.00
1960	5	-0.14	-0.25	-99.00	-99.00
1960	6	0.94	0.67	0.63	-99.00
1960	7	0.51	0.73	0.67	-99.00
1960	8	1.11	1.21	0.89	-99.00
1960	9	0.17	0.62	0.78	-99.00
1960	10	-0.35	0.31	0.57	-99.00
1960	11	0.92	0.09	0.83	-99.00
1960	12	0.25	0.10	0.51	0.66

Para el ejemplo del cuadro 2 en la estación de Tegucigalpa, se escogió el año de 1960 y se aplicó a períodos de 1-3-6 y 12 meses con respecto a los treinta años de registro. Es recomendable tomar más de 12 meses para reconstruir hídricamente la presencia de sequías; si se toman menos de 12 meses es aceptable para brindar pronósticos.

Con los resultados obtenidos del período definido se puede observar la historia de los períodos de sequía de una estación; a medida que el período retenido es mayor de 12 meses, aumenta la confianza en la determinación de la estación de déficit de agua.

Es importante observar la distribución espacial del SPI para proponer acciones en el caso de la sequía y minimizar sus efectos económicos en la agricultura y el abastecimiento de agua; de ahí la importancia de crear mapas que permitan la toma de decisiones en caso de emergencias.

Para reconstruir la presencia e intensidad de los eventos secos se deben seguir los siguientes pasos:

1. De los resultados mensuales para cada estación hay que seleccionar el valor promedio del SPI para un período seco definido; en el caso de América Central son los meses de diciembre, enero, febrero y marzo, que representan el período de sequía en el sector del Pacífico del Istmo.
2. Seleccionar los años de presencia de sequía; en este caso se analizaron los años de 1972, 1973, 1974 y 1976-1977.
3. Realizar las interpolaciones con el método de Kriging en "Surfer".
4. Elaborar el mapa de períodos de sequía o déficit de agua en América Central.

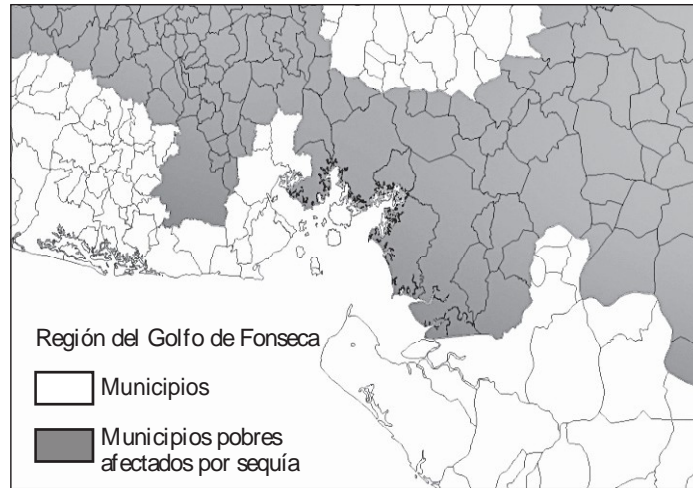
El mapa de la figura 3 muestra la estación seca del período 1976-1977, que es el período más árido de todo el registro por la influencia del evento El Niño, y se realizó a partir de los datos de las estaciones de Chinandega, Choluteca,

Tegucigalpa, Catacamas, Ingenio y Jinotega, las cuales se localizan en los alrededores y cercanías

del golfo de Fonseca, y a partir de ellos se interpretaron los datos de déficit del agua.

Fig. 3

Interpolación del SPI de la estación seca de los años 1976/77

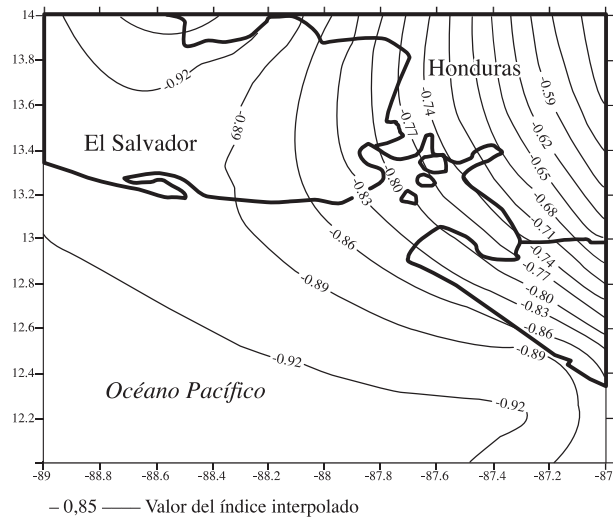


Es posible notar que un valor de $-0,92$ de la escala hasta -3 o más no parece ser tan seco, como se hubiera esperado ante un evento tan grave como el del año 1976 y 1977 afectado por El Niño; esto se puede explicar por el hecho de que

la interpolación tomó los valores promedios de cuatro meses y no el total de registro de 30 años. Por el contrario, si se tomara el valor de un año con respecto al registro de 30 años, sí resaltaría la grave anomalía, como se observa en la figura 4.

Fig. 4

Interpolación del SPI de la estación seca de los años 1971/72



Este mapa de un período históricamente entendido como seco muestra solamente un ejemplo para explicar herramientas gráficas de interpolación. La creación de mapas actualizados mensuales para determinar la situación actual funciona exactamente de la misma manera en que se mostró anteriormente.

Índice de Palmer

El "índice Palmer" se obtiene de forma más compleja porque hay que considerar también datos de temperatura y tipos de suelo. Este método contiene un balance hídrico y más oportunidades para tomar decisiones, tales como pronósticos; para su aplicación es necesario contar con un registro mayor de 25 años.

Ravelo (1990) elaboró un manual para la obtención y aplicación del índice de Palmer (1965) que se basa en un balance hídrico para períodos largos de registro. El modelo de balance hídrico de Palmer utilizado considera dos capas a nivel de suelos: la primera capa tiene un espesor de 25 mm (1 pulgada) de agua, aprovechable para la vegetación. La segunda capa o inferior (Su) contiene una determinada cantidad de agua útil en función de la profundidad y las características propias del suelo (AWC), pero poco aprovechada por la zona de raíces de la vegetación. La cantidad de agua y la profundidad en la segunda capa deben definirse por medio de trabajo de terreno.

La pérdida de agua por el suelo depende de la evapotranspiración potencial (PE). El método define una serie de variables que asumen valores potenciales. Ellas son:

Recarga potencial (RP): $AWC - S'$

Perdida potencial (PL): $PLs + Plu$

Escorrentamiento potencial (PRO): $AWC - PR S'$

Determinación de los coeficientes:

Coef. de evapotranspiración (a) =
(ET) Evapotranspiración real / PE

Coef. de recarga (B) = R / PR

Coef. de escurrimiento (G) = RO / PRO

Coef. de pérdidas (d) = $(L) \text{ pérdida real} / PL$

Factor climático (K):

Una primera aproximación del valor del valor de K para cada localidad esta dado por la relación:

$K = (PE + R) / (P + L)$
Relación demanda / oferta de agua

Índice de anomalía hídrica:

$Z = d k$

Índice de sequía:

$X_i = S Z_i / (0,3 t + 2,69)$

Se define el comienzo del período de sequía cuando X desciende al valor de -1 y la sequía finaliza cuando X supera el nivel de -0,5.

Definiciones de distintos valores del PDSI (X):

>4.0	Extremadamente húmedo
3.0 a 3.9	Muy húmedo
2.0 a 2.9	Moderadamente húmedo
1.0 a 1.9	Ligeramente húmedo
0.5 a 0.9	Húmedo incipiente
-0.4 a 0.4	Normal
-0.5 a -0.9	Sequía incipiente
-1.0 a -1.9	Sequía reducida
-2.0 a -2.9	Sequía moderada
-3.0 a -3.9	Sequía severa
<-4.0	Sequía extrema

El índice de sequía de Palmer puede aplicarse para determinar las relaciones entre sequías y caudales de los ríos, evaluar el estado de los pastos y cultivos, para generar con detalle los pronósticos de los índices de sequedad y para establecer ciclos de sequías.

La pérdida de húmeda del suelo describe la diferencia entre precipitación acumulada y la demanda para mantener condiciones normales de la húmeda del suelo.

Los coeficientes del balance hídrico están calculados con respecto a valores promedio de escala larga, es decir, mas de 30 años, los cuales se combinan con los valores potenciales, es decir, los que deberían de existir para determinar la demanda de precipitación necesaria para mantener condiciones normales de la húmeda del suelo. En realidad el procedimiento consiste en tomar los valores potenciales y compararlos con los valores reales registrados en la estación meteorológica y poder así determinar las condiciones

que provocarían situaciones de exceso o déficit de agua.(Cuadro 3)

El resultado “bigtable”, término usado por Palmer, se puede utilizar como herramienta para pronósticos; el valor Z significa la anomalía de la húmeda en el suelo. El porcentaje de probabilidad (PROB) es la probabilidad de determinar el evento actual, sea este húmedo o seco. El X1 describe la severidad de condiciones húmedas, X2 la severidad de condiciones secas y X3 la severidad de condiciones establecidas corrientes.

Cuadro 3
Resultados del Índice de Palmer

AÑO	MES	Z	PROB	X1	X2	X3
1961	1	4.83	0.00	0.00	0.00	1.40
1961	2	1.12	0.00	0.00	0.00	1.69
1961	3	0.01	1.02	0.00	0.00	1.64
1961	4	-0.26	9.25	0.00	-0.06	1.51
1961	5	-1.26	45.33	0.00	-0.38	1.10
1961	6	1.25	12.89	0.36	-0.05	1.43
1961	7	1.64	0.00	0.00	0.00	1.86
1961	8	-1.24	28.86	0.00	-0.31	1.44
1961	9	1.15	4.46	0.34	-0.01	1.73
1961	10	-1.33	37.07	0.00	-0.35	1.29
1961	11	-2.44	0.00	0.00	0.00	1.96
1961	12	1.68	0.00	0.00	0.00	2.39

Las figuras 5 y 6 fueron creadas por medio del “SPI” y muestran el índice “PALMER” para las estaciones secas de los años de 1976/77 y 1986/87. Estos años se caracterizaron por una intensa y larga sequía a causa de la incidencia del fenómeno del Niño (García Quirola y Fernández, 2002), que provocó un disturbio climático en la región del golfo de Fonseca y en todo el lado del Pacífico de América Central.

Los mapas incluyen el valor promedio anual de “Palmer”, cuyo valor fue interpolado a

partir de las cinco estaciones climáticas disponibles, todas situadas en la región del Golfo de Fonseca, a saber, las estaciones de Tegucigalpa, Catacama, Choluteca en Honduras y la estación del Papalón en El Salvador.

Cada mapa muestra una gran variabilidad espacial de los períodos, lo que significa que en una región geográficamente pequeña pueden existir distintos niveles de repercusión. Si una estación está presentando condiciones secas, la estación vecina no tiene que reflejar automáticamente

una situación semejante. Pero como se puede ver en los mapas, durante estos años hubo grandes

anomalías con relación al año 1987 (Fig. 5), que representa la mayor severidad.

Fig. 5

Interpolación del Palmer de la época seca de los años 1976/77

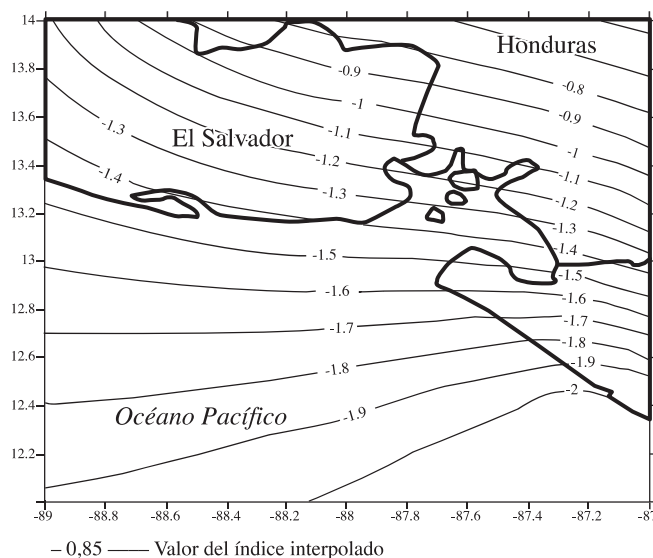
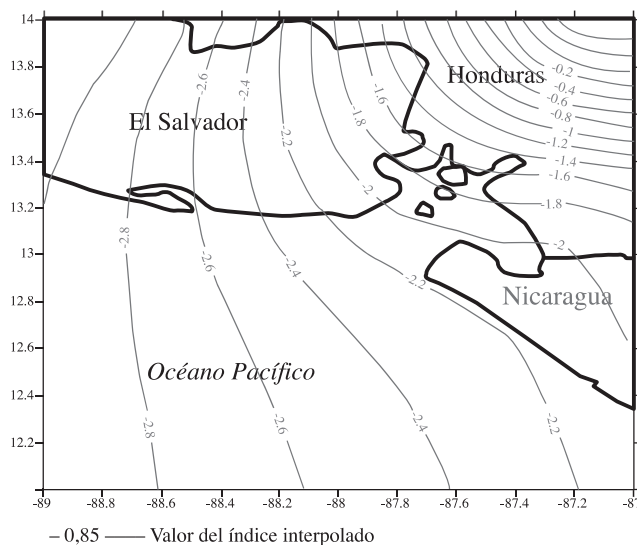


Fig. 6

Interpolación del Palmer de la época seca de los años 1986/87

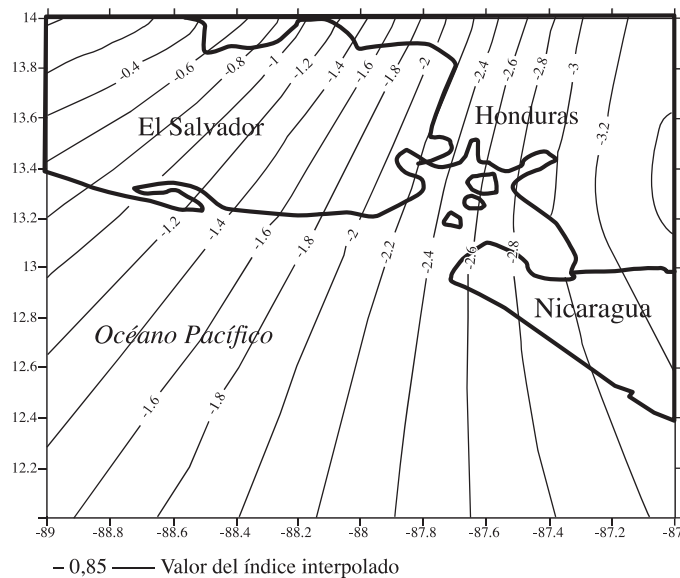


La comparación gráfica (Fig. 7) de los índices de sequía del Centro Climático de Colorado

(SPI) y el índice de Palmer conduce a la interpretación y discusión.

Fig. 7

Comparación del Palmer 12 con el SPI12



Generalmente se puede afirmar que el índice SPI, con tiempo definido de 12 meses, sigue la curva del "PDSI". La diferencia en la magnitud de los índices resulta de las escalas distintas de análisis, pero obviamente el "SPI" muestra más oscilación según el período, por ejemplo, al principio del registro de los años de 1961 y 1967 se produce un período de normal a húmedo; además, en el registro de 1961-1990, se identifican tres períodos secos: 1972-1975, 1978-1980, y 1985-1988.

Un asunto para discutir es el fenómeno "El Niño" de los años 1976-1977. El gráfico muestra un largo período seco del "SPI", todo lo contrario al de "PALMER", que refleja un período muy húmedo. Según los datos obtenidos de "Palmer", la sequía identificada llega con dos años de atraso. La causa de esta diferencia significativa se encuentra en la naturaleza distinta de los cálculos, esto unido a las incertidumbres en la estimación del valor del suelo y al cálculo de la evapotranspiración, según Thornthwaite:

El "SPI" se refiere solamente a los datos de precipitación, sin tomar en cuenta otras condiciones que pueden causar una sequía, de tal manera

que se puede explicar el atraso del "Palmer" porque se basa en un cálculo del balance hídrico. El hecho de que haya menos lluvia no significa automáticamente el inicio de una sequía.

El suelo funciona como un amortiguador y puede cargar agua reservada a las plantas durante un tiempo adicional. Para ayudar a tomar la decisión de cuándo empieza y termina una sequía seria, hay que revisar las probabilidades calculadas por el programa. Una gran ventaja del "Palmer" es la consideración de muchos efectos aparte de la lluvia. Sin embargo, se requiere más datos disponibles para la función adecuada.

Por razones estadísticas, se podrá modificar dicha oscilación de los valores del "SPI" mediante un registro de datos más largo; no obstante, brinda una oportunidad muy fácil y accesible para tomar decisiones en el caso de sequía.

Conclusiones

El programa "Palmer", elaborado por Wells (2003), es una versión modificada del índice original Palmer que constituiría una excelente herramienta para analizar sequías en Centroamérica.

Por esta razón se utiliza para tomar decisiones dentro del plan de acción de la alarma temprana de los Estados Unidos, México y Argentina. Además, el programa dispone de la posibilidad de calcular valores semanales del índice.

Para garantizar la buena función del programa y datos confiables, se requiere un registro de datos de precipitación y temperatura de más de 25 años. Por estas razones estadísticas, se recomienda un registro lo más largo posible y una actualización adecuada de este. Un aspecto clave del cálculo es el coeficiente del suelo (capacidad de campo); sin este dato las incertidumbres aumentan de modo importante. Para obtener los valores de humedad en el suelo es necesario determinarlos por medio de un detallado trabajo de campo.

Es necesario señalar una limitación en la aplicación del programa "Palmer" en los trópicos, que se relaciona con el cálculo de la evapotranspiración potencial de Thornthwaite. Este cálculo solamente comprende la temperatura como referencia para el componente del clima, pero se puede modificar con otro cálculo más exacto como la ecuación de Penman-Monteith para obtener resultados más finos. Sin embargo, los datos no disponibles para el método de Penman y la estimación aceptable por el factor de ajuste en la ecuación de Thornthwaite justifican la aplicación en este caso. El intervalo de falla se mueve entre 15 por ciento y 25 por ciento, una incertidumbre normal.

La actualización de los mapas se realiza por una función sencilla (OBMS) en "MapInfo". Esta función interconecta los datos mensuales con la interpolación de "Surfer" para obtener mapas del índice de sequía cada mes, o aún cada semana, automáticamente.

Estos mapas constituyen la herramienta más importante en el proceso para tomar una decisión. Una propuesta del plan de acción debería contener una colaboración de los índices de sequía con el nivel observado del agua subterránea, el caudal de los ríos y el nivel observado de las represas para determinar la severidad de una sequía. Las acciones se fraccionarían con cinco pasos de observación fortalecida hasta la restricción del uso de agua.

Bibliografía

- Banco Mundial y Centro Internacional de Agricultura Tropical. 2001, Indicadores América Central: *Atlas digital de América Central*. Cali. Colombia.
- CEPREDENAC y CRPH. 2002. *Mitigando los efectos de El Niño. Proyecto de mitigación de desastres en Centroamérica*. Centro de Prevención de desastres naturales en América Central Panamá.
- García Guirola L. A. y W. Fernández. 2002. *Relación entre la canícula y las temperaturas de la superficie del mar del Atlántico tropical norte y Niño para desarrollar un modelo de predicción*. Instituto Meteorológico de El Salvador. San Salvador.
- Ravelo, A. C. 1990. *Manual Teorético / Operativo del índice de sequía de Palmer (PDI)*. www.crean.agro.uncor.edu/pdiwin/manual Universidad Nacional de Córdoba. Argentina.
- McKee T. B., N. J. Doesken y J. Kleist. 1993. *SPI Drought Index*. Colorado State University. Colorado.
- Mutreja, K. N., 1986. *Applied Hydrology*. Tata McGraw-Hill. New Delhi. India.
- Palmer W. C. 1965. *Meteorological Drought*. Weather Bureau Research Paper No.45. 58 p.
- Sauma. A. 2003. *Índice de pobreza humana en América Central*. En: *Estado de la Región*. Programa del Estado de la Nación. 34-65 p.
- SICA, CRRH, UICN y GWP-CATAC, 2003. *Diálogo agua y clima Centroamérica: resumen ejecutivo*.
- Suárez, M. E., 1985. *Aplicación del índice Palmer de sequía*. Tesis de grado. Escuela de física. Universidad de Costa Rica. San José.

Thom, H. C. S., 1966. *Some methods of climatological analysis*. Tech. Note No.81, Organización Meteorológica Mundial. WMO, Ginebra.

Wells N., 2003. *Palmer drought index manual*. National Agricultural Decision Support System, University of Nebraska-Lincoln.

Working Draft Massachusetts Drought Management Plan, 2001.