

El peligro integrado por sequía meteorológica y agrícola

Integrated hazard by meteorological and agricultural drought

Dr. Braulio Lapinel Pedroso | braulio.lapinel@insmet.cu | Centro del Clima, Instituto de Meteorología

Dra. Cecilia Fonseca Rivera | cecilia.fonseca@insmet.cu | Centro del Clima, Instituto de Meteorología

MSc. Idelmis T. González García | idelmis.gonzalez@insmet.cu | Centro del Clima, Instituto de Meteorología

Lic. Dagne Boulet Rouco | dagne.boulet@insmet.cu | Centro del Clima, Instituto de Meteorología

MSc. Virgen Cutié Cancino | virgen.cutie@insmet.cu | Centro del Clima, Instituto de Meteorología

Lic. Marieta Hernández Sosa | marieta.hernandez@insmet.cu | Centro del Clima, Instituto de Meteorología

Lic. Reinaldo Báez Altamirano | reinaldo.baez@insmet.cu | Centro del Clima, Instituto de Meteorología

MSc. Ranses J. Vázquez | ranses.vazquez@insmet.cu | Centro de Agrometeorología

Dr. Oscar J. Solano | oscar.solano@insmet.cu | Centro de Agrometeorología

Dra. Cecilia González Pedroso | cecilia.gonzalez@insmet.cu | Centro de Pronóstico

Recibido: enero 12 de 2015; aceptado: marzo 27 de 2015.

Resumen

A partir de los conceptos de Sequía Meteorológica y Sequía Agrícola se alcanzan una interpretación y una integración equilibradas acerca del peligro que ambos eventos representan de conjunto en cierto momento (*peligro integrado*), y con ello se logra un término cuantitativo adecuado para ser utilizado en la ecuación del “Riesgo por Sequía”, bien sea operativamente en tiempo real o en estudios históricos relacionados con la evaluación de los peligros potenciales por Sequía para cualquier localidad o región geográfica de interés. Estos cálculos constituyen una primera y novedosa contribución al problema de los estudios de peligro, vulnerabilidad y riesgos en Cuba.

PALABRAS CLAVE: Sequía, peligro por sequía, riesgo por sequía, Cuba.

Abstract

Based on the concepts of Meteorological and Agricultural Drought, it is reached a balanced interpretation and integration of the hazard that both events account for acting together at a given time (integrated hazard), and thereby it is achieved a quantitative term to be used in the equation for “Drought Risk”, either operationally in real time or in historical studies related to the evaluation of the potential dangers by Drought for any locality or geographic region of interest. These

calculations are a first and novel contribution to the problem of the study of risk, vulnerability and hazard in Cuba.

KEYWORDS: Drought, drought risk, Cuba.

Introducción

Debido a que un mismo evento de sequía puede ser evaluado desde distintos puntos de vista, bien sea por sus causas o por consecuencias, y que estas últimas son muy diferentes sobre los distintos sectores sociales, económicos o medioambientales, se generan simultáneamente múltiples percepciones del fenómeno. Por ello, entre otros aspectos, no sorprende que en la literatura internacional exista una gran cantidad de índices para el cálculo de las sequías meteorológica, agrícola, hidrológica, edáfica, ecológica, socioeconómica, etc., por lo general, todos muy bien argumentados y de gran valor teórico-práctico. Esta profusión de índices (que individualmente no se critican en el presente trabajo) ha desfavorecido disponer con mayor rapidez de *una equilibrada interpretación y un enfoque integrado del peligro que este nocivo fenómeno representa en un momento determinado* y con ello la acertada y oportuna evaluación del “riesgo por sequía”.

La existencia de numerosos compendios explicativos sobre los principales y más actuales índices de sequía, a la vez que facilitan su conocimiento e interpretación específica, dispensan la realización de una

labor similar en el presente estudio. Entre estos, se destacan distintos reportes de la Organización Meteorológica Mundial (OMM, 1989 y XI Reunión de la Comisión de Climatología, 1993); los resúmenes de Hayes (1996 y 1999) del Centro Nacional de Mitigación de Sequía de los Estados Unidos de Norteamérica; la obra de Jürgen V. Vogt y Francesca Somma (2000), relativa a la sequía y su mitigación en Europa, y la *Revista de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales* de España (2000, vol. 94), dedicada completamente al tema de la sequía.

No obstante, es necesario precisar que la utilización de cualquiera de los principales índices de sequía para la determinación del peligro que puede representar este fenómeno en un momento dado, conlleva la necesidad de manejarlos apropiadamente, puesto que para distintos propósitos *no basta con conocer en qué medida llovió o dejó de llover en un período dado, sino que es importante saber cuándo se produjeron los déficit y excesos más significativos en ese mismo período*. Por ejemplo, cierta anomalía negativa significativa en el período lluvioso en Cuba (mayo-octubre) podría estar originada por un importante déficit en los trimestres mayo-julio o agosto-octubre, lo cual, de ningún modo, tendría el mismo significado al cierre de octubre. Tampoco un mismo rango decil o **índice de precipitación estandarizada** (SPI) significaría lo mismo en un trimestre del período estacional poco lluvioso que en uno del lluvioso.

En los últimos años, algunos países vienen realizando importantes esfuerzos para abordar, simultáneamente, los principales componentes y factores implicados en el manejo acertado de la sequía. Entre estas experiencias se destaca el sistema “Drought Monitor” <<http://www.drought.unl.edu/DM/>> del Departamento de Agricultura (USDA), la Administración Nacional de la Atmósfera y los Océanos (NOAA), y el Centro Nacional de Mitigación de Sequía, todos en los Estados Unidos de Norteamérica, los cuales han desplegado un novedoso complejo sistema intersectorial integrado que, en diferentes escalas de tiempo y espacio,

determina la intensidad de la sequía, evalúa sus impactos y emite pronósticos asociados. Asimismo, en esta misma dirección, los esfuerzos de MEDROPLAN (**Sequía Mediterránea, Plan de Preparación y Mitigación**) son de gran provecho teórico-práctico

<<http://www.iamz.ciheam.org/medroplan/>>.

De estas prácticas y las desarrolladas también en Cuba, a los efectos de los planes de reducción de riesgos, se deduce que para la determinación del *riesgo por sequía* es necesario, previamente, disponer de índices representativos del “peligro” o la “amenaza” por sequía (componentes meteorológico, agrícola, hidrológico, etc.), con miras a ser integrados y evaluados en la ecuación que representa este riesgo, en su interpretación más abierta (PNUD, 2006).

Estos índices serían el resultado, para un momento y lugar dados, de una compleja combinación de atributos relativos al comportamiento de la lluvia y aspectos relacionados con cada tipo de sequía. En la sequía meteorológica, el peligro se considera una función de tres aspectos esenciales en lapsos específicos de un período preestablecido (por ejemplo, los últimos doce meses): el grado de la anomalía en cada lapso, la posición de cada lapso considerado en el horizonte temporal y el peso que los acumulados de las lluvias tienen en cada uno de estos con relación al total anual (valores normales o régimen). Por otra parte, en la sequía agrícola, más que la propia lluvia, el peligro toma en cuenta la reserva de humedad en el suelo y su interrelación con los componentes biológico-pedológicos, que generan el estrés hídrico en las plantas, y su intensidad en un período precedente, de hasta cuatro meses.

De este modo, a los efectos de los componentes de las sequías meteorológica y agrícola, la experiencia y las ecuaciones de balance hídrico (Rivero *et al.*, 1999) demostraron que en el período seco hay sequía agrícola aunque no exista la meteorológica y que en el período lluvioso puede haber sequía meteorológica sin sequía agrícola, siendo más fuertes las relaciones entre

ambos tipos de sequía cuando la sequía meteorológica es severa y prolongada. Esto contribuye a justificar la evaluación integrada de ambos tipos de sequía.

Por ello, a continuación, se desarrolla el cálculo de un **índice integrado de peligro por sequía**, el cual incorpora, hasta el momento, las sequías meteorológica y agrícola. Los resultados o salidas de cada uno de estos componentes, expresados de manera análoga en términos de “categoría de peligro”, permiten articular y ponderar con sencillez las categorías encontradas para cada localidad, y lograr una percepción equilibrada de ese fenómeno.

Materiales y métodos

Sequía meteorológica

Con el objetivo de ejemplificar el cálculo del peligro por sequía meteorológica en la región oriental de Cuba (como una agrupación), se empleó la serie correspondiente de los acumulados mensuales de lluvia en el período 1961–2006. Para el procesamiento de los datos se empleó la rejilla R7 del Centro del Clima del INSMET, elaborada por Vázquez, *et al.* (2010), la cual se utiliza operativamente en el cálculo de los principales parámetros de lluvia e índices de sequía generados por el Sistema de Vigilancia y Alerta Temprana de la Sequía, de conformidad con las técnicas y los procedimientos internacionales diseñados para

este propósito, entre los cuales se destacan los deciles y el SPI. La Rejilla R7 tiene una resolución de 16 km² y la localización de cada nodo coincide plenamente con la empleada por la parte agrometeorológica, con lo cual se facilita la compatibilidad requerida.

Una vez realizadas las corridas estándares de los índices históricos de sequía, la obtención automatizada del índice de peligro B12 se ejecuta sin extraer datos de la base de datos, es decir, mediante procedimientos almacenados en esta, programados en SQL Server. En todos los casos, la norma de referencia utilizada es la del período 1971–2000.

Sequía agrícola

Para el cálculo del peligro por *sequía agrícola*, las estaciones de observación empleadas fueron las utilizadas en los estudios de la sequía agrícola en Cuba durante el período 1951–2005 (Fig. 1). Aproximadamente, se utilizó información de 800 estaciones, de las cuales 70 pertenecen a la red del Instituto de Meteorología y el resto son estaciones pluviométricas que integran la red informativa del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH).

Los resultados del estudio de los diferentes índices agroclimáticos se han representado empleando diversas escalas temporales y espaciales. En las espaciales, por localidad (celdas de 4 km de lado o 16 km²), municipio, provincia, región y nación; en las tempo-

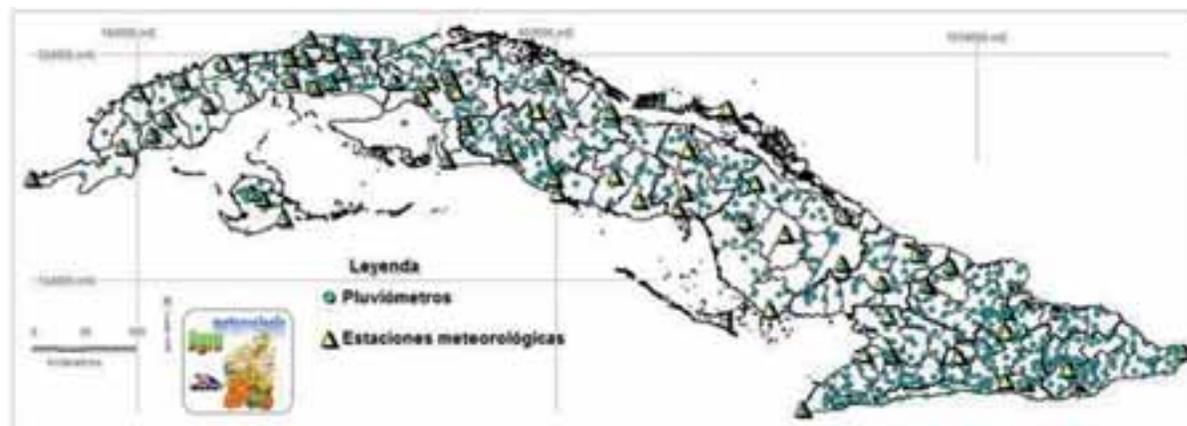


Fig. 1 Estaciones de observación empleadas en los estudios de la sequía agrícola en Cuba durante el período 1951–2005.

rales, por décadas (períodos de diez días), períodos lluvioso, poco lluvioso y anual. La identificación de todas las estaciones de observación, meteorológicas y pluviométricas, fue georreferenciada utilizando los datos de la latitud, la longitud, la altitud, los años de inicio y fin del período de observaciones empleado en los trabajos de investigación.

La base de cuadrículas poligonales ha sido creada como entidades geográficas independientes a las cuales se les asocia un conjunto de atributos del área que representa. Esta información, mostrada en la parte superior izquierda de la figura 2, es la siguiente: identificador alfanumérico, coordenadas del centroide (planas y geográficas), región, provincia, municipio, hipsometría (mínima, media y máxima), pendiente (mínima, media y máxima), datos de suelo (textura, grado de permeabilidad, coeficiente de pérdidas de lluvia, porosidad, fracción volumétrica de agua aprovechable y almacenaje máximo de humedad del suelo en la rizosfera).

En la parte superior derecha de la figura 2 se expone el mapa hipsométrico generado a partir de los mapas altimétricos básicos, utilizados para el cálculo de los rangos de pendientes por punto de rejilla. En la parte central izquierda se presenta el mapa de la textura del suelo, utilizado de conjunto con el mapa de pendientes del terreno para confeccionar el mapa del coeficiente de pérdidas de lluvia, el cual se muestra en la parte central derecha de esa figura.

La fracción volumétrica de agua aprovechable representa el volumen de agua que es capaz de almacenar determinado volumen de suelo y que puede utilizarse por las plantas; su distribución espacial en Cuba se expone en la parte inferior izquierda de la figura 2. Asimismo, en la parte inferior derecha de esta figura se presenta la distribución espacial de la reserva de humedad productiva máxima del suelo en Cuba.

Se programaron macros que permitieron la lectura de las rejillas de lluvia y *ET_o* interpoladas para cada década de los períodos estudiados, y la extracción de los

puntos dentro del territorio descartando los valores en áreas marítimas. Para cada punto de la rejilla interior del territorio se calcularon los parámetros resultantes del balance hídrico-agroclimático del suelo en la rizosfera, así como la reserva de la humedad productiva del suelo y las condiciones de vegetación de las plantas.

Con los valores de la rejilla interior de las condiciones de vegetación se calculó el índice de sequía agrícola.

La figura 3 expone una síntesis del proceso seguido, cuadrícula a cuadrícula, con miras a evaluar la sequía agrícola mediante la combinación de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y los algoritmos de cálculo.

El método de balance hídrico del suelo en la rizosfera empleado en Cuba para la determinación de la sequía agrícola es el tradicional de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), simplificado por Solano *et al.* (2003a) para las condiciones pedo-climáticas del país.

Peligro integrado por sequías meteorológica y agrícola

Interpretación conceptual del peligro por sequía meteorológica

La definición de SEQUÍA METEOROLÓGICA (OMM, 1990), enuncia de manera explícita que esta tiene lugar cuando se establece “un período de condiciones meteorológicas anormalmente secas, suficientemente *prolongado* como para que la falta de precipitaciones cause un grave desequilibrio hidrológico”.

En este caso, la expresión “suficientemente prolongado”, es clave en el proceso de aproximación a una percepción de “peligro” que refleje el potencial nocivo del fenómeno, más allá del valor que pueda representar un determinado índice de sequía (meteorológica), evaluado para un período temporal determinado (mes, trimestre, semestre, etcétera).

En el examen del comportamiento de la lluvia en un período *t* seleccionado (*n* meses), lo “suficiente-

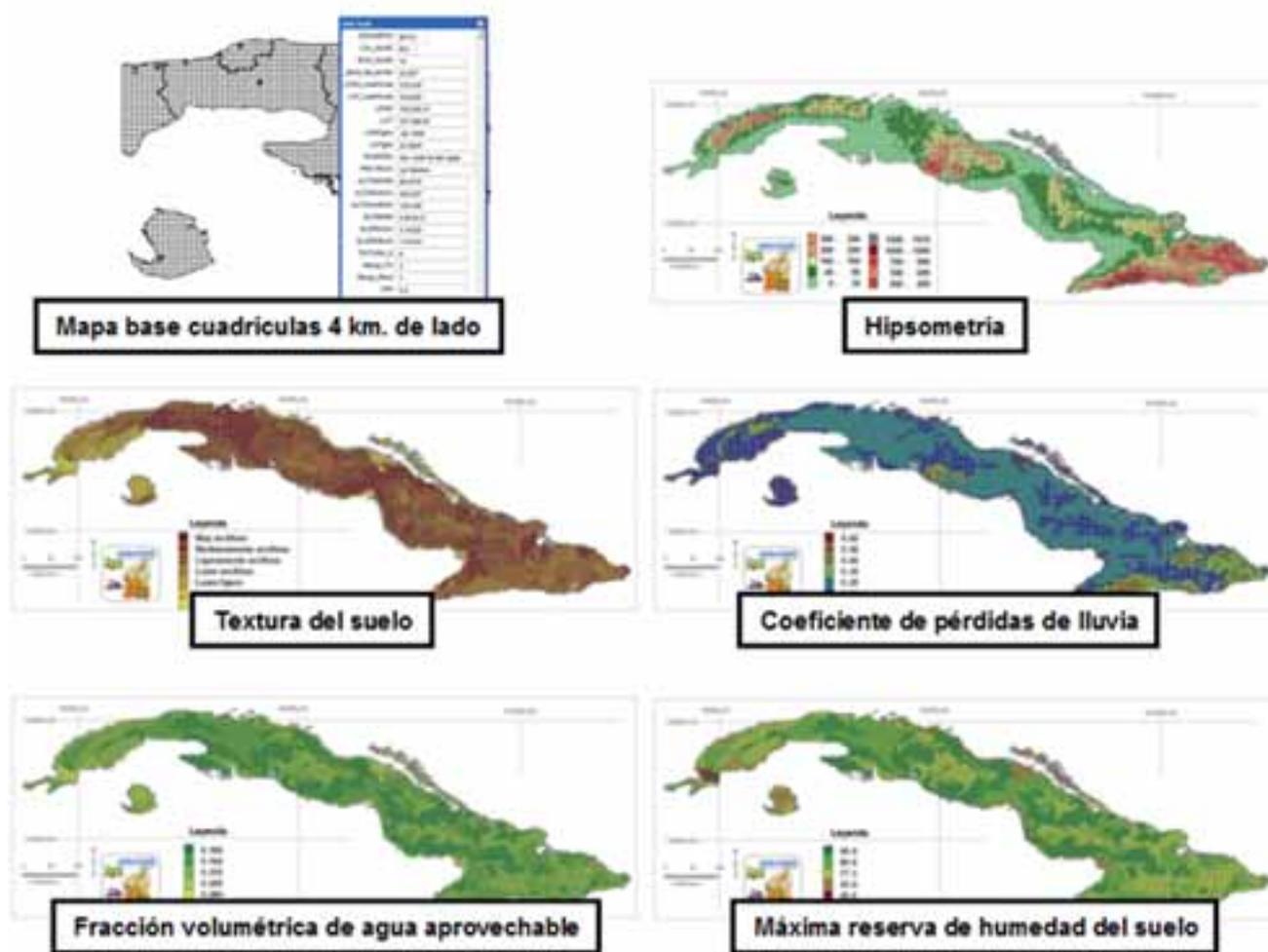


Fig. 2 Principales mapas básicos generados para la determinación del balance hídrico-agroclimático del suelo y la sequía agrícola cuadrícula a cuadrícula en Cuba.

mente prolongado” como para captar de modo integrado el potencial nocivo o “peligro” de un evento de sequía, se considera que este *es una función* de factores tales como *las anomalías de las lluvias* en determinados lapsos contenidos en un período de referencia, *la posición* de cada uno de estos lapsos en ese horizonte temporal y su *peso relativo en los acumulados anuales de las lluvias*, según sus valores normales, lo que expresa, finalmente, el resultado en “grados de peligro” (1, 2 o 3).

El índice de peligro por sequía meteorológica (B12) desarrollado valora, específicamente, en qué medida el déficit-exceso en los acumulados de las lluvias en

un trimestre cualquiera (*unidad de tiempo mínima para comenzar a considerar la sequía*) está influido por el comportamiento de las lluvias en períodos trimestrales anteriores, hasta un período temporal preestablecido, capaz de expresar con certeza el grado de peligrosidad dominante en este trimestre (el criterio de corte utilizado en la presente versión comprende siempre los doce meses anteriores, representados por los últimos cuatro trimestres naturales a partir del mes en que se efectúa la evaluación).

Esta idea concentra en el *índice de peligrosidad* elaborado un *estado de prevalencia*, que posee un valor agregado alto, puesto que *integra cuantitativamente*

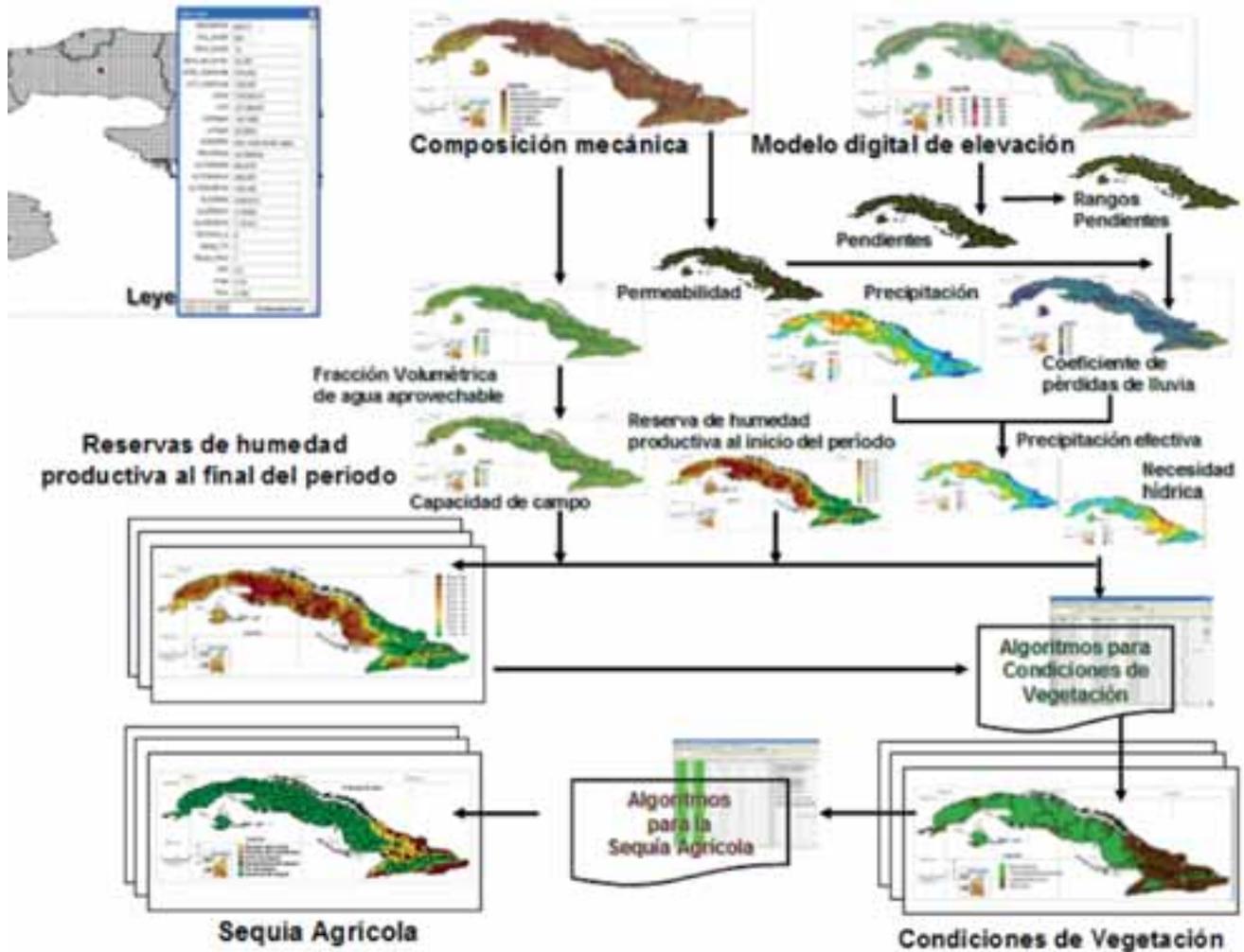


Fig. 3 Esquema de las operaciones realizadas para evaluar la sequía agrícola mediante la utilización de los SIG.

una percepción de “peligro”, hasta ahora obtenida únicamente mediante una evaluación cualitativa del comportamiento de la lluvia en períodos temporales específicos (1, 3, 6... n meses anteriores).

La utilización de índices de base reconocidos internacionalmente, como el **índice de precipitación estandarizada** (SPI) (McKee *et al.*,1993) o los deciles (Gibbs ,1987), así como el empleo de los umbrales más recomendados para la caracterización de los déficit, facilita desarrollar este nuevo índice. Asimismo, abordar una tarea de este tipo no sería viable sin la disponibilidad de los sistemas de cálculo operacionales, implícitos en los Sistemas Nacionales de Vigilancia y Alerta Temprana de la Sequía (Lapinel *et al.*,

2007), capaces de resolver con éxito todos los requerimientos interpuestos.

Aspectos generales para el cálculo del peligro por sequía meteorológica

Cualquier serie histórica de acumulados de lluvias mensuales, representativa de una localidad, punto de rejilla o agrupación dada, expresada mediante el índice de precipitación estandarizada (SPI) o la técnica de los deciles, es transformada, según los procedimientos propuestos (Acápita I.1.3.2), en una nueva serie, compuesta por puntuaciones que cada mes expresan el *grado de peligrosidad* prevaleciente al cierre del mismo.

Si se conocen todas las puntuaciones obtenidas por meses (positivas y negativas) en el curso de todos los años analizados (serie histórica), es posible, para una “norma” acordada, calcular los percentiles seleccionados (deciles, quintiles, cuartiles o terciles), los cuales pueden ser utilizados para fijar los umbrales de las gradaciones de peligro que sean recomendables, y con estos transformar estas puntuaciones en “categorías de peligro”.

En caso de disponer operacionalmente de una densidad de estaciones pluviométricas suficiente o una rejilla de datos de lluvia con una resolución espacial adecuada, debidamente certificadas y georeferenciadas, es posible preparar los mapas de peligro por sequía meteorológica correspondientes a la superficie de trabajo deseada (país, región, municipio, localidad, etcétera).

Además, si se dispone de series suficientemente extensas, al determinar la frecuencia de las distintas categorías de peligro establecidas para cualquier mes, resulta posible, aplicando procedimientos de ponderación (orientados a lograr una sola categoría de peligro), construir mapas de peligro de carácter histórico.

Cálculo del peligro por sequía meteorológica

Como se expresó en el inciso I.1.1, el índice de peligro por sequía meteorológica (B12) valora períodos trimestrales anteriores, hasta un período temporal preestablecido, en este caso, los doce meses anteriores (últimos cuatro trimestres). Podría valorarse otro período, por ejemplo, los últimos seis meses (últimos dos trimestres).

Identificadores, ponderaciones y puntuaciones consideradas

El primer trimestre (T_1) es el correspondiente al cierre de cualquier mes; por ejemplo, en enero de 1962, T_1 corresponde a noviembre 1961-enero 1962). Un trimestre será siempre la unidad de tiempo mínima requerida para referirse a la sequía meteorológica.

El trimestre inmediato anterior a T_i es identificado como desde $i = \overline{1,3}$.

La anomalía positiva o negativa (**A**) se cataloga como A_1 (débil), A_2 (moderada), A_3 (severa) y A_4 (extrema) en cualquiera de los índices de sequía empleados (deciles, SPI u otros). La anomalía podrá alcanzar valores entre +4 y -4 (Tabla 1).

K₁) Coeficiente que involucra ponderadamente la posición o la cercanía de cada trimestre analizado en el horizonte temporal considerado desde y respecto al primero (T_1). Entonces, $K_1 = 5 - i$ para T_i desde $i = \overline{1,4}$.

K₂) Coeficiente $K_2 = \left(\frac{p_t}{p_a}\right)$ que considera ponderadamente el peso de los acumulados de las lluvias en el trimestre analizado con respecto al total anual (según su norma). Se considera p_t = el acumulado medio o norma del trimestre (T_i) con $i = \overline{1,4}$ y p_a = acumulado medio o norma anual. Ese coeficiente varía entre 1 y 4.

Σ) Sumatoria algebraica de las puntuaciones alcanzadas por todos los trimestres contribuyentes:

$$PP = \sum_{i=1}^4 [AT_i K_{1i} K_{2i} + AT_{i-1} K_{1,i-1} K_{2,i-1} + AT_{i-2} K_{1,i-2} K_{2,i-2} + AT_{i-3} K_{1,i-3} K_{2,i-3}] = \sum_{i=1}^4 AT_i K_{1i} K_{2i}$$

donde $PP =$ y $A =$.

En resumen:

1. Las anomalías (**A**) varían entre 1 y 4 puntos (positivos o negativos) (ver Tabla 1).
2. El coeficiente de cercanía o posición del déficit (**K₁**) varía entre 1 y 4 puntos: para $T_i = 5 - i$ desde $i = \overline{1,4}$.
3. La relación entre los acumulados de las lluvias en cualquier período trimestral y el acumulado anual (**K₂**) transita, por lo general, entre 0.1 y 0.4. El valor obtenido se multiplica por 10 para equilibrar la escala de ponderación.

TABLA 1

Anomalías de los acumulados de las lluvias expresadas según el SPI y los deciles. Puntuaciones de peligro y categorías asociadas

Escala SPI	Escala deciles	Puntuaciones de peligro	Categoría
≥ 2	10	4	Extrema
$\geq 5 < 2$	9	3	Severa
$\geq 5 < 1.5$	8	2	Moderada
$\geq 0.5 < 1$	7	1	Débil
$> -0.5 < 0.5$	5 y 6	0	Normal
$\leq -0.5 > -1$	4	-1	Débil
$\leq -1 > -1.5$	3	-2	Moderada
$\leq -1.5 > -2$	2	-3	Severa
> -2	1	-4	Extrema

Descripción detallada del procedimiento para obtener las puntuaciones

PASO 1: Se selecciona el primer mes de la serie que se desea transformar (por ejemplo, enero de 1962). Aquí comienza la sumatoria, que corresponderá a enero de 1962 y que, de acuerdo con el criterio de corte utilizado en la presente versión, valora hasta cuatro trimestres atrás T_i desde $i = \overline{1,4}$, los cuales comprenden los doce meses anteriores (febrero 1961 a enero 1962).

Este enero de 1962 señala, de hecho, a T_1 , es decir, el primer trimestre que cierra este mes (noviembre-diciembre 1961-enero 1962).

PASO 2: La anomalía (A) de este trimestre (T_i) se clasifica en la escala de puntuaciones elegida y se multiplica por los coeficientes K_1 y K_2 conforme lo especificado en el Acápite I.1.3.1 (Ponderaciones y la tabla 1 de escalas de los índices de sequía). De este modo, se obtiene la primera puntuación.

PASO 3: A continuación, de manera similar, se analiza el trimestre agosto-octubre de 1961 (T_2), y su puntuación se suma algebraicamente a la obtenida con anterioridad.

Las anomalías de los trimestres naturales anteriores mayo-julio (T_3) y febrero-abril (T_4) de 1961, continuarán y finalizarán la contribución a la sumatoria iniciada en (T_1), según las puntuaciones que determinan las escalas de valores de los índices y los coeficientes K que les corresponden.

Paso 4. Una vez obtenida la puntuación del primer mes (enero 1962), se pasa al mes siguiente (febrero de 1962) y se procede de manera similar, hasta agotar todos los meses y años de la serie.

EJEMPLO (referido al Acápite I.1.3.1):

Se calculará la puntuación de peligro correspondiente a enero de 1962 para la región oriental de Cuba. La tabla 2 expone los datos necesarios para realizar los cálculos requeridos.

TABLA 2

Datos requeridos para el cálculo de la puntuación del peligro correspondiente a enero de 1962

Trimestre	Acumulados (mm)	Acumulados históricos (mm)	Anomalías SPI	K_1 Ptos	K_2 Ptos
$T_1(a)$ nov. 61-ene. 1962	170.4	197.8	-0.34	0	4
$T_2(b)$ ago.-oct. 1961	522.6	416.4	1.47	2	3
$T_3(c)$ may.-jul. 1961	349.8	393.6	-0.65	-1	2
$T_4(d)$ feb.-abr. 1961	117.5	186.8	-1.13	-2	1
Anual	1194.6				

$$PP = \sum_{i=1}^4 [AT_i K_{1i} K_{2i}] = \sum_{i=1}^4 AT_i K_{1i} K_{2i}$$

$$PP = \sum_{D e m o} \left[(0 \times 4 \times 1.65) + (2 \times 3 \times 3.48) + (-1 \times 2 \times 3.29) + (-2 \times 1 \times 1.56) \right]$$

$$= \sum_{i=1}^4 [20.8 - 6.6 - 3.1] = 11.18 \approx 11.2$$

$$PP = 11$$

Nótese la coincidencia con el valor señalado en la tabla 3 de III.1.4.2.

Acerca de la selección de las categorías de peligro

Una vez transformada la serie de referencia (punto de rejilla, estación pluviométrica o agrupación relativa a una localidad dada: municipio, provincia, región, etc.) en una nueva serie de “puntuaciones de peligro”, se procede a calcular para cada mes o período estacional seleccionado los percentiles que precisan los umbrales o valores por debajo y por encima de los cuales quedan las gradaciones de peligro elegidas.

A los efectos de la presente metodología, aún en fase de calibración, las categorías de peligro por sequía meteorológica se expresan mediante los percentiles siguientes:

Categoría de peligro 1 del 21 al 30 del percentil	Débil (D)
Categoría de peligro 2 del 11 al 20 del percentil	Moderado (M)
Categoría de peligro 3 de 1 al 10 del percentil	Severo o extremo (S)

El cálculo de los umbrales (30, 20 y 10 percentil) requeridos para efectuar la categorización de las puntuaciones, se obtendrá mediante la distribución percentilica de las puntuaciones propias de cada mes, según la norma seleccionada (por ejemplo, 1971-2000).

Ejemplo de cálculo del peligro por sequía meteorológica en la Región Oriental de Cuba (como una agrupación)

EVALUACIÓN DEL PELIGRO EN EL PERÍODO 1962-2006

A partir de la disponibilidad de las puntuaciones mensuales del **índice de peligro** (B12) (Tabla 3), el cálculo de las categorías de peligro se efectúa de la manera siguiente:

1. Se calculan los umbrales percentílicos de cada distribución mensual de puntuaciones correspondientes al mismo período normal utilizado (1971-2000).

2. Se clasifican las puntuaciones de cada mes del período de análisis en los intervalos correspondientes a cada categoría de peligro determinada (Tabla 4).

La categoría de peligro obtenida cada mes de cualquier localidad o punto de rejilla permite realizar el acople con la categoría correspondiente de la sequía agrícola y, de este modo, obtener el “peligro integrado”.

Peligro por sequía agrícola

La sequía agrícola se evalúa por sus consecuencias o impactos. En el contexto de la agricultura, la sequía “no comienza cuando cesa la lluvia, sino cuando las raíces de las plantas no pueden obtener más humedad del suelo” y puede ser definida sobre la base de la humedad del suelo más que sobre alguna interpretación indirecta de los registros de precipitación.

Dado que la reserva de humedad productiva del suelo depende del suelo y el cultivo (especie, variedad, fase de desarrollo), existe sequía agrícola cuando la humedad del suelo en la rizosfera se encuentra en un nivel que limita el crecimiento y la producción del cultivo.

Indicadores y procedimientos para la identificación de la Sequía Agrícola y el Peligro que representa

*Indicador básico de sequía agrícola:
índice combinado de sequía agrícola (icsa).
Fundamentos del ICSA*

El **índice combinado de sequía agrícola** (ICSA) ha sido desarrollado a partir del diagnóstico del estado de la sequía agrícola (inicio y permanencia), su duración e intensidad.

Los sistemas agrícolas son esencialmente complejos, con aire, agua, suelo, plantas y animales interactuando en el agroecosistema. Por esta razón, la sequía agrícola se calcula por un modelo (Solano *et al.* 2005a) sustentado en el diagnóstico de este evento climático adverso a partir del estrés hídrico en la

TABLA 3

Puntuaciones de peligro calculadas por meses. Norma: 1971-2000

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1962	11	7	-8	4	-13	-15	-24	-11	-21	-22	-23	-19
1963	-14	-14	-14	-12	-6	5	34	31	6	82	79	45
1964	79	62	33	52	38	20	23	50	34	32	40	28
1965	20	12	-1	-11	-16	-17	-11	-19	-17	-12	-13	-11
1966	0	-5	-3	4	20	25	55	26	18	41	45	32
1967	39	30	21	23	-3	-15	-32	-19	-49	-68	-45	-49
1968	-51	-35	-37	-55	-39	-43	-29	-24	-24	-12	-11	-13
1969	-6	-15	-16	-6	12	42	47	44	32	36	33	22
1970	24	22	12	-11	-11	-12	-18	-15	-9	-12	-23	-26
1971	-19	-14	-18	-9	-26	-35	-32	-18	-23	-23	3	-12
1972	-13	4	4	0	26	33	31	18	24	22	10	15
1973	14	10	6	0	-16	-12	-4	33	26	52	52	40
1974	26	38	24	17	14	15	7	0	2	10	-5	-1
1975	-16	-22	-21	-37	-45	-53	-41	-32	-39	-42	-20	-34
1976	-23	-7	-22	-22	-20	-21	-39	-15	-26	-39	-36	-36
1977	-33	-29	-34	-12	23	29	37	-2	27	17	1	32
1978	30	8	30	24	1	12	11	16	7	22	24	2
1979	5	10	0	8	15	25	31	43	66	63	56	48
1980	39	29	14	22	14	12	7	24	37	26	14	39
1981	20	16	28	7	9	1	2	2	5	-3	1	2
1982	-1	-5	2	-6	16	28	21	0	6	2	-13	-16
1983	-5	0	1	13	-2	-13	-19	1	-18	-12	-10	-11
1984	-8	-9	-9	-6	-16	-3	13	0	0	-4	-22	-30
1985	-17	-16	-27	-13	-10	-15	-10	-18	1	-3	-8	7
1986	0	-10	6	0	3	15	13	5	-38	-31	-49	-69
1987	-44	-47	-51	-26	-34	-32	-42	-41	-34	-7	20	12
1988	5	18	5	-13	14	5	19	33	4	12	4	-11
1989	8	1	-7	12	0	-30	-34	-14	-21	-54	-61	-42
1990	-45	-40	-28	-22	-25	-27	-18	-22	-17	19	19	13
1991	9	4	-3	0	2	-1	-1	-9	-26	-18	-11	-1
1992	-5	0	3	4	0	4	4	-9	5	-9	-33	-10
1993	-2	-15	8	10	31	44	22	5	9	-10	18	14
1994	15	18	5	15	38	24	24	-3	-2	-8	-8	4
1995	0	-9	1	0	-8	0	12	0	2	13	0	10
1996	19	10	18	19	7	12	11	5	7	6	42	22
1997	8	24	15	-1	-13	10	-1	31	5	-1	-8	0
1998	-1	5	15	12	5	-38	-43	-1	18	8	15	4
1999	8	9	3	1	-3	6	18	7	-2	6	30	20
2000	18	23	9	0	-3	-19	-29	-19	-16	-22	-31	-3
2001	-9	-10	-4	-7	-2	1	-1	-32	0	12	-10	8
2002	8	-7	-3	-18	-22	-15	-15	-11	0	-12	-10	-20
2003	-6	-5	-12	6	0	-7	-34	0	-5	-40	-39	-20
2004	-41	-39	-30	-45	-57	-72	-63	-60	-62	-98	-88	-78
2005	-92	-73	-70	-76	-53	-39	-41	-16	-20	11	13	-5
2006	-10	-1	-15	-12	-1	0	15	42	13	10	30	31
30th	-5;9	-9	-4;2	-6	-8;6	-14;8	-12;4	-9	-16;3	-9;3	-10;3	-10;3
20th	-16;2	-14;2	-18;6	-12;2	-16	-22;2	-29;6	-15;6	-21;4	-18;3	-20;4	-12;8
10th	-24	-22;7	-27;1	-22	-25;1	-32;3	-39;2	-19;3	-26;8	-31;8	-33;3	-34;2

TABLA 4

Categorías de peligro por meses. Norma: 1971-2000

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1962			1		1	1	1	1	1	2	2	2
1963	1	1	1	1								
1964												
1965				1	2	1		2	1	1	1	1
1966												
1967						1	2	2	3	3	3	3
1968	3	3	3	3	3	3	1	3	2	1	1	2
1969	1	1	1	1								
1970				1	1		1	1		1	1	1
1971	1	1	1	1	3	3	2	2	2	2		1
1972	1											
1973					2							
1974												
1975	1	2	2	3	3	3	3	3	3	3	1	1
1976	2		2	3	2	1	2	1	2	3	3	3
1977	3	3	3	1								
1978												
1979												
1980												
1981												
1982				1							1	2
1983							1			1	1	1
1984	1	1	1	1	2						2	2
1985	2	2	2	2	1	1		2				
1986		1							3	2	3	3
1987	3	3	3	3	3	2	3	3	3			
1988				-13								1
1989			1			2	2	1	1	3	3	3
1990	3	3	3	3	2	2	1	3	1			
1991								1	2	1	1	
1992								1			2	
1993		2								1		
1994												
1995		1										
1996												
1997					1							
1998						3	3					
1999												
2000						1	1	2		2	2	
2001	1	1		1				3				
2002				2	2	1	1	1		1		2
2003	1		1				2			3	3	2
2004	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
2005	3	3	3	3	3	3	3	2	1			
2006	1		1	1								

Nota: Categorías de peligro: 1. Débil: percentil de 21 a 30; 2. Moderado: percentil de 11 a 20 y 3. Severo a extremo: percentil de 1 a 10.

vegetación producido por el déficit de humedad del suelo. Para calcular este término se requiere hallar la demanda y el suministro de agua para cada componente del complejo suelo-planta-atmósfera, en condiciones pasadas, presentes y futuras. Para ello, se utilizan las variables de entrada siguientes:

1. *Del suelo*, la textura, la fracción volumétrica de agua aprovechable, la capacidad de campo y la inclinación de la pendiente del terreno.
2. *De la vegetación*, el coeficiente de cultivo que, a su vez, depende del tipo de cultivo, su fase de desarrollo y la profundidad de las raíces absorbentes.
3. *De la atmósfera* (meteorológicas), la altura de la lámina de precipitación caída, las temperaturas máxima y mínima del aire, la humedad del aire, el déficit de saturación, la radiación solar y la velocidad del viento.

Procedimientos del cálculo del peligro de la sequía agrícola

Sobre la base del seguimiento de los períodos secos evaluados por el índice de humedecimiento modificado (Solano *et al.*, 2003b) y la escala propuesta por Solano *et al.* (2000a), que permite evaluar el inicio, el fin y la duración de la sequía agrícola en función de las condiciones de estrés hídrico que afectan a la vegetación predominante en la zona estudiada, el estado de la sequía agrícola (ESA) ha sido conceptualizado por Solano *et al.* (2005a) en las categorías siguientes:

PERÍODO SECO CORTO (1): En este las condiciones agrometeorológicas han sido muy secas ($Pr < ETo/2$ y $0.00 \leq W/Wx < 0.40$) y originaron estrés hídrico moderado en los cultivos o severamente secas ($Pr = 0$ y $W/Wx = 0$) y causaron estrés hídrico severo en los cultivos durante dos décadas consecutivas. *Pr* es la lluvia, *ETo* es la evapotranspiración de referencia, *W* es la reserva actual de agua del suelo y *Wx* es la reserva máxima de humedad del suelo.

PERÍODO SECO MODERADO (2): Período en el cual las condiciones agrometeorológicas causaron estrés hídrico moderado o severo en los cultivos durante tres décadas.

INICIO DE SEQUÍA (3): Período en que las condiciones agrometeorológicas originaron estrés hídrico moderado o severo en los cultivos durante cuatro décadas.

Permanencia de sequía (4): Período en el cual las condiciones agrometeorológicas causaron estrés hídrico moderado a severo en los cultivos durante cinco o más décadas.

Fin de sequía (5): La segunda década donde se presentan condiciones húmedas después de un período seco; puede existir entre estas un período ligeramente seco. $Pr < ETo$ y $0.40 \leq W/Wx < 0.80$.

Ausencia de sequía (6): Etapa en que las condiciones agrometeorológicas no originan períodos secos ni sequías.

Una vez determinado el inicio y el fin de la sequía agrícola es posible establecer la duración, la intensidad y el área afectada por el fenómeno. En dependencia de su intensidad —entendida como los niveles de severidad por la presencia de estrés hídrico en un período determinado antecedente—, la sequía agrícola fue conceptualizada por Solano *et al.* (2003c) de la forma siguiente:

MUY LIGERA (1): Se corresponde con un período seco en el cual la suma de las décadas muy secas o severamente secas que lo componen no alcanza 20 % de la longitud total de un período seco de al menos doce décadas de duración. Se incluyen los períodos seco corto y moderado.

LIGERA (2): Se presenta cuando, en un período seco, la suma de las décadas muy secas o severamente secas supera o iguala 20 %, pero no alcanza 40 % de la longitud de un período seco de al menos doce décadas de duración. Se incluyen los perío-

dos seco con cuatro o cinco décadas evaluadas como muy secas o severamente secas.

MODERADA (3): Se corresponde con un período seco en el cual la suma de las décadas muy secas o severamente secas supera o iguala 40 %, pero no alcanza 60 % de la longitud de un período seco de al menos doce décadas de duración. Se incluyen los períodos seco con seis, siete y ocho décadas clasificadas de muy secas o severamente secas.

SEVERA (4): Se presenta cuando, en un período seco, la suma de las décadas muy secas o severamente secas supera o iguala 60 %, pero no alcanza 80 % de la longitud de un período seco de al menos doce décadas de duración. Se incluyen los períodos seco con nueve, diez y once décadas evaluadas de muy secas o severamente secas.

MUY SEVERA (5): Se corresponde con un período seco en el cual la suma de las décadas secas o severamente secas supera o iguala 80 % de la longitud de un período seco de al menos doce décadas de duración.

El *ICSA* es la suma de puntuaciones otorgadas al clasificar los *ESA* y la intensidad. Con el propósito de componer el *ICSA* se reclasifica en cuatro niveles el *ESA* de la manera siguiente:

1. *Ausencia de sequía agrícola (0)*: Agrupa las categorías 5 y 6.
2. *Sequía agrícola baja (1)*: Agrupa las categorías 1 y 2.
3. *Sequía agrícola moderada (2)*: Se toma en cuenta la categoría 3 o inicio de la *SA* que comprende aquel período seco que ha mantenido sometida a la vegetación en estrés hídrico moderado o severo con una duración de hasta cinco décadas posteriores al inicio del agotamiento del agua del suelo.
4. *Sequía agrícola alta (3)*: Se asume que la categoría 4 es la más importante, dado que indica el establecimiento de la sequía agrícola, es decir, se ha mantenido sometida a la vegetación en estrés hídrico moderado o severo por un período mayor o igual a

seis décadas posteriores al inicio del agotamiento del agua del suelo.

La tabla 5 muestra la matriz de puntuación para la propuesta de análisis en la sequía agrícola. La evaluación se realiza para cada década en cada cuadrícula mediante la suma algebraica del valor que denomina la cualidad, tanto del estado de la sequía agrícola, como de la intensidad, lo cual ofrece una matriz de resultados con un recorrido del 2 al 8. La categoría ausencia no se analiza porque se asume la no presencia de estrés hídrico.

TABLA 5
Matriz de puntuación para la propuesta de compilación del ICSA, según el análisis de la sequía agrícola y la intensidad

Intensidad/ESA	Ausencia (0)	SA baja (1)	SA moderada (2)	SA alta (3)
	0	1	2	3
Muy ligera (1)	1	2	3	4
Ligera (2)	2	3	4	5
Moderada (3)	3	4	5	6
Severa (4)	4	5	6	7
Muy severa (5)	5	6	7	8

En un análisis diagonal de la tabla propuesta, salta a la vista que si los valores de suma se incrementan, aumenta la severidad o peligrosidad del fenómeno estudiado. El peligro de la presencia de la sequía agrícola, al efectuar el cálculo de los terciles para dividir el recorrido de las puntuaciones, se expresaría en tres grupos (Tabla 6).

TABLA 6
Categorías del ICSA de acuerdo con su gravedad, expresadas en categorías de peligro

Categorías ICSA	Nomenclatura
	Ausencia (0)
ICSA = 2 o 3	Bajo peligro de sequía agrícola (1)
ICSA = 4 o 5	Moderado peligro de sequía agrícola (2)
ICSA = 6, 7 u 8	Alto peligro de sequía agrícola (3)

La representación sobre la base de categorías se realiza en con vistas a brindar una mejor visión general

del peligro que, naturalmente, representa el fenómeno y para facilitar enlazar el análisis del peligro integrado a la sequía meteorológica.

Peligro integrado por sequías meteorológica y agrícola

Proceso de combinación de las categorías de ambos peligros

Como se ha visto, para obtener el “peligro integrado” se ha procedido previamente a *categorizar las puntuaciones* de cada peligro por sequía (meteorológica y agrícola) en cada mes del período común analizado, utilizando una misma norma de referencia, en correspondencia con la calificación siguiente:

AS [sin peligro (0)]	D [peligro débil (1)]
M [peligro moderado (2)]	S [peligro severo o extremo]

Abierta la posibilidad de avanzar en el proceso de integración de ambos peligros, deberá recategorizarse cada mes sobre la base de combinar las categorías obtenidas utilizando las dieciséis posibles combinaciones (Tabla 8). En cada combinación, las categorías de ambos peligros se suman; resulta que para todas las posibilidades, las magnitudes de las sumatoria oscilan entre 0 y 6, lo cual permite avanzar a la nueva escala de “categoría integrada”, que se expresa de la manera siguiente:

Ausencia de peligro	Σ 0	0
Peligro débil	Σ 1 y 2	1
Peligro moderado	Σ 3 y 4	2
Peligro severo	Σ 5 y 6	3

Mapas del peligro integrado

Si se dispone operacionalmente de los datos mensuales requeridos, con la calidad y la densidad necesarias para el cálculo y el acoplamiento de ambos peligros, es posible preparar los mapas de peligro por

TABLA 8

Procedimiento para la categorización del peligro por sequía integrado

PSM	PSA	Σ Categoría	Categoría integrada	Categoría integrada	Nueva categoría integrada
AS (0)	AS (0)	0	0	Ausencia	
AS (0)	D (1)	1	1	Débil	
AS (0)	M (2)	2	2	Débil	Ausencia (0)
AS (0)	S (3)	3	3	Moderada	Débil (1)
D (1)	AS (0)	1	4	Moderada	Moderada (2)
D (1)	D (1)	2	5	Severa	Severa (3)
D (1)	M (2)	3	6	Severa	
D (1)	S (3)	4			
M (2)	AS (0)	2			
M (2)	D (1)	3			
M (2)	M (2)	4			
M (2)	S (3)	5			
S (3)	AS (0)	3			
S (3)	D (1)	4			
S (3)	M (2)	5			
S (3)	S (3)	6			

NOTA: PSM: peligro por sequía meteorológica; PSA: peligro por sequía agrícola; AS: ausencia de sequía; sequía débil (D-1 punto), moderada (M-2 puntos) y severa (S-3 puntos); Σ de ambas categorías (entre 1 y 6 puntos); nueva categoría integrada (entre 1 y 6 puntos); categoría integrada: ausencia (0 punto), débil (entre 1 y 2 puntos), moderada (entre 3 y 4 puntos) y severa (entre 5 y 6 puntos).

sequías meteorológica y agrícola e integrado para la superficie de trabajo dada (país, región, municipio, localidad, etcétera).

Conclusiones

El cálculo del peligro por sequías meteorológica y agrícola, así como del “peligro integrado” de ambas, aplicable a una localidad o una región geográfica dada, permite percibir con éxito el potencial nocivo que presentan ambos eventos por separado y de conjunto e introducir, cuantitativamente, el

componente de peligro por sequía en la ecuación de riesgo.

La evaluación de series históricas suficientemente extensas para los peligros meteorológico, agrícola y “por sequía integrado” facilita, además, la confección de los mapas correspondientes a un período de n años, bien sean anuales o estacionales (período poco lluvioso, lluvioso, etc.), y con ello obtener una apreciación más acertada del potencial de “peligro” para cualquier localidad.

Estos cálculos constituyen una primera y novedosa aproximación al problema de la evaluación del *peligro por sequía*, y su aplicación práctica proporcionará la posibilidad de calibrar los umbrales y métodos de ponderación utilizados, así como evaluar de manera práctica la viabilidad y la fiabilidad de estos.

Referencias bibliográficas

- CENTELLA, A., LAPINEL, B., SOLANO, O., VÁZQUEZ, R., FONSECA, C., CUTIÉ, V., BÁEZ, R., GONZÁLEZ, S., SILLÉ, J., ROSARIO, P. & DUARTE, L. La sequía meteorológica y agrícola en la República de Cuba y la República Dominicana. Programa de Desarrollo de las Naciones Unidas (PNUD) en Cuba, 2007, 174.
- GIBBS, W. J. 1987, A Drought Watch System. WMO/TD-No.193 WCP-134 World Meteorological Organization, 23 pp.
- HAYES, M. J. 1996, Abstract “Drought Indices”, National Drought Mitigation Center, University of Nebraska-Lincoln, <http://enso.unl.edu/ndmc>. USA.
- HAYES, M. J. 1999, Abstract “Drought Indices”, National Drought Mitigation Center, University of Nebraska-Lincoln, <http://enso.unl.edu/ndmc>. USA.
- KERANG, L. 1993. Drought, desertification and their mitigation technology in the world. Report of the CCL Rapporteur on Drought and Desertification to the Eleventh session of the Commission of Climatology.
- JÜRGEN, V.V & FRANCESCA, S. 2000. Drought and Drought Mitigation in Europe. Advances in Natural and Technological Hazards Research, Dordrecht/Boston/London. Kluwer Academic Publishers, ISBN 0-7923-6589-5.
- LAPINEL, B., CUTIÉ, V., FONSECA, C. & BÁEZ, R. 2007. Sistema de diagnóstico, vigilancia y alerta temprana de la sequía. Guía de Técnicas y Procedimientos, Proyecto GEF-PNUD RLA/01/G31.
- MAKARAU, A. 1993. Reporte sobre sequía a la XI reunión de la Comisión de Climatología de la OMM, La Habana, Cuba.
- MCKEE, T. B., DOESKEN, N. J. & KLEIST, J. The relationship of drought frequency and duration to time scales. In: Preprints, Eight Conference on Applied Climatology., 1993 Anaheim, California, 179-184.
- OGALLO, L. J. 1989. Drought and Desertification. Report of the CCL Rapporteur on Drought and Desertification in Warm Climates to the Tenth session of the Commission for Climatology (Lisboa, April 1989) WCAP - 7 WMO / TD. World Meteorological Organization.
- ORGANIZACIÓN METEOROLÓGICA MUNDIAL. 1990, Vocabulario Meteorológico Internacional, OMM, no 182.
- RIVERO, R., BARGADOS, D., RIVERO, R. R., MARTÍNEZ, I. & PEÑA, J. 1999. Balances de radiación, hídrico y energético de la superficie activa. Índices climáticos principales y su relación con las precipitaciones y las sequías meteorológicas en Cuba.
- SOLANO, O., R. VÁZQUEZ, C. J. MENÉNDEZ Y J. A. MENÉNDEZ. 2000a, “Sistema Agrometeorológico Operativo para la Detección y Seguimiento de la Sequía Agrícola en Cuba”. En Actas de la Reunión de Expertos de las Asociaciones Regionales III y IV Sobre Fenómenos Meteorológicos Adversos, Caracas, Venezuela, 12-14 de julio de 1999, pp. 45-54.
- SOLANO, O., R. VÁZQUEZ, J.A. MENÉNDEZ Y M.E. MARTÍN. 2003a, “Modelo agroclimático de balance hídrico del suelo. Formulación y representación espacial”. Informe científico técnico de resultado

de investigación. Proyecto “Pronostico de peligro de incendios forestales su seguimiento y evolución, utilizando técnicas de observación terrestre y la percepción remota”, Instituto de Meteorología, La Habana, 30 p.

SOLANO, O., C. MENÉNDEZ, R. VÁZQUEZ Y J. A. MENÉNDEZ. 2003b, “Estudio de la evapotranspiración de referencia en Cuba”. Revista Cubana de Meteorología, Instituto de Meteorología, vol. 10, no. 1, pp. 33-38.

SOLANO, O., R. VÁZQUEZ, J.A. MENÉNDEZ Y M.E. MARTÍN. 2003c, “Modelo agroclimático para el cálculo del índice de humedecimiento modificado”. Informe científico técnico de resultado de investigación. Proyecto “Pronostico de peligro de incendios forestales su seguimiento y evolución, utilizando técnicas terrestres y la percepción remota”, Centro de Documentación Instituto de Meteorología, La Habana, 22 p.

SOLANO, O., R. VÁZQUEZ, C. MENÉNDEZ, J.A. MENÉNDEZ Y M.E. MARTÍN. 2005a, “Evaluación de la Sequía Agrícola en Cuba”. Revista Cubana de Meteorología, Instituto de Meteorología, vol. 12, no. 2, La Habana, pp. 3-14.

VÁZQUEZ, R. & SOLANO, O. 2009. Índice de susceptibilidad de ocurrencia de incendios en la vegetación. Disco compacto de las Memorias de la VII Convención Internacional sobre Medio Ambiente y Desarrollo, La Habana, 15 p.

Referencias complementarias

LAPINEL, B., C. FONSECA, V. CUTIÉ, D. PÉREZ, I. RIVERO, et al. 2003a, Monografía del Proyecto 0421. La sequía en Cuba (obra científica), Instituto de Meteorología, La Habana, 243 p., 12 a.

LAPINEL, B., C. FONSECA, V. CUTIÉ, D. PÉREZ, I. RIVERO, et al. 2003b, La sequía en Cuba. Capítulo I Monografía del Proyecto 0421 (obra científica), Instituto de Meteorología, La Habana, pp. 1-11, 1a.

VÁZQUEZ, R. & SOLANO, O. 2009, Índice de susceptibilidad de ocurrencia de incendios en la vegetación. Disco compacto de las Memorias de la VII Convención Internacional sobre Medio Ambiente y Desarrollo, La Habana, 15 p.

Agradecimientos

Se agradece a Amaury Álvarez Cruz (Agencia de Medio Ambiente, del CITMA) y Pedro Roura Pérez (INSMET), por la revisión del presente artículo.
