



Cultivos Tropicales

E-ISSN: 1819-4087

revista@inca.edu.cu

Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas

Cuba

Ponvert-Delisles Batista, Dámaso R.

ALGUNAS CONSIDERACIONES SOBRE EL COMPORTAMIENTO DE LA SEQUÍA
AGRÍCOLA EN LA AGRICULTURA DE CUBA Y EL USO DE IMÁGENES POR
SATÉLITES EN SU EVALUACIÓN

Cultivos Tropicales, vol. 37, núm. 3, 2016, pp. 22-41

Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas

La Habana, Cuba

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193246976003>

- ▶ Cómo citar el artículo
- ▶ Número completo
- ▶ Más información del artículo
- ▶ Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

Reseña bibliográfica**ALGUNAS CONSIDERACIONES SOBRE EL COMPORTAMIENTO
DE LA SEQUÍA AGRÍCOLA EN LA AGRICULTURA
DE CUBA Y EL USO DE IMÁGENES POR SATÉLITES
EN SU EVALUACIÓN****Review****Some considerations on the behavior of the agricultural drought
in the cuban agriculture and the use of satellite images in its evaluation****Dámaso R. Ponvert-Delisles Batista**

ABSTRACT. The agricultural drought has been classified as a “Silent disaster” that causes considerable impacts in the agricultural systems: in cultivations, grassland, livestock, soils dedicated to the production, etc. But not only in the agriculture, this also caused negative effects in the population, the economy and the environment. Their fundamental causes are given by the shortage of atmospheric humidity, the inadequacy of generating systems of rain or the persistence of a strong subsidence, or, to the combination of some of these factors whose should be studied in the context of the atmosphere general circulation. In Cuba, different events of droughts have taken place during long time that have been affected territories of almost the whole country causing millionaire losses for the impact in the agricultural production and environmental ecosystems, reason for which becomes necessary to know and to study the causes, the behavior and consequences of such phenomena, in order to create policies and confrontation strategies and early warning with a view to reduce and to mitigate their impacts and to guarantee the environmental sostenibility and the alimentary security. Given this background, the present work has the aim to show the state of this topic art through a series of aspects allow to characterize the behavior of this hydrometeorological phenomenon in our country and to international scale, highlighting the use of satellite images in its evaluation which constitutes an effective technological tool for its study and evaluation.

Key words: disasters, effects, agrarian systems, agriculture, natural phenomena

Universidad Agraria de La Habana, San José de Las Lajas, Mayabeque, Cuba.

✉ dponvert@unah.edu.cu

RESUMEN. La sequía agrícola ha sido calificada como un “desastre silencioso” que provoca impactos considerables en los sistemas agrícolas: en cultivos, pastizales, ganadería, suelos destinados a la producción, etc. Pero no solamente en la agricultura, también provoca efectos negativos en la población, la economía y el medioambiente. Sus causas fundamentales están dadas por la escasez de humedad atmosférica, la insuficiencia de sistemas generadores de lluvia o la persistencia de una fuerte subsidencia, o bien, a la combinación de algunos de estos factores, las cuales deben ser estudiadas en el contexto de la circulación general de la atmósfera. En Cuba, se han producido diferentes eventos de sequías a lo largo del tiempo, que han afectado a territorios de casi todo el país provocando pérdidas millonarias por el impacto en la producción agropecuaria y ecosistemas medioambientales, razón por la cual se hace necesario conocer y estudiar las causas, comportamiento y consecuencias de tales fenómenos, con vistas a fundamentar políticas y estrategias de enfrentamiento y aviso temprano dirigidas a reducir y mitigar sus impactos y garantizar la sostenibilidad ambiental y la seguridad alimentaria. Teniendo en cuenta tales antecedentes, el presente trabajo tiene como objetivo mostrar el estado del arte del tema a través de algunos tópicos que permiten caracterizar el comportamiento de dicho fenómeno hidrometeorológico en nuestro país y a escala internacional, destacando el uso de las imágenes por satélites en su evaluación, las cuales constituyen una efectiva herramienta tecnológica para su estudio y evaluación.

Palabras clave: desastres, efectos, sistemas agrarios, agricultura, fenómenos naturales

INTRODUCCIÓN

Como es bien conocido, el hombre desde sus propios orígenes, ha tenido que luchar contra los efectos de la sequía, la cual es un fenómeno extremo dentro de la variabilidad natural del clima. Con frecuencia, producto de los graves daños que produce sobre la población, la economía y el medio ambiente, unidos a la restringida capacidad de respuesta de dicha población para enfrentarlos acertadamente y recuperarse, los mismos llegan a alcanzar la categoría de desastre, incluso de dramáticas dimensiones (1).

En los últimos decenios la acrecentada influencia de la sequía ha dado lugar a que se le considere como uno de los mayores desastres naturales del mundo, el más frecuente y persistente, de mayores efectos negativos para la producción agrícola y, con impactos adversos reales sobre el medio ambiente^A.

Para Cuba, el impacto negativo de los persistentes y significativos eventos de sequía de corto y largo período acaecidos durante las últimas décadas, ha constituido un importante obstáculo en los esfuerzos por garantizar el bienestar de su población y el estable desarrollo de su economía, en especial la agricultura y la ganadería (2).

De ahí que el tema a tratar se centre en el planteamiento de las consideraciones más importantes según criterios del autor, sobre el comportamiento que ha tenido la sequía agrícola en Cuba a lo largo del tiempo y las tecnologías de Geoinformación que se pueden emplear en su evaluación y seguimiento.

Una investigación bibliográfica de este tipo es importante y necesaria para socializar estos aspectos en la comunidad académica y científica, máxime cuando justo en los meses de julio y agosto de 2015, se produjo un evento de sequía de los más notables ocurridos en el país. Justo por ello se ha planteado como hipótesis de la investigación que con el conocimiento de las causas y consecuencias de los eventos de sequía en Cuba, es posible trazar las estrategias y medidas para luchar contra los mismos.

Para ilustrar la seriedad del tema de investigación, se puede señalar que en 30 estaciones pluviométricas distribuidas por todo el país, tomadas de referencia, las anomalías negativas moderadas y severas de los acumulados anuales de las lluvias, se duplicaron en el período normal 1961-1990, respecto al treintenio anterior (1931-1960) (2).

Dando continuidad a estos sucesos, las afectaciones en los veranos de 1993, 1994, 1998 y 2000 fueron muy notables, aunque en esta década lo más destacable fueron los déficit persistentes ocurridos en las provincias más orientales, que prosiguieron hasta alcanzar el extraordinario evento de sequía sucedido entre el 2003 y 2005, gradualmente extendido por todo el país (1).

El impacto negativo de la sequía ocasionado en este evento, llegó a requerir en determinados momentos, la distribución de agua por varias vías alternativas a alrededor de dos millones de personas y causó cuantiosas pérdidas directas e indirectas en diversos sectores de la economía, severos daños ambientales e incontables dificultades a la población (2).

En esta situación han influido factores como la densidad poblacional de Cuba (102 hab km²) y la tenencia de un área agrícola que no rebasa el 63 % del territorio nacional, con pobres

características agro-productivas en sus suelos (3); además, de una limitada disponibilidad de recursos hídricos (4), los cuales configuran un escenario en el cual estos eventos deben atenderse con especial cuidado.

Unido a otros factores climáticos adversos que también incrementan su frecuencia, tales como episodios de precipitaciones extremas o fuertes vientos, la sequía puede convertirse en una importante causa de degradación del suelo, que no controlada, ocasiona el aumento de la aridez e incluso la desertificación. Al comparar las áreas que ocuparon las llamadas tierras secas en Cuba (sub-húmedas secas y semiáridas) en los períodos 1961-1990 y 1971-2000, investigadores cubanos (5) pudieron advertir un incremento del orden de las 146 000 ha, hecho que confirma la presencia y dimensión real de estos procesos.

Conocer claramente el concepto de sequía y las causas que la originan, tener una acertada percepción del peligro que la misma representa, así como establecer y ejecutar oportunas medidas de prevención y mitigación de sus impactos, respectivamente conforman la base para el correcto manejo de este fenómeno (1).

El Glosario de términos usados en la Agrometeorología de la Organización Meteorológica Mundial (OMM) (6), expresa que la sequía en su acepción tercera, se define como “un anormal período seco suficientemente prolongado para que la falta de agua cause un serio desbalance hidrológico (esto es, daños a los cultivos, carestía de agua, etc.) en las zonas afectadas”.

La sequía es un proceso lento, de desarrollo gradual y presenta pocas dificultades para determinar cuándo comienza y termina. Su impacto es muy variado, percibiéndose según el punto de vista del afectado. Por estas razones, algunos autores, entre ellos^B afirman que “recomendar

^A OMM. *Función de la Organización Meteorológica Mundial en el Decenio Internacional para la Reducción de los Desastres Naturales*. no. 745, Inst. Organización Meteorológica Mundial (OMM), 1990, Ginebra, Suiza, p. 32.

una definición única sobre la base de los distintos criterios existentes es una tarea inútil".

Según el mismo autor^B en la práctica existe tantas definiciones de sequía, como objetivos hay para definirlas. No obstante, un denominador común en todas las definiciones es la "escasez de precipitación" con respecto a un comportamiento "normal" de la misma. Como valor "normal de precipitación" se considera un valor promedio histórico obtenido a partir de una serie de datos pluviométricos de longitud determinada.

Una definición de sequía muy aceptada internacionalmente, es la contenida en los Términos de Referencia del Texto Oficial de la Convención Contra la Desertificación (7), en particular en África, donde por sequía se entiende "el fenómeno que se produce naturalmente cuando las lluvias han sido considerablemente inferiores a los niveles normales registrados, causando un agudo desequilibrio hídrico que perjudica los sistemas de producción de recursos de tierras", considerando los recursos de tierras todo el sistema bioprodutivo.

Debe distinguirse claramente que la sequía es un fenómeno transitorio y que en ello se diferencia sustancialmente de la aridez, que es una característica permanente del clima. Por otra parte, un período estacional que normalmente es de pocas lluvias, es también un proceso distinto de la sequía, aunque con bastante frecuencia se aprecia confusión entre ambos conceptos o se utilizan indistintamente. No pocos, además, asocian a la sequía únicamente con regiones secas; sin embargo, este fenómeno puede tener lugar, tanto en regiones muy lluviosas como poco lluviosas y prácticamente en todas las zonas del planeta y en este caso, cualquier parte del país. Entender bien estas diferencias es muy

importante a los efectos de su correcto manejo (1).

Generalmente la sequía suele enfocarse desde dos puntos de vista diferentes, *por sus condicionantes climáticas* (sequía meteorológica), es decir el carácter de la circulación atmosférica, las precipitaciones, la temperatura, evaporación, etc. o *por sus consecuencias*, ya sean de tipo agrícola, hidrológico o socio-económicas. Tratando de armonizar todo el amplio espectro de enfoques, los investigadores^B (8), establecieron cuatro tipos principales de sequías, a saber: meteorológica, agrícola, hidrológica y social o económica.

Sequía meteorológica, cuando la precipitación es muy inferior a lo esperado en una amplia zona y para un largo período; *sequía hidrológica*, que ocurre cuando hay un déficit continuo en la escorrentía en superficie y alcanza ésta un nivel inferior a las condiciones normales o cuando disminuye el nivel de las aguas subterráneas; *sequía agrícola*, cuando la cantidad de precipitación y su distribución, las reservas del agua en suelo y las pérdidas debidas a la evaporación se combinan para causar disminuciones considerables del rendimiento de los cultivos y del ganado, y *sequía socio-económica*, cuando la demanda de agua excede el suministro.

Es una combinación entre déficit de precipitación y las necesidades de la población o de las actividades productivas, la eficiencia en el uso del agua y de la tecnología disponible. Estos cuatro enfoques generales han sido favorablemente acogidos por la OMM y ampliamente divulgados.

Refiriéndose a la anterior clasificación citada por otros autores (1), opina^C que "si bien los cuatro tipos de sequías enumerados se distinguen por sus propias características de formación distintas, los factores que afectan a cada tipo están correlacionados" y afirma que "la sequía meteorológica es la más importante, por cuanto todos los otros tipos se derivan de la misma, y en particular de la escasez de precipitaciones".

En el contexto de 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 de este y del cultivo (especie, variedad, fase de desarrollo). Existe sequía agrícola, cuando la humedad del suelo en la rizosfera se encuentra en un nivel tal que limita el crecimiento y la producción del cultivo (9).

El resultado de ello es la disminución de los rendimientos agrícolas, condiciones inadecuadas de pastoreo, una baja rentabilidad de los trabajos y de las inversiones agrícolas, una menor disponibilidad de madera para la combustión, un incremento del peligro potencial de ocurrencia de incendios en la vegetación, un alto riesgo de desertificación y la ocurrencia de impactos socio económicos negativos ligados a la sequía, incluida la inseguridad en los suministros alimentarios (9).

No todos los episodios de sequía agrícola afectan a la vegetación de igual forma, su

^B Makarau, A. *Sequía, Variación climática y Desertificación*. Informe a la XI Reunión de la Comisión de Climatología de la Organización Meteorológica Mundial, Inst. Organización Meteorológica Mundial (OMM), 1993, La Habana, Cuba, p. 55.

^C Li, K. *Drought, desertification and their mitigation technology in the world. Report of the CCL*. Reporteur on Drought and Desertification to the Eleventh session of the Commission of Climatology, Inst. World Meteorological Organization (WMO), 1993, La Habana, Cuba, p. 30.

efecto depende del estrés hídrico en que se encuentren las plantas (intensidad), del tiempo en que estas condiciones hayan estado influyendo sobre ellas (duración) y de la superficie (extensión superficial) afectada (9).

Con los antecedentes planteados a modo de introducción, el primer objetivo del presente trabajo es resaltar el estado del arte del tema por medio de criterios y experiencias obtenidas como resultado del procesamiento y análisis de una amplia revisión bibliográfica, exponiéndolos en los distintos tópicos en que se estructura el mismo. Con tales criterios, conocimientos y experiencias se ha planteado un segundo objetivo que consiste en caracterizar el comportamiento y la evolución del fenómeno hidrometeorológico en nuestro país principalmente. Un tercer objetivo es proporcionar criterios y experiencias sobre el uso de las imágenes por satélites en su evaluación, seguimiento y manejo, las cuales constituyen una efectiva herramienta tecnológica para su estudio y evaluación.

EL CAMBIO CLIMÁTICO, LA AGRICULTURA Y LA SEQUÍA

Desde comienzo de la década de los 90, Cuba ha prestado atención al tema del cambio climático, incorporándolo desde entonces en su agenda ambiental. Los resultados de las investigaciones indican un incremento de la temperatura (entre 1,6 y 2,5 °C para el 2100); un mayor incremento de la temperatura en el verano (mayor que la esperada para el invierno); el comportamiento incierto de las precipitaciones; un aumento de la evaporación debido al aumento de temperatura, el cual favorecerá la aridez; y el aumento del nivel del mar (10).

Los estudios del cambio climático sobre la diversidad biológica realizados, expresan como de forma general se observan pequeñas variaciones en las condiciones futuras de los 39 distritos geográficos de Cuba; es decir, que según los escenarios proyectados, no se deben afectar considerablemente los ecosistemas naturales cubanos y estos deberán adaptarse paulatinamente a la nueva situación^D.

Las variaciones más significativas se describen para los distritos localizados en la zona oriental del país, coincidiendo con el macizo montañoso Nipe-Sagua-Baracoa, debido a la complejidad geomorfológica y biológica de esta región, que se refiere como la más sensible al cambio climático. La situación proyectada indica que puede haber variaciones en algunos ecosistemas, especialmente por el desplazamiento hacia zonas de mayor altitud de la franja costera semidesértica Maisí-Guantánamo (11).

El cambio global no afectará sólo los ecosistemas sino también su estructura, esto puede reflejarse en cambios sutiles en la composición de especies o en mayores cambios en el tipo de vegetación que cubre la tierra. Los modelos actuales predicen grandes cambios de vegetación para gran parte de América, en un escenario en el cual la concentración de CO₂ se eleva al doble. El cambio climático conlleva efectos sobre la vegetación que a su vez pueden modificar el clima. También se aprecia que los rayos ultravioletas ejercen un efecto negativo en los cultivos interfiriendo la fotosíntesis y reduciendo la producción^E.

^D UNEP. *Biodiversidad*. UNEP: Impacto del cambio climático y medidas de adaptación en Cuba, no. FP/cp/2200-97-12, 1999, La Habana, Cuba, p. 32.

^E IPF. *Los Cambios Globales*. Los asentamientos humanos, el uso de la tierra y los Cambios globales en Cuba, Proyecto 01304089, Inst. Instituto de Planificación Física (IPF), 2001, La Habana, Cuba, p. 35.

La tendencia observada en el clima de Cuba ha ejercido un impacto negativo sobre la actividad agrícola y los bosques. El ascenso de la temperatura ha estado acompañado de una reducción del total de las precipitaciones anuales del 10 al 20 % y éstas han estado disminuyendo en el período lluvioso del año (mayo-octubre) y aumentan en el período poco lluvioso (12).

Las proyecciones del clima y su efecto sobre la agricultura han sido estudiadas por investigadores^F considerando que las condiciones climáticas darán lugar al aumento de la evapotranspiración potencial y a tendencias desfavorables en el ciclo hidrológico, con disminución de los valores de humedad del suelo y mayor grado de aridez que tendrá su máxima expresión en la zona oriental del país; además, se espera un aumento de la frecuencia, duración y severidad de los episodios de sequía.

En cuanto a los rendimientos agrícolas, diversos autores señalan que como tendencia, el cambio climático impactará negativamente en ello afectando numerosos cultivos y provocando disminuciones progresivas a todo lo largo del siglo XXI (13). Se aprecia que esta reducción alcanzará valores del 10 al 25 % para la mayoría de los cultivos para el 2100 con relación a los rendimientos actuales. Específicamente para la caña será entre el 5 y el 10 % y para la papa entre el 45 y 50 %. La evapotranspiración de los cultivos disminuirá en general y los rendimientos de los cultivos de secano disminuirán entre un 15 y 30 %.

En lo que respecta a las plagas y enfermedades las condiciones climáticas proyectadas traerían como consecuencia la modificación sustancial del comportamiento de las mismas en los cultivos.

^F INSMET. *Agricultura y Silvicultura*. Impacto del cambio climático y medidas de adaptación en Cuba, Proyecto FP/cp/2200-97-12, Inst. UNEP/INSMET, 1999, La Habana, Cuba, p. 47.

Enfermedades como el tizón tardío de la papa y el moho azul del tabaco, las cuales han sido muy dañinas en la región occidental del país, disminuirán su importancia, pero podrían ser reemplazadas por otras mejor adaptadas a las condiciones esperadas. Podría incrementarse el *Thrips tabacci* en el ajo y ocurrirlo lo mismo con la Palomilla del Maíz, que es incontrolable en época de sequía (13).

LA SEQUÍA COMO FENÓMENO HIDROMETEOROLÓGICO

Al igual que otros fenómenos atmosféricos, la sequía debe ser estudiada en el contexto de la superposición de señales climáticas de diferentes frecuencias, magnitudes y orígenes (intraestacionales, estacionales, hiperanuales, decadales, etc.). Refiriéndose a la complejidad de los procesos que en primera instancia causan la sequía, los científicos (14), enuncian muy acertadamente que los mismos pueden estar vinculados a “la escasez de humedad atmosférica, la insuficiencia de sistemas generadores de lluvia o la persistencia de una fuerte subsidencia, o bien, a la combinación de algunos de estos factores, cuyas causales deben ser estudiadas en el contexto de la circulación general de la atmósfera”.

Por otra parte, científicos cubanos^G han señalado que en las últimas décadas, el clima de Cuba ha experimentado notables alteraciones, como consecuencia de “un elevado nivel de respuesta de la circulación atmosférica regional a los principales cambios del Sistema Climático ocurridos a escala global”. Los principales cambios se han detectado desde

finales de los años 70, coincidentes con las significativas modificaciones de carácter global que se han producido en las temperaturas del aire y del mar en superficie.

En correspondencia con lo anterior, importantes variaciones en el régimen anticiclónico sobre la región, producto de la progresiva intensificación de la dorsal anticiclónica del Atlántico, han sido comprobadas en otras investigaciones^{H, I, J}. Este es un proceso que desfavorece los mecanismos productores de precipitación, básicamente durante el período estacional lluvioso.

En este mismo aspecto, el estudio de las características de la circulación atmosférica sobre Cuba en condiciones extremas secas, durante los años de la década de los 70 hasta la actualidad, evidencian el destacado rol de las variaciones en posición, morfología e intensidad del anticiclón oceánico en la troposfera baja y media y el anticiclón mexicano de verano en la troposfera media y alta en estas circunstancias.

De hecho, las anomalías de las alturas de las superficies de presión y de las velocidades y sentido de los movimientos verticales de masas de aire, en los distintos niveles troposféricos de esta región geográfica, asociadas a dichas variaciones, entre otros parámetros, explican los más recientes y persistentes procesos de sequía acontecidos,

principalmente en la parte oriental de Cuba^{K, L, M} (2, 11, 15).

En estrecha coherencia con todos estos aspectos, el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático en su cuarto informe (16), acápite RT.6.2 “*Observaciones sobre los cambios climáticos*”, considera como un hallazgo sólido que “desde la década de los 70 las sequías son muy comunes, principalmente en los trópicos y subtrópicos”. Por otra parte, el acápite RT.6.4.3 “*Proyecciones Mundiales*”, consigna también como hallazgo sólido que “los cambios en las precipitaciones muestran pautas sólidas a gran escala: generalmente las precipitaciones aumentan en la máxima tropical de precipitaciones, disminuyen en los subtrópicos y aumentan en latitudes altas debido a una intensificación general del ciclo hidrológico”.

Se estima en este mismo informe, que dado el notable incremento de la temperatura, podría ocurrir una intensificación y expansión de los procesos de aridez y sequía, aún en los casos donde se produzcan aumentos en la lluvia, como consecuencia de las altas tasas de evaporación.

^K Lapinel, P. B. P.; Centella, A. A.; Fonseca, R. C. y Cutié, C. V. *La Sequía en Cuba. Componente Meteorológico*. Análisis y pronóstico del tiempo y el clima terrestre y espacial, Proyecto 4072, Inst. Instituto de Meteorología, Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medioambiente (CITMA), 2007, La Habana, Cuba, p. 317.

^L Lapinel, P. B. P.; Fonseca, R. C.; Cutié, C. V. y Rouco, D. B. *Movimientos troposféricos verticales sobre Cuba y sus características en condiciones de lluvias medias y extremas durante el período estacional lluvioso*. Inst. Centro del Clima, Instituto de Meteorología del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente, 2007, Ciudad de La Habana, Cuba, p. 16.

^M Rodríguez, C. M.; Pérez, A. L.; Boquet, A.; Favier, L.; Lapinel, B.; Centella, A.; Fonseca, C. y Cutié, V. *Impacto, vulnerabilidad y adaptación a las condiciones de sequía en el norte de la provincia de Las Tunas* [en línea]. Observatorio Geográfico de América Latina, 2006, [Consultado: 28 de abril de 2016], Disponible en: <<http://observatoriogeograficoamericalatina.org.mx/egal11/Procesosambientales/Proteccioncivil/08.pdf>>.

^G Centella, A. A.; Naranjo, D. L. R. y Paz, C. L. R. *Variaciones y cambios del clima en Cuba*. Inst. Centro Nacional del Clima, Instituto de Meteorología (INSMET), Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medioambiente (CITMA), 1997, La Habana, Cuba, p. 59.

^H Brenes, M. A. y Jiménez, R. M. V. *Cambios en la circulación general y su influencia en la tendencia de la precipitación en América Latina*. Inst. Departamento de Información, Instituto Meteorológico Nacional, 1993, Costa Rica, p. 62.

^I Naranjo, D. L. R. y Centella, A. A. *Mecanismos de Circulación de la Atmósfera en la América Tropical*. Inst. Centro del Clima, Instituto de Meteorología (INSMET), Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medioambiente (CITMA), 1999, La Habana, Cuba, p. 48.

^J Fonseca, R. C. F. *Cambios en la posición e intensidad del Anticiclón del Atlántico y modificación del régimen de las lluvias en la región del Caribe*. [Tesis de Maestría], Instituto Superior de Ciencia y Tecnología de Avanzada (InsTec), 2001, La Habana, Cuba, 48 p.

Todos estos elementos sustanciales relacionados con el cambio climático, pueden ser vistos igualmente, como parte del problema actual y el gran desafío que debemos afrontar en el futuro (16).

La manera imperceptible en que se manifiesta la sequía y el hecho de que un mismo evento impacte muy variadamente sobre los distintos sectores sociales, económicos o medio ambientales, con toda lógica inducen a que se generen simultáneamente múltiples percepciones del fenómeno. Por esto, no sorprende que en la literatura internacional exista una abundante cantidad de índices para el cálculo de la sequía meteorológica, agrícola, hidrológica, edáfica, ecológica, social-económica, entre otras, por lo general, todos muy bien argumentados y de gran valor teórico y práctico en sí mismos (2).

Paradójicamente, esta profusión de índices, que sin dudas constituye una fortaleza en la temática, más que favorecer ha influido negativa y sensiblemente en la disponibilidad de una equilibrada interpretación y un enfoque integrado del peligro que este nocivo fenómeno representa potencialmente y con ello el establecimiento de una acertada y oportuna evaluación del "Riesgo por Sequía" (16).

En muchos países, estas características de la sequía han impedido y dificultado la realización de estimaciones oportunas y atinadas de su grado de peligrosidad, obstaculizando la elaboración de los planes de enfrentamiento, en comparación con otros fenómenos perjudiciales. En Cuba, los episodios más recientes de sequía, han puesto de relieve la necesidad de fortalecer los esfuerzos por desarrollar metodologías integradas que coadyuven a optimizar la percepción del "Peligro por Sequía" y con ello los planes de reducción de riesgos (16).

En el país se dispone de condiciones, cada vez más favorables, para organizar una buena estrategia y un plan efectivo para el enfrentamiento de la sequía. La voluntad política del Estado y del Gobierno, es materializada en los Planes de Reducción de Desastres encauzados mediante la Directiva No.1 del Presidente del Consejo de Defensa Nacional (17), la cual orienta de modo preciso la adopción progresiva de todo un conjunto de medidas dirigidas a organizar y garantizar sólida e integralmente las actividades relativas al enfrentamiento a la sequía y con ello reducir en todo lo posible el riesgo ante estos indeseables eventos.

Se cuenta con el Programa Nacional del Medio Ambiente y Desarrollo en la República de Cuba (PNMAD) (18), el cual se elaboró por necesidad del país y en respuesta a lo tratado en la Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación en los países afectados por sequía grave o desertificación (CCD) (7), documento elaborado por las Naciones Unidas y ratificado en 1996. Este plan ha trazado estrategias y se ha empeñado en identificar, coordinar y ejecutar acciones desde los niveles nacionales hasta locales, para enfrentar estos fenómenos integralmente. Los esfuerzos realizados también se han dirigido a desarrollar sinergias con otras convenciones ambientales y satisfacer el cumplimiento de compromisos internacionales relativos a esta Convención.

Entre las muchas acciones preventivas para enfrentar la sequía, recogidas en el Programa de Acción Nacional^N, pueden mencionarse la adopción de prácticas de laboreo adecuadas

para la protección de los suelos, la introducción de variedades de cultivo más resistentes al déficit hídrico, las cuales pueden disminuir sensiblemente sus efectos al retener el agua de los suelos y limitar la transpiración, el perfeccionamiento de las medidas de protección y aprovechamiento de los recursos hídricos; así como, la diseminación de información veraz y oportuna de los Sistemas de Alerta Temprana disponibles hasta los sectores claves.

Cabe destacar que los Institutos de Meteorología (INSMET) y Recursos Hídricos (INRH) disponen de Sistemas de Alerta Temprana para la Sequía, que se han diseñado sobre la base de técnicas computacionales de avanzada y de los estándares internacionales requeridos para estos propósitos. Sus funciones básicas han sido identificar y alertar tempranamente del inicio de cualquier evento de sequía, seguir su desarrollo, evaluar sus características, estimar la posible evolución del mismo y determinar su fin. Los mismos se mantienen en constante perfeccionamiento y poseen los medios tecnológicos básicos para garantizar establemente su funcionamiento operacional. El progresivo fortalecimiento de las capacidades disponibles para efectuar predicciones a escala estacional de las lluvias, basadas en el diagnóstico de los factores que regulan la variabilidad climática en la región y en modelos nacionales de predicción, permiten actualmente mejorar las estimaciones relacionadas con la evolución de los procesos de sequía y satisfacer variados intereses hidrológicos y agrícolas, entre otros^O.

No obstante estos avances, las exigencias actuales demandan que el tema de la sequía, sea examinado con un enfoque

^N Urquiza, R. N.; Peña, V. F.; Herrero, E. G. y Febles, G. *Comité de Revisión sobre la Implementación de la Convención (CRIC) de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación y la Sequía. III Informe Nacional de la República de Cuba, Inst. Agencia de Medioambiente (AMA), Ministerio de Ciencia Tecnología y Medioambiente (CITMA), 2006, La Habana, Cuba, p. 49.*

^O INSMET. *La Sequía. Causas, Percepción y Enfrentamiento*. Inédito, 2010, 10 p.

amplio, debidamente estructurado para la gestión de riesgos. Por tanto, se requiere considerar gradualmente otros parámetros de perfiles ecológicos, edáficos y socioeconómicos; además, de los climáticos e hídricos, a los efectos de identificar proactiva o anticipatoriamente las zonas de mayor propensión y vulnerabilidad.

Los estudios de peligro, vulnerabilidad y riesgos de la sequía con este nuevo enfoque ya están en marcha y constituirán para los planificadores y decisores una herramienta de gran relevancia. En el contexto del cambio climático, las acciones dirigidas a la reducción de los efectos de la sequía, deben estar también simultáneamente coordinadas con la implementación de estrategias y medidas de adaptación que se llevan a cabo por este otro concepto y ajustadas a sus reales dimensiones físicas, ambientales, económicas y sociales^O.

LOS PROCESOS DE SEQUÍA MÁS IMPACTANTES EN CUBA DE 1960 HASTA 2005 Y SUS CAUSAS

Para comprender el origen de los procesos de sequía en Cuba, hay que partir del hecho de que el clima en las últimas décadas ha experimentado notables alteraciones, como consecuencia de un elevado nivel de respuesta de la circulación atmosférica regional a los principales cambios del sistema climático ocurridos a escala global^G, de acuerdo con las cuales, generan impactos muy desfavorables en los ámbitos económico, social y el medio ambiente^{G, H}.

En particular, diversos autores han señalado la influencia anticiclónica sobre la región, producto de la intensificación de la dorsal anticiclónica del Atlántico, proceso que consiste en un paulatino incremento en la

intensidad de la corriente zonal del Este, desfavoreciendo los mecanismos productores de precipitación, principalmente en el período estacional lluvioso, producto del incremento de las corrientes atmosféricas descendentes y la disminución de las ascendentes, todo lo cual se le vincula estrechamente a la variabilidad climática^{G, H, I, J}.

Se considera que los cambios más trascendentales en las características de la influencia anticiclónica en el área, se han detectado desde mediados de la década de los años 70, en coincidencia con la presencia de importantes y continuadas anomalías positivas en las temperaturas del aire en superficie a nivel global y de la temperatura del mar en la región trópico. En este sentido el INSMET^I ha señalado que entre estos cambios se destaca la progresiva y acentuada penetración de la cuña anticiclónica oceánica sobre el archipiélago cubano en niveles troposféricos bajos y medios; así como, una mayor influencia del anticiclón mexicano de verano en la troposfera, aspectos estos que requieren la mayor atención, para determinar los principales agentes causales de los graves procesos de sequía ocurridos en Cuba y en particular la región oriental del país en los años más recientes.

En Cuba, los eventos de sequía moderada y severa se duplicaron en el período normal 1961-1990, respecto al período anterior (1931-1960) y en la década de los años 90 con pérdidas notables (1). Mientras tanto, entre el 2001 y 2005 el déficit significativo de lluvias se produjo en la región oriental del país a continuación de los déficit del año hidrológico 1997-98, con la particularidad de que en el período estacional lluvioso, el déficit se inició desde el mismo comienzo de la década de los 90, siendo la provincia Las Tunas la más afectada.

En esta región el incremento del grado de aridez del recurso tierra en los últimos años y la coincidencia con el comportamiento de las proyecciones resultantes de aplicar los modelos de cambio climático para Cuba, explican la causa de los graves y persistentes eventos de sequía del período 2003 al 2005; catalogado como el más intenso en los últimos 100 años en el territorio nacional, con impactos dramáticos para las actividades agropecuarias, la pesca, el medio ambiente y la población residente en los territorios; quienes perdieron en lo fundamental las disponibilidades de agua potable para desarrollar sus actividades, ante lo cual, la reacción fue inmediata, se implementaron repuestas ágiles, temporales y definitivas para disminuir la situación creada en los territorios afectados^M.

Mediante el proyecto de investigación del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) de título *“Fomento de las Capacidades para la Etapa II de Adaptación al Cambio Climático en Centroamérica, México y Cuba”* se desarrolló el estudio científico del fenómeno sequía en la provincia Las Tunas, ubicada en el sector oriental del país que constituyó el territorio caso de estudio. Durante el desarrollo de la investigación se perfeccionaron las metodologías de análisis existentes para lograr, mediante un amplio proceso participativo, precisar el nivel de impacto y vulnerabilidad en los sectores campesino y poblacional y la determinación de la capacidad de respuesta existente en cada sector analizado y en el territorio en su conjunto.

En dicha provincia, la magnitud del déficit acumulado en los años hidrológicos comprendidos entre 1991 al 2005 llegó a acumular 1300 mm; se produjo entonces un régimen de precipitación anual de 1038 mm que constituyó un record absoluto.

El evento de sequía iniciado en mayo de 2003 y que afectó la mayor parte del país hasta mayo de 2005 (cuatro períodos estacionales consecutivos), generó los registros de lluvias más bajos de los últimos 100 años en Cuba, principalmente en su mitad oriental. Este evento afectó importantes áreas de las provincias orientales en el período estacional lluvioso de 2005; mientras eran abundantes las precipitaciones para la mayor parte del país, producto de la influencia directa de la tormenta tropical *Arlen* en junio y el huracán *Dennis* en julio, así como la influencia cercana de los huracanes *Katrina* en agosto, *Rita* en septiembre y *Wilma* en octubre, en la temporada ciclónica más activa de la historia en el Atlántico y el Caribe^M (2).

Coincidientemente con la recurrente incidencia de eventos de sequía sobre la mitad oriental del país, se pudo constatar una discreta expansión de las tierras secas (semiáridas y subhúmedas secas) al comparar el comportamiento anual del Índice de Arídez (P/E0) en Cuba, durante los períodos normales 1961-1990 y 1971-2000. Esta expansión alcanzó 1464 km² (146 400 ha), los cálculos adicionales indican que en las provincias de Las Tunas y Holguín se produjo el 52 % de todo el incremento registrado (2, 9).

Por su parte, las regiones central y occidental de Cuba pudieron recuperarse completamente del déficit de aguas acumulados desde el año 2003, aun cuando el período estacional poco lluvioso 2005-2006 (noviembre-abril) se comportó extremadamente seco para todo el país, reiniciándose el proceso de sequía interrumpido temporalmente en zonas del occidente y se prolongó la extensión temporal del mismo en otras (2, 19).

En resumen, se advierte que el incremento de la variabilidad climática, apreciada en Cuba

desde mediados de los años 70 del siglo pasado, consistente con los cambios observados en una mayor escala, se manifiesta con importantes alteraciones en los patrones sinópticos típicos que influyen sobre la región, entre otros procesos.

Se demuestra que la superposición de condiciones marcadamente anticiclónicas en toda la troposfera (el anticiclón oceánico en los niveles bajos y medios, así como el anticiclón mexicano de verano en los niveles altos), con mayor interacción sobre la mitad oriental de Cuba, produce fuerte subsidencia que inhibe los procesos convectivos y en consecuencia el establecimiento de la sequía. Se destaca el impacto ambiental natural de la sequía, con la progresiva expansión de las tierras secas en dicha región (2).

Abundando en el tema, diversos autores (9, 20) muestran algunos de los períodos de sequías más importantes que han afectado a Cuba: 1870-1871, 1875-1876, 1879-1880, 1897-1898, 1906-1907, 1922-1923, 1944-1945, 1955-1956 y 1961-1962. Otros autores refieren que al estudiar el período 1961-1990 se observó una intensificación de la componente "Este" del viento y un incremento significativo en el número o la intensidad de las sequías, las cuales registraron un aumento considerable en el número de casos extremos^{H, P} (1).

Para ilustrar la gravedad del problema, se puede destacar que en Cuba, los eventos de sequía moderada y severa se duplicaron en el período normal 1961-1990, respecto al período anterior 1931-1960 (1).

En la década de los años 90 las afectaciones ocurridas en los veranos de 1993, 1994, 1998 y 2000 fueron muy notables, siendo el suceso de 1998 el más intenso para el período abril-mayo-junio registrado en las estadísticas del Centro del Clima disponibles desde el año 1941^Q.

El evento de sequía de corto período ocurrido de abril a julio de 1998, se manifestó sensiblemente en todo el país y en algunos municipios de la región oriental (frecuentemente afectados por sequía), su impacto nocivo alcanzó la categoría de desastre, generando innumerables daños y molestias en la población local, que implicaron incluso, migraciones temporales. Las pérdidas económicas sólo en estas áreas, en cifras oficiales, alcanzaron cerca de cuatrocientos millones de dólares norteamericanos y varios cientos de millones de pesos cubanos (1).

En la Tabla I se exponen algunos indicadores de la sequía agrícola (5), con los cuales pueden ser comparados los diferentes episodios identificados en las distintas regiones del país (9).

En cuanto a las sequías significativas en el trienio 1961-1990 en Cuba, es necesario señalar que los déficit moderados y severos en los acumulados anuales de las lluvias se duplicaron respecto al treintenio anterior (1), al propio tiempo que persistentes eventos de sequía afectaron a las provincias orientales desde principios de los años 90, acentuándose los mismos significativamente desde 1996 hasta el presente.

^HCentella, A. A.; Llanes, R. J. F.; Paz, C. L. R.; López, C. C. y Limia, M. M. E. *Primera Comunicación Nacional de Cuba a la Convención Marco de Las Naciones Unidas sobre Cambio Climático*. Inst. Instituto de Meteorología (INSMET), Agencia de Medio Ambiente (AMA), Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medioambiente (CITMA), 2001, La Habana, Cuba, p. 166.

^QLapinel, P. B. P.; Fonseca, R. C.; Cutié, C. V.; Pérez, B. D. y Rivero, L. I. *La Sequía en Cuba. Análisis y Pronóstico del Tiempo y el Clima y sus implicaciones socioeconómicas*, Proyecto 0451, Inst. Instituto de Meteorología, Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medioambiente (CITMA), 2003, La Habana, Cuba, p. 243.

Tabla I. Indicadores correspondientes a los episodios de sequía agrícola de carácter nacional diagnosticados durante el periodo 1951-2005

Período de sequía	Clasificación	Año de mayor afectación	Superficie afectada del país (%)	Con intensidades de "severa" y "muy severa"	Regiones más afectadas
1951-1952	Largo período	1951	66	92	Central y Oriental
1955-1956	Largo período	1956	68	88	Central y Occidental
1961-1963	Hiperanual	1961	68	91	Central y Oriental
1965	Corto período estacional	1965	64	89	Oriental y Central
1967	Largo período	1967	63	86	Oriental y Central
1970-1971	Largo período	1971	63	87	Central y Oriental
1974-1976	Hiperanual	1975	82	84	Central y Oriental
1981	Largo período	1981	63	87	Central y Oriental
1984-1987	Hiperanual	1986	70	90	Oriental y Central
1989-1990	Hiperanual	1989	68	76	Oriental y Central
1993-1994	Corto período estacional	1994	42	86	Occidental
1998	Corto período	1998	53	87	Oriental
2000-2001	Largo período	2000	41	93	Oriental y Central
2003-2005	Hiperanual	2004	66	67	Oriental y Central

En tal sentido, cabe señalar el comportamiento de las anomalías acumuladas de las lluvias en los años hidrológicos comprendidos entre 1991-1992 y el 2004-2005 para las regiones de occidente y centro del país, apreciándose importantes déficit presentados en los dos últimos años.

Sin embargo, en la región oriental del país, los acumulados anuales han presentado déficit continuados desde el año 1996, con la particularidad de que los correspondientes al período estacional lluvioso se iniciaron desde los mismos comienzos de la década de los 90. Entre las provincias orientales, Las Tunas ha sido una de las más fuertemente impactadas. Los años hidrológicos de acumulados insuficientes se iniciaron casi simultáneamente con los déficit sucedidos en los períodos lluviosos iniciados en la década de los años 90 (2).

Las magnitudes del déficit en los años hidrológicos desde 1991 al 2005 llegaron a acumular 1300 mm, mientras que en el período estacional lluvioso, los mismos alcanzaron cerca de los 1200 milímetros.

Tales déficit, dadas las escasas magnitudes del régimen de precipitaciones en Las Tunas, constituyeron cifras no solamente altamente significativas, sino también record absoluto en sus registros areales disponibles desde 1961 (2, 9).

Evento de sequía acontecido desde mayo del 2003 a abril de 2005 (24 meses consecutivos), constituye uno de los más intensos que se haya conocido, desde que se dispone de registros confiables de lluvia en el país, el cual tuvo un gravísimo impacto en amplios sectores de la sociedad, la economía y el medio ambiente. Estadísticas oficiales, afirman que los daños directos a la economía, originados por este evento rebasaron los 1,4 mil millones de dólares norteamericanos. El déficit del año hidrológico mayo 2004-abril 2005, califica como el más significativo desde 1962 para Cuba y en particular para sus regiones central y oriental, mientras que el déficit acumulado en estos dos últimos años fue el más significativo para la región oriental, incluyendo Las Tunas (1, 9, 21).

LOS PROCESOS DE SEQUÍA MÁS IMPACTANTES EN CUBA DEL 2005 AL 2014 Y SUS CAUSAS

Entre los aspectos más sobresalientes vinculados a las causas de los procesos de sequía en Cuba algunos autores^R (22) de modo general, señalan lo siguiente:

- ♦ Significativos incrementos en las alturas geopotenciales medias anuales de las principales superficies de presión, observados a partir de mediados de los años 70 en la región central del anticiclón del Atlántico y Cuba. Esto coincide con los cambios acontecidos en la temperatura global del aire y de la superficie del mar en la región del trópico, constituyendo un proceso coherente con la inhibición de las lluvias y en consecuencia del establecimiento de los persistentes procesos de sequía que afectan esta región.

^R INSMET. *Causas de la sequía en Cuba y su pronóstico*. Informe de Resultado científico-técnico, 2000, La Habana, Cuba, p. 112.

- ◆ Existencia de una fuerte relación entre la marcada polaridad en la frecuencia de ocurrencia de las fases cálidas y frías de los eventos ENOS (*El Niño-Oscilación Sur*) antes y después de los años 70 y los importantes cambios operados en la circulación atmosférica sobre el área, favorables al desarrollo de los procesos de sequía.
- ◆ Cambio significativo en condiciones extremas secas durante la primera fase del período lluvioso (mayo-junio), de las características típicas de la influencia antíclónica sobre Cuba, siendo posible advertir que la vaguada de niveles medios, que para este período se establece normalmente en la región central del Golfo de México, en tales condiciones, se desplaza hacia el occidente o no se haya presente, predominando un centro antíclónico sobre Cuba.
- ◆ Las características de la estructura vertical de las componentes zonales y meridionales del viento durante la primera fase del período lluvioso sobre Cuba, los que indican que en condiciones secas hay una mayor presencia en la tropósfera alta de las componentes del Este y del Norte, respectivamente, favoreciendo los procesos de sequía.
- ◆ La existencia de una relación estadística significativa entre las lluvias y el contenido integral de vapor de agua en la atmósfera sobre Cuba, tanto para la primera fase del período lluvioso como el resto de meses de todo el año. Su variación de uno a otro mes se asocia al grado de eficiencia del proceso de la lluvia, probablemente vinculada a la intensidad variable de la influencia antíclónica y de los sistemas generadores de precipitación en el área.

◆ La gran variabilidad en frecuencia, trayectorias y características de la pluviosidad de los distintos sistemas ciclónicos que afectan el archipiélago cubano, los que hacen sumamente compleja la tarea de vincular los mismos al fenómeno de la sequía propiamente. No obstante, no caben dudas respecto al rol que los procesos ciclónicos juegan en el aporte al acumulado anual de las lluvias, que de no estar presentes, generan un déficit de consideración que puede contribuir en el desarrollo del fenómeno de la sequía en sus diferentes escalas espacio-temporales.

Específicamente en el período comprendido entre 2009 y 2014, cabe señalar, de acuerdo con un estudio realizado por especialistas del Centro de Meteorología Agrícola del Instituto de Meteorología (INSMET)^R, cuál fue la tendencia hiperanual del área cubierta con sequía agrícola en el país. El autor ha destacado que, a pesar de que al cierre del 2013 el país presentaba el 67 % del área afectada con presencia de sequía agrícola, la tendencia desde el 2009 es a su disminución; lo mismo sucede en el período lluvioso (Pll), cuya tendencia también es a la disminución; no obstante, en el período poco lluvioso (Ppll) se invierte el

comportamiento, cerrando en 2014 con un área afectada del 81 %, representando el 9 % del país más afectado respecto a la sequía de 2009-2010 (Figura 1)^S.

En estudios realizado^R (22), se pudo constatar que en el período analizado los valores se mantienen por encima de los promedios históricos del área afectada por sequía agrícola, excepto en los años 2011 y 2012 del período lluvioso, cuyo comportamiento fue inferior a los promedios históricos. Similar comportamiento se observó en las regiones occidental y central mientras que en la región oriental la tendencia anual y por períodos es al ascenso (Figura 2)^S.

Estos mismos autores señalan^R (22) que en el período de 2009 al 2010, la sequía afectó al país, en cada uno de los años, impactando con rigor a las provincias de Pinar del Río, Mayabeque, Artemisa, La Habana, Cienfuegos, Sancti Spíritus y Santiago de Cuba y más recientemente, durante el 2013 los territorios más afectados fueron Pinar del Río, La Habana, Las Tunas, Santiago de Cuba y Guantánamo.

^S Vázquez, M. R. *Sequía agrícola. Comportamiento durante el 2009 al 2014. Comparación con el promedio histórico.* Informe científico-técnico, Inst. Centro de Meteorología Agrícola, Instituto de Meteorología, 2014, La Habana, Cuba, p. 25.

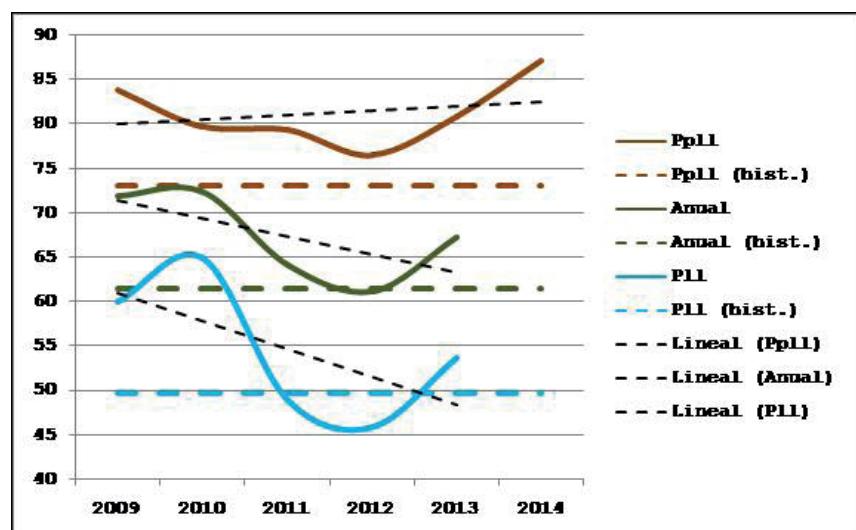


Figura 1. Tendencia hiperanual nacional del área cubierta con sequía agrícola en el período 2009-2014

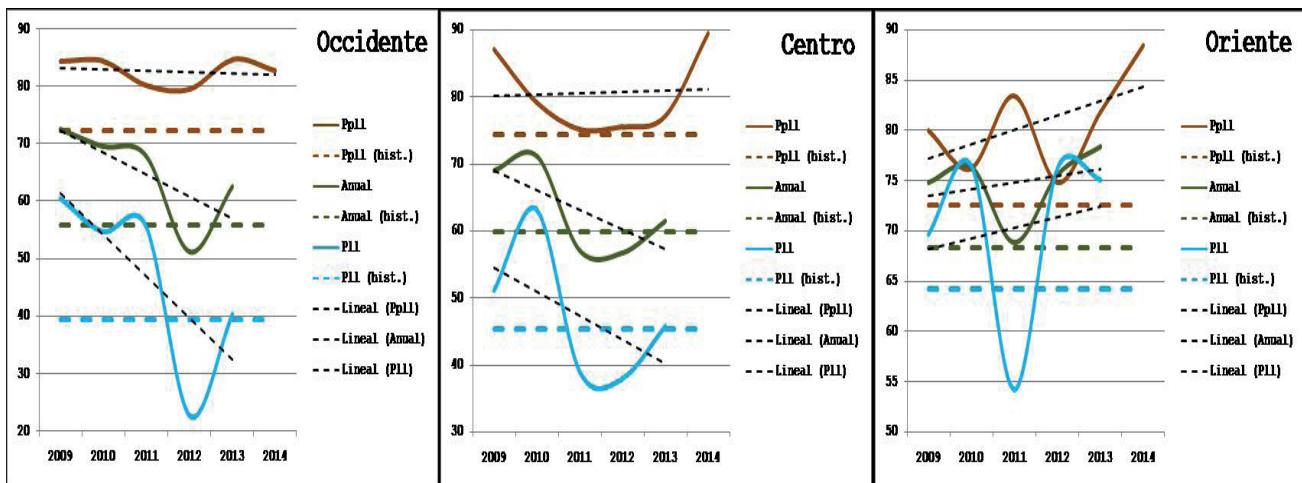


Figura 2. Tendencia hiperanual del área cubierta con sequía agrícola en el período 2009-2014 por regiones

Por otro lado, vale destacar que el período poco lluvioso -en la serie analizada-, se comportó de manera general más seco de lo normal y particularmente en el 2014, encontrándose las mayores áreas afectadas en los territorios de Matanzas, Cienfuegos, Ciego de Ávila, Camagüey, Las Tunas, Santiago de Cuba, Guantánamo y la Isla de la Juventud. Sin embargo, los años 2011 y 2012 resultaron más húmedos de lo normal.

En el período lluvioso de 2013 Santiago de Cuba y Guantánamo presentaron afectaciones por encima de lo normal hasta en un 30 %.

En cuanto al comportamiento de temporal de la sequía agrícola en el país, el estudio permitió verificar que la duración anual de la sequía agrícola promedio histórico fue de aproximadamente 57 % de las 36 décadas; sin embargo, para el período poco lluvioso y lluvioso la duración de la sequía agrícola promedio histórico es de aproximadamente 73 y 47 % respectivamente de las 18 décadas que cubre el período temporal. Para los años 2009, 2010 y 2011 la duración fue de 67, 69 y 61 % respectivamente, mientras que el 2013 fue de 58 % muy cercano a la norma y el 2013 de 64 %^R (22).

LOS IMPACTOS DE LA SEQUÍA EN LA AGRICULTURA

Los efectos de la sequía pueden ser sentidos a corto y a largo plazo, afectando no sólo las actividades productivas del campo, como la agricultura y la ganadería; sino también, a actividades industriales básicas y al bienestar y la salud de los habitantes de las comunidades rurales y urbanas.

Tales efectos de la sequía están relacionados principalmente con la falta de agua, los cuales se ven agravados por otros factores asociados con la escasez de humedad, que cuando ocurren, hace más crítica la situación. Entre otros se encuentran los siguientes: altas o bajas temperaturas, vientos huracanados, incidencia de ciertos patógenos, lluvias torrenciales después de períodos secos, degradación de la cubierta vegetal, descuido y deterioro en los cauces naturales del agua^R (5, 19, 23-25).

El hombre a través de algunas prácticas contribuye a hacer más agudos los impactos de los factores que producen la sequía. Destacan aquellas prácticas que disminuyen la capacidad de retención de humedad del suelo o que propician la erosión, tales como: destrucción de la materia orgánica por medio de quema de rastrojos, abuso en el uso de la fertilización química, el monocultivo,

la quema no controlada de pastizales, barbecho en épocas de escasa precipitación, desempiedre en terrenos con pendiente, agricultura en terrenos inapropiados y abuso en el uso del agua (5, 21, 24).

La sequía impacta de diferentes formas; pudiendo ser directas e indirectas, simples o acumulativas, inmediatas o tardías, algunas afectan de forma permanente a grandes extensiones, otras en forma semipermanentes y algunas en forma aislada. Los impactos fundamentales que se producen como consecuencia de la ocurrencia de una sequía son de tres tipos: económico, social y ambiental. En este trabajo consideraremos fundamentalmente los impactos en la agricultura, vistos a través de sus dimensiones económicas y medioambientales (5, 19, 24).

Los impactos causados a la agricultura que tienen una repercusión económica han sido estudiados y documentados en casi todos los países afectados por este fenómeno, debido a las crecientes pérdidas ocasionadas son prioridades de los gobiernos y agencias de evaluar el monto de las pérdidas y establecer estrategias de solicitud de seguros para mitigar los efectos y reducir riesgos.

Obviamente los estudios se han realizado para valorar y demostrar los daños producidos por la sequía en la producción agrícola, tanto en cultivos extensivos, frutas y hortalizas, como en los bosques y en la ganadería^R (5, 19, 23-25).

Los datos retrospectivos disponibles sobre la susceptibilidad a la sequía de una zona determinada y de la sensibilidad a la sequía de los diferentes cultivos en la región, deberían ser examinados y evaluados utilizando todos los recursos disponibles de la investigación realizada en la región sobre este tema (5, 24, 26).

Una variedad de herramientas tecnológicas disponibles como la modelación de escenarios, las curvas de daños para cultivos e infraestructura de las entidades agropecuarias afectadas obtenidas mediante el análisis matemático y probabilístico, el análisis espacial del alcance del fenómeno mediante el empleo de SIG, el análisis espacio-temporal y espectral mediante imágenes de satélites, deberían ser consideradas por los investigadores que realicen proyectos en esta temática (27, 28).

Tales herramientas tecnológicas, pueden ser empleadas en los análisis comparativos de cosechas, junto con las condiciones climáticas e hidrológicas, y pueden dar mejores respuestas sobre la intensidad de la sequía en los períodos examinados, y sobre los daños concretos y pérdidas económicas en la producción agrícola. Este tipo de análisis integrado puede ayudar a descubrir las diferencias entre especies y variedades de las plantas cultivadas utilizadas, así como su capacidad de tolerancia a la falta de agua y la duración de sus períodos vegetativos, como características importantes para reducir los daños.

Asimismo es necesario estudiar el efecto del cultivo precedente en la rotación, y determinar cuáles han sido las

mejores plantas y las mejores rotaciones en la región de estudio, de manera que se puedan reducir sensiblemente los daños de la sequía (5, 24, 25).

Una cuestión igualmente importante es el efecto de la densidad de siembra o de plantación porque, si ésta es demasiado alta, los efectos de la sequía serán todavía más elevados. También se deben evaluar el resto de las prácticas agrícolas utilizadas, como son las del cultivo y cuidado del suelo, los métodos para su conservación, el procedimiento de aportación de nutrientes, la defensa contra plantas indeseables y las enfermedades de las plantas, etc. (5, 24, 25).

A modo de resumen, los efectos de la sequía en la producción agrícola, la ganadería, la silvicultura y la pesca, que tienen una repercusión económica, se resalta en los indicadores siguientes (24).

Pérdidas agrícolas: pérdidas de cosechas anuales y perennes, daño a la calidad de las cosechas, pérdida de ingresos para los agricultores debido a la reducción de las cosechas, productividad reducida de las tierras de cultivo (erosión del viento, pérdida de materia orgánica, etc.), plagas de insectos, enfermedades de las plantas, daño de la fauna salvaje a las cosechas, incremento en los costos de irrigación y costos del desarrollo de los recursos hídricos nuevos o suplementarios.

Pérdidas de los ganaderos: disminución de la producción de leche, reducción del ganado, limitación o cierre de las tierras públicas para el pastoreo, costo elevado o no disponibilidad de agua para la ganadería, costo del desarrollo de los recursos hídricos nuevos o suplementarios, costo elevado o no disponibilidad de comida para el ganado, aumento de los costos del transporte de los alimentos, tasas elevadas de mortalidad del ganado, interrupción

de los ciclos de reproducción y disminución del peso del ganado.

Pérdida de la producción de madera: incendios forestales, enfermedades de los árboles, plagas de insectos, disminución de la productividad forestal y pérdida directa de árboles, especialmente jóvenes.

Pérdida de la producción pesquera: daño al hábitat de los peces, pérdida de peces y otros organismos acuáticos debido a la disminución de los flujos de agua. **Entre los efectos económicos generales destacan:** pérdida en las industrias directamente relacionadas con la producción agrícola, pérdida de ingresos en las empresas, reducción del desarrollo económico y reducción de la población rural.

En cuanto a los efectos relacionados con la energía: reducción en el suministro debido a las restricciones de energía relacionadas con la sequía e incrementos de los costos debido a la sustitución por combustibles más caros.

Los impactos relacionados con el suministro de agua: costo del transporte de agua y costo del desarrollo de recursos hídricos suplementarios o nuevos.

Sobre la reducción de la producción de alimentos, destacan los impactos: aumento en los precios de los alimentos e importación incrementada de alimentos (costos mayores).

En cuanto a la afectación en la actividad turística: produce afectaciones importantes, debido a que los impactos negativos de la sequía pueden causar un rápido descenso del turismo nacional e internacional que puede traducirse en grandes pérdidas para aquellos países en los que este sector es de gran importancia.

Sobre la afectación en el comercio: la reducción de la producción de materias primas básicas y las pérdidas de almacenamiento de productos causados por la sequía afecta, por lo general, de forma negativa, al comercio, especialmente en las relaciones de exportación e importación.

La economía del país afectado por fenómenos de sequía necesita compensar sus pérdidas aumentando las importaciones, principalmente de alimentos y piensos, lo que supone un gasto extraordinario.

Afectación en el aspecto financiero: por lo general, el mundo financiero responde con una subida de precios a las pérdidas de producción de los productos agrícolas, de los procesos alimentarios, del intercambio de mercancías y del consumo de energía, lo cual acelera la inflación y estimula procesos y tendencias poco convenientes en el mundo financiero: los agricultores y productores entran en bancarrota, se retiran las inversiones, se suspenden las mejoras de las condiciones de producción, etc.

Anualmente el riesgo de sequía ha representado el mayor porcentaje del total de indemnizaciones por riesgos cubiertos por el ramo de los seguros de bienes agropecuarios en Cuba (9). Estas cifras sólo corresponden a las indemnizaciones por los daños originados por la sequía a los agricultores asegurados a nivel nacional, no así a las pérdidas totales por este concepto en el país.

Los datos expuestos en la Tabla II, muestran una diferencia sustancial entre los desembolsos realizados por el ramo de los seguros de bienes agropecuarios de la Empresa del Seguro Estatal Nacional por el riesgo de sequía (5, 8). Los ocho años anteriores a 1998 (1990-1997), aun contemplando el año 1997, en el cual se inició a finales de ese mismo año la intensa sequía agrícola que produjo grandes afectaciones en el sector agropecuario cubano, promediaron un desembolso medio anual de 6 563 millones de pesos en indemnizaciones por el riesgo de sequía a sus asegurados.

Los ocho años siguientes (1998-2005) promediaron un desembolso medio anual, por el mismo concepto, de 44 238 millones de pesos, o sea, el valor

Tabla II. Indemnizaciones por el riesgo de sequía cubiertos por el ramo de los seguros de bienes agropecuarios de la Empresa del Seguro Estatal Nacional en Cuba, a nivel nacional

Año	Indemnizaciones por sequía (Miles de CUP)	Porcentaje del total del riesgo (%)
1990	3 610,80	22,5
1991	7 754,00	45,6
1992	4 962,30	43,9
1993	6 229,50	39,4
1994	8 115,30	43,3
1995	5 906,50	27,0
1996	3 722,70	9,9
1997	12 203,90	25,4
1998	24 402,80	29,1
1999	40 854,00	37,9
2000	56 154,60	50,3
2001	60 667,00	38,1
2002	30 425,00	25,4
2003	30 408,70	32,3
2004	42 602,10	34,3
2005	68 391,60	40,9

medio de los daños originados por el riesgo de sequía durante los últimos ocho años excedió en casi siete veces al valor medio de los desembolsos por concepto de sequía en los ocho años anteriores (9).

Para mostrar el alcance de los efectos de la sequía en la agricultura cubana se presenta un resumen del impacto producido en 1998^T (23, 25).

Esta ocasionó cuantiosas pérdidas al sector agropecuario cubano y causó privaciones y tensiones severas en todo el país, fundamentalmente su región oriental, las cuales pueden ser resumidas de la siguiente forma^T (23, 25).

- ◆ El sector agrícola de cultivos varios informó pérdidas estimadas en 166 000 t de alimentos en las cinco provincias orientales.
- ◆ Entre los cultivos más afectados en el período de mayo a junio de 1998, se encuentran los de cereales de consumo humano (arroz, maíz principalmente) en las provincias de Las Tunas, Holguín, Santiago de Cuba y Granma, cultivos varios como el plátano, granos (frijoles), hortalizas como el ajo, la cebolla, y otras especies. Según un estudio realizado por el Programa Mundial de Alimentos (PMA), solo en los cultivos de papa, plátano, tomate, col, pepino, mango, aguacate, fresa y frijoles se perdieron 205 548,7 ha, equivalentes a 59,6 millones de pesos, siendo algunos ejemplos la producción de col con pérdidas de 6 954,0 ton y el costo de la afectación de 0,5 millones de pesos; en el cultivo de pepino 942,0 ton y 0,1 millones de pesos y en la producción de frijoles de 4 369,8 ton y un costo de 5,3 millones de pesos.
- ◆ El sector agrícola cañero perdió cerca de 8 000 ha de caña de primavera en las cinco provincias orientales y sólo en Granma, Las Tunas y Guantánamo, las pérdidas de caña de azúcar superaron la cifra de 700 000 ton.

^TCYTED-INSMET. *La Sequía Agrícola. Estado del Arte.* edit. Red UTEEDA del Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED), 2006, La Habana, Cuba, 101 p.

- ◆ El sector ganadero informó 25 000 animales evacuados, el suministro de agua en vehículos cisternas a más de 225 000 cabezas de ganado. Las cinco provincias orientales informaron pérdidas de 5 millones de litros de leche, numerosos pastizales incendiados y cerca de 13 000 animales muertos por desnutrición en el sector estatal durante el período enero-abril.
- ◆ En el ramo de los seguros de bienes agropecuarios, el concepto de sequía fue el acápite de riesgo que mayor desembolso por indemnizaciones tuvo que realizar la Empresa del Seguro Estatal Nacional durante el año 1998 a sus asegurados, con un monto superior a 24 400 millones de pesos.
- ◆ En la producción de alimentos las pérdidas en las provincias orientales, durante el período abril-mayo-junio, estuvieron en el orden de los USD 270 millones.

Hoy se conoce que a partir de la segunda mitad del siglo XX, la sequía agrícola ha incrementado la extensión superficial, la intensidad y la duración. El conocimiento adquirido acerca de la sequía en Cuba permite expresar que la extensión superficial de este fenómeno se ha incrementado con un avance medio anual, en áreas anteriormente no afectadas, de aproximadamente 8 000 ha, con la característica de un mayor incremento en extensión superficial en el período lluvioso y la disminución de estos índices en el período poco lluvioso (26).

En cuanto a los impactos medioambientales de la sequía hoy se conoce que el área afectada por los incendios forestales en Cuba, desde 1980, se ha incrementado con un avance medio anual en áreas anteriormente no afectadas, de aproximadamente 400 ha y que ha habido un incremento de las tierras secas (semiáridas y subhúmedas secas) durante las últimas décadas (9, 24, 25).

Las pérdidas ambientales son el resultado de daños a las especies de plantas y animales, hábitat silvestre, y calidad del aire y agua, incendios, degradación de calidad del paisaje, pérdida de biodiversidad, y erosión del suelo. Algunos de estos efectos son de corto plazo, y otros tardan más tiempo y algunos llegan a ser permanentes. Una sequía extensa puede conducir a la desertificación, a incendios forestales, a corto plazo y a la degradación general de la calidad del suelo.

Algunas veces los efectos son de corta duración, restableciéndose las condiciones normales de forma rápida cuando finaliza la sequía. El hábitat silvestre puede ser degradado a través de la pérdida de humedales, lagos y vegetación. Sin embargo, muchas especies eventualmente se recuperan de esta aberración temporal. La degradación de la calidad del paisaje, incluyendo la erosión creciente del suelo, puede conducir a una pérdida más permanente de productividad biológica (9, 24, 25).

En sentido general los efectos más perjudiciales y peligrosos de la sequía se reflejan en el medio ambiente, en los recursos naturales, en el hábitat de las especies y en los ecosistemas. Tales problemas requieren una gran atención, porque la sociedad puede hacer muy poco para reparar los daños causados en los ecosistemas que ya han sido perjudicados o que, incluso, están muertos. Por lo tanto, la única medida eficaz para estos casos es la debida protección de los recursos naturales, especialmente en áreas sensibles desde el punto de vista medioambiental (9, 24, 25).

Entre las estrategias a seguir por parte de los Organismos de la Administración del Estado encargados de establecer los planes y programas de acción para el enfrentamiento a la sequía, tales como el Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente (CITMA), el Instituto

Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH) y el Ministerio de la Agricultura (MINAG), es evaluar cuidadosamente todos aquellos impactos de la sequía que tienen repercusión en los principales elementos del medio ambiente, como son la calidad y cantidad de los impactos sobre el agua, el suelo, el aire y los organismos vivos (flora y fauna)^U (20, 21).

Debe considerarse como un aspecto de prioridad, la evaluación de las zonas naturales protegidas y parques naturales, donde es necesario prever acciones específicas para proteger las especies, el hábitat y los ecosistemas frágiles, prestando especial atención en los efectos medioambientales combinados, como son el incremento de la contaminación y el aumento del volumen de diversos tipos de residuos en el medio ambiente y, en particular, los residuos y materias tóxicos. Estos efectos, complejos y combinados, pueden llegar a ser más agudos durante los períodos de sequía, especialmente debido a la menor dilución y capacidad de depuración de los receptores de los mismos (9, 24, 25).

Entre los impactos ambientales producidos por los eventos de sequía señalados (24), se encuentran los siguientes:

Daño a las especies animales: reducción y degradación del hábitat de la fauna y de los peces, falta de alimentos y de agua potable, mayor mortalidad de los animales, enfermedades, migración y concentración de la fauna y pérdida de biodiversidad.

^U Grupo Nacional de Lucha Contra la Desertificación y la Sequía. *Programa de Lucha contra la Desertificación y la Sequía en la República de Cuba*. Inst. Centro de Información, Gestión y Educación Ambiental (CIGEA), Secretaría de la Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación y la Sequía (CCD), Organización para la Agricultura y la Alimentación (FAO), Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola (FIDA), 2003, La Habana, Cuba, p. 154.

Efectos hidrológicos: niveles bajos de agua en reservorios, lagos y charcas, flujo reducido de los manantiales, corrientes disminuidas, pérdida de las tierras húmedas, impacto en los estuarios (ej. cambios en los niveles de salinidad), disminución de las aguas subterráneas y efecto en la calidad de las aguas.

Daño a las comunidades de plantas: pérdida de biodiversidad y pérdida de árboles en zonas urbanas y rurales.

CRITERIOS SOBRE EL USO DE IMÁGENES POR SATÉLITE PARA ESTUDIOS ESPACIO- TEMPORALES EN ZONAS ÁRIDAS Y SECAS (ESPECIALMENTE EN EVENTOS DE SEQUÍAS)

Las imágenes por satélites constituyen hoy en día herramientas tecnológicas para abordar una gran parte de los fenómenos medioambientales, generando mapas e indicadores que permiten a directivos, técnicos y especialistas de los sectores de la agricultura y medio ambiente su utilización para establecer estrategias de reducción y mitigación de riesgos de desastres y políticas para el fortalecimiento de la sostenibilidad ambiental.

El fenómeno de la sequía agrícola conjuntamente con la evaluación de zonas áridas y secas, es en la esfera medioambiental y concretamente en el manejo de las tierras donde el uso de las imágenes por satélites tiene una utilización cada vez mayor (29).

El monitoreo de las sequías existe en la mayoría de los países usando información terrestre con parámetros relacionados como precipitaciones, clima, condición de las cosechas y disponibilidad de agua. Estos parámetros se integran con los datos obtenidos de la observación terrestre desde

los satélites, con los que se realiza el monitoreo de estos parámetros de una manera más efectiva (21).

Las razones que hacen posible el uso de la herramienta tecnológica de la teledetección espacial, son su capacidad para discriminar grandes áreas que tienen diferentes características en su composición físico-química de la superficie expuesta sobre el suelo (como suele ser el caso de áreas afectadas por procesos de salinización, humedad y zonas áridas y secas), debido a la propiedad que éstas tienen de reflejar la energía electromagnética proveniente del sol en diferente magnitud y, además, debido a la capacidad resolutiva de los sensores a bordo de los satélites de recursos naturales para detectar distintos niveles de reflectancia^V.

Una de las grandes ventajas de las imágenes satelitales es que los satélites que las capturan, pasan por un mismo lugar periódicamente lo que asegura la multitemporalidad de los estudios. Otra de las ventajas radica en que dependiendo de sus características espaciales pueden ser empleadas para generar cartografía temática a escalas variables, desde poco nivel de detalles como es el caso de las NOAA-AVHRR (sirven para escala de estudio de 1: 1 000 000) hasta escalas de gran nivel de detalle (1: 20 000), como es el caso de las IKONOS, Spot, etc., pasando por aquellas de un nivel de detalles intermedio (escalas entre 1:250 000 a 1: 50 000) como puede ser el caso de las provenientes del Landsat TM o ETM, SPOT, MODIS, etc. Otras tienen la ventaja de constituir un documento relevante para actualizar la cartografía topográfica, como es el caso de las imágenes del Google Earth, siempre y cuando sean de tiempos recientes^{U, V, W}.

Tomando en consideración estos antecedentes, los satélites usados en apoyo al manejo de las sequías (33) son:

Para predicción: se usan los satélites meteorológicos estacionarios (GOES-EEUU; METEOSAT-ESA; GMS-Japón, INSAT-India; Fen Yun – China; el SSMI (Special Sensor Microwave Imager) del DMSP (Defense Meteorological Satellite Program) y AMI (Active Microwave Instrument) en el ERS-2.

Para monitoreo y alerta temprana: AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer; TOVS (Tíos Operational Vertical Sounder) de la serie NOAA; IRS / WiFS (India); Spot-4 /Vegetation (CNES); MMRS, HRTC/SAC-C. También para el monitoreo aunque es necesario una evaluación, pueden usarse: (TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission)-NASA y NASDA; MODIS/Terra y el MERIS/Envisat.

Para el sistema de sequías basados en G/S: Los satélites de alta resolución espacial Landsat (EEUU), IRS (India) y Spot (CNES).

En el caso de Cuba, se dispone de una cobertura total de imágenes satelitarias de distinta resolución espacial, espectral y temporal, lo cual es un elemento importante a la hora de seleccionar los datos geoespaciales tanto de momentos anteriores como actuales para implementar estudios sobre este fenómeno.

Los distintos tipos de imágenes procedentes de sensores de observación de la Tierra que se disponen en nuestro país y que cubren absolutamente todo el territorio^W son:

- ♦ Landsat Thematic Mapper (TM) Enhanced Thematic Mapper (ETM): estas imágenes tanto actuales como antiguas se pueden descargar gratuitamente desde disímiles portales.

^VVentajas y desventajas de las imágenes de satélites en la evaluación, monitoreo y manejo de los recursos naturales. Inst. UNAH, 2015, Mayabeque, Cuba, p. 10.

^W Pérez, G. E. Cobertura. Inédito, 2015, Comunicación personal.

- ◆ Spot-HVR: las imágenes actuales de este satélite no son gratuitas como el caso anterior, es necesario comprarlas a los distribuidores, no obstante una gran parte del territorio nacional se encuentra cubierta con distintos parches que poseen diferentes organismos y centros de investigación, a los cuales se pueden solicitar para realizar estos estudios.
- ◆ NOAA/AVHRR: las imágenes provenientes de este satélite están disponibles gratuitamente para todo el país y se pueden adquirir mediante la solicitud a distintas instituciones como el Instituto de Meteorología que diariamente las capture y descarga para los trabajos operativos de monitoreo y pronóstico meteorológico.
- ◆ GOOGLE EARTH: en Cuba existe una cobertura completa de muchas regiones del país con este tipo de imágenes que son descargadas gratuitamente mediante el software Google Earth Pro, existiendo organizaciones como GEOCUBA, que dispone de un banco de ellas.
- ◆ Existe además otro grupo de imágenes proveniente de los sensores IKONOS, y MODIS que han sido adquiridas mediante pago por distintas instituciones empresariales y científicas del país o han sido recibidas en el marco de proyectos de colaboración con instituciones académicas y científicas internacionales, que también pueden ser solicitadas cumpliendo con un protocolo específico.

Como se ha planteado en los acápite precedentes de este trabajo, las sequías en Cuba son

uno de los principales eventos que han afectado en forma intermitente y con extrema severidad a algunas regiones del país y en algunos casos ha tenido efectos en casi todo el territorio nacional.

Sin embargo, es una limitante de nuestro sistema de ciencia e innovación tecnológica, así como de las estrategias medioambientales, el escaso empleo que se le han dado a estos valiosos datos geoespaciales en importantes estudios desarrollados en el país, como fueron los casos del evento de sequía en Las Tunas de 2003 a 2005^M, el de la ciudad de Camagüey en 2004 (25), en Sancti Spíritus en 2004-2005 (23) y Guantánamo^X.

En dichos estudios han sido empleadas herramientas de los Sistemas de Información Geográfica y la cartografía fundamentalmente, pero no herramientas de teledetección espacial. De aquí que las experiencias existentes en el país sobre este particular sean escasas e incipientes, por lo que se impone un análisis profundo por parte de las autoridades y especialistas de los diferentes organismos nacionales de medio ambiente, recursos hidráulicos y de centros científicos y académicos que tienen que ver con el fenómeno de la sequía en Cuba, los cuales deben evaluar los proyectos de investigación que se acometan en el futuro, con el fin de potenciar el uso de estas herramientas para realizar una valoración más objetiva de los fenómenos de sequía mediante el uso de imágenes por satélites.

Este no es el caso existente a escala internacional, donde en países como Argentina se han realizado estudios para la identificación y evaluación de la intensidad de las sequías, con imágenes por satélites combinados con datos de precipitación provenientes de estaciones meteorológicas de superficie.

En este particular se han utilizado imágenes satelitales para evaluar las sequías a escala global (25, 29) y fue estudiada en la región pampeana para ver su influencia sobre los rendimientos del cultivo de trigo (30-33). También se efectuó la identificación y evaluación de las sequías para varias localidades de Córdoba y Buenos Aires utilizando información de estaciones meteorológicas e imágenes de satélites (29).

La contribución potencial por los satélites existentes hoy día, está muy lejos de ser explotada completamente, siendo necesario utilizar más efectivamente la sinergia proporcionada por la combinación de datos de sensores satelitales que son distribuidos internacionalmente (31, 33).

El mecanismo de monitoreo de la sequía existente en muchos países está basado en la obtención de información terrestre sobre el fenómeno, relacionando parámetros tales como la lluvia, el tiempo, las condiciones del cultivo y la disponibilidad de agua, etc. En este sentido, las observaciones de la Tierra desde satélites son empleadas como datos complementarios de aquellas que se colectan por sistemas *in situ* como los mencionados anteriormente. Sin embargo, los satélites son a menudo necesarios ya que provén información sinóptica, cobertura de amplios territorios e información frecuente requerida para el monitoreo espacial de las condiciones de sequía.

De aquí que en la actualidad el estado de los datos obtenidos por satélites para el monitoreo de la sequía y el aviso temprano se basen en datos de lluvia, humedad superficial, temperatura y monitoreo de la vegetación (33).

Actualmente existen fuentes de datos multi-espectrales y multi-sensores de plataformas

^XCruz, D. R. O. *Experiencias en la rehabilitación de áreas del Valle de Guantánamo afectados por la desertificación y la sequía*. Informe Científico, Inst. Agencia de Medio Ambiente (AMA), Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medioambiente (CITMA), 2004, La Habana, Cuba, p. 32.

geoestacionarias tales como GOES, METEOSAT, INSAT y GMS, y satélites de órbitas polares como el NOAA (National Oceanic Atmospheric and Administration), EOS-Terra, DMSP (Defense Meteorological Satellite Program) y el IRS (Indian Remote Sensing Satellite); los cuales han sido usados o planificados para la evaluación de parámetros meteorológicos, la interpretación, la validación e integración de los datos. Ellos son utilizados para estimar la intensidad de la precipitación, la cantidad y la cobertura y, para determinar los efectos en la tierra de la humedad superficial y para los estudios de eventos de sequía (32–35).

A escala internacional se han dado un conjunto de recomendaciones para el establecimiento de un sistema de indicadores a partir de imágenes por satélites para la previsión, el seguimiento y la gestión de la sequía, algunas de las cuales se reseñan a continuación.

En España se han referido a la necesidad e importancia de establecer un sistema de indicadores basados en el empleo de imágenes por satélites que permita realizar el seguimiento de la sequía (36).

El objetivo esencial de estos índices es el de aportar unos principios generales que sirvan de base para el desarrollo de otros índices, pero desde unas nociones claras acerca del propio concepto de sequía y de otros conceptos próximos a él y con los que con frecuencia se confunde.

Estos autores han desarrollado estudios importantes para realizar una rápida detección y caracterización espaciotemporal de las sequías utilizando determinados índices extraídos de imágenes por satélites del tipo MODIS; contribuyendo a la generación de estrategias de mitigación de sus impactos. Se ha realizado una aproximación al problema de la alerta temprana

frente a sequías a nivel regional en cuencas del sureste español, considerando indicadores basados en imágenes por satélites y datos meteorológicos.

Entre los indicadores basados en teledetección, se encuentran aquellos obtenidos mediante la interpretación del espacio descrito por la representación de la temperatura superficial (LST, Land Surface Temperature) y, el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI). El estudio permitió determinar que la relación entre la temperatura superficial y el régimen de humedad en el suelo permite detectar la aparición de condiciones de sequía, antes de que se produzcan efectos fuertemente negativos en la vegetación y los cultivos.

De los resultados obtenidos, se concluyó que índices probabilísticos, basados solo en precipitación, no exhiben el comportamiento espacio-temporal observado desde imágenes por satélites (35, 37).

Actualmente en el país ibérico, se está validando un índice normalizado de sequía en superficie (NSDI o Normalized Superficial Drought Index), adaptado del modelo desarrollado por la Universidad de Nebraska con imágenes MODIS (Normalized Difference Drought Index, NDDI). Dicho índice se obtiene, a partir de imágenes MERIS, combinando un índice de contenido de agua en la superficie terrestre (NDWI, Normalized Difference Water Index) con un índice de vegetación (NDVI) (37).

Por su parte, en Argentina se analizaron la productividad de pastizales, principal sustento de la ganadería ovina extensiva de la provincia de Santa Cruz, y su variación entre años determinando que se encuentran íntimamente ligadas a las precipitaciones anuales, su cantidad y distribución en dicho período (37).

Ellos demostraron una manera ágil de realizar estudios

de bajo costo con el empleo de sensores remotos para monitorear grandes áreas, analizando la vegetación a través del uso de índices espectrales.

En tal caso, realizaron un análisis multitemporal de la provincia usando imágenes del sensor MODIS de los satélites Terra/Aqua, que poseen gran cobertura de barrido (aproximadamente 2 300 km), gran resolución temporal (pasan por el mismo sitio cada 16 días), espacial (píxel de 250 m) y espectral. Analizaron la temporada de crecimiento (septiembre de 2007 a abril de 2008) con respecto a los valores históricos, obteniendo así la variación de los índices de vegetación para cada mes, permitiendo tener una idea de la severidad de la sequía. Notaron durante 2007 y 2008 una disminución de los índices, respecto a la media histórica, lo cual implica una menor cantidad de biomasa verde que en principio puede explicarse, entre otros factores, por la menor cantidad de precipitaciones.

El análisis se realizó empleando dos índices de vegetación: el NDVI (Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada o Normalized Vegetation Difference Index por sus siglas en inglés) y el EVI (Índice de Vegetación Mejorado o Enhanced Vegetation Index). Los autores utilizaron algoritmos implementados en la NASA para generar distintos tipos de productos a partir de las imágenes MODIS. Uno de ellos es el MOD13Q que tiene 12 bandas. Las bandas 1 y 2 correspondientes a los índices de vegetación NDVI y EVI, respectivamente. Tales índices son muy útiles para el análisis multitemporal y las imágenes sintéticas de 16 días suministran los valores máximos de los píxeles durante el período, minimizando así los efectos de las nubes y la nieve.

Este equipo obtuvo una caracterización de la sequía en

la pradera pampeana mediante el uso de índices de sequías e información satelital (37). También puso a prueba un sistema de alerta temprana que evalúa la ocurrencia de sequías en el territorio nacional mediante el uso de información meteorológica terrestre y satelital, el cual se encuentra en una etapa de desarrollo y validación. Las sequías son caracterizadas por su intensidad, frecuencia y dispersión geográfica en todo el territorio. Si bien se considera como área prioritaria a aquella destinada a los cultivos anuales estivales e invernales, el sistema también será utilizado en otras regiones agrícola-ganaderas marginales.

Con la finalidad de complementar los análisis que realizan las Oficinas de Planificación Hidrológica mediante los Índices de Sequía Hidrológicos, se ha desarrollado una nueva metodología utilizando las imágenes semanales del satélite MERIS para calcular un Índice Normalizado de Sequía en Superficie (NSDI) adaptado del modelo de la Universidad de Nebraska (37, 38). Este se obtiene combinando un índice de contenido de agua en la superficie terrestre (NDWI) y el índice diferencial de vegetación normalizado (NDVI).

El índice NSDI no se fundamenta en variables hidrológicas, sino que refleja lo que está sucediendo en la superficie terrestre en relación al contenido de agua y el vigor de la cubierta vegetal que alberga. Por tanto, el NSDI no sustituye a los indicadores hidrológicos existentes, pero puede constituir una herramienta complementaria muy útil para la gestión del recurso en las demarcaciones hidrográficas.

Se efectuó la identificación y evaluación de las sequías para varias localidades de Córdoba y Buenos Aires para los años 1982-1983 y 1988-1989. Aplicaron el índice de sequía de Palmer (PDI) y el índice de vegetación. Este trabajo permitió comparar y validar los resultados del análisis de las sequías por medio de los

métodos tradicionales que utilizan datos de estaciones terrestres, con la información obtenida de las imágenes por satelitales (37, 38).

CONCLUSIONES

- ◆ A escala internacional hay un consenso en que existen cuatro tipos de sequías fundamentales: la meteorológica, la agrícola, la hidrológica y la social o económica. Los factores que afectan a cada tipo están correlacionados, siendo la sequía meteorológica la más importante; por cuanto todos los otros se derivan de ella y en particular de la escasez de precipitaciones.
- ◆ Los estudios e investigaciones realizados en Cuba advierten, que el incremento del grado de aridez del recurso tierra en los últimos años y la coincidencia con el comportamiento de las proyecciones de los modelos de cambio climático para el país, son la causa del evento de sequía ocurrido en el periodo 2003-2005, catalogado como el más intenso en los últimos 100 años en el territorio nacional.
- ◆ La investigación realizada permitió apreciar que los impactos fundamentales que se producen como consecuencia de la ocurrencia de una sequía son de tres tipos: económico, social y ambiental. El impacto económico del evento de sequía ocurrido en el periodo de 1990-1997, ocasionó pérdidas al sector agropecuario en Cuba; valoradas en un promedio anual de 6 563 millones de pesos en indemnizaciones por el riesgo de sequía a sus asegurados, y en el periodo de 1998-2005 el desembolso promedio anual de las agencias aseguradoras por el mismo concepto fue, de 44,328 millones de CUP.
- ◆ La evaluación de la sequía puede ser examinada utilizando las herramientas tecnológicas al alcance de especialistas y técnicos, tales como: la modelación de escenarios, las curvas de daños económicos directos para cultivos e infraestructura de las entidades agropecuarias afectadas, el análisis espacial del alcance del fenómeno mediante el empleo de SIG, el análisis espacio-temporal y espectral mediante imágenes de satélites, entre otras.
- ◆ La realidad de nuestro país nos dice que aún queda mucho por andar en este camino, siendo necesario potenciar el empleo de las mismas. Pues aunque existen experiencias a escala internacional susceptibles de ser aplicadas y adecuadas a nuestras condiciones, prácticamente no se acude a su empleo en los diferentes proyectos que se llevan a cabo, por diferentes razones objetivas y subjetivas.

BIBLIOGRAFÍA

1. Lapinel, P. B. P.; Rivero, V. R. E.; Rivero, J. R. R.; Cutié, C. V.; Varela, L. N. y Sardiñas, G. M. E. "Sistema Nacional para la Vigilancia de la Sequía. Análisis para el periodo 1931-1990". En: *V Congreso de Meteorología*, Ed. GEOTECH (Instituto de Geografía Tropical), La Habana, Cuba, 27 de noviembre de 2009, p. 986, ISBN 978-959-7167-20-4.
2. Lapinel, P. B. "La sequía. Causas, percepción y enfrentamiento". *Revista Bimestre Cubana*, vol. 107, no. 32, 7 de diciembre de 2011, pp. 10-20, ISSN 1012-9561.
3. Oficina Nacional de Estadísticas e Información (ONEI). *Territorio, Agricultura, Ganadería, Silvicultura y Pesca [en línea]*. Anuario Estadístico de Cuba 2013, 2014, [Consultado: 29 de abril de 2016], Disponible en: <<http://www.onei.cu/aecc2013/20080618index.htm>>.
4. Jiménez, C. B. y Galizia, T. J. *Diagnóstico del Agua en las Américas: Los recursos hídricos en Cuba: Una visión*. Ed. Foro Consultivo Científico y Tecnológico, 2012, México, 245-265 p., ISBN 978-607-9217-04-4.
5. Solano, O.; Vázquez, R. J.; Centella, A. y Lapinel, B. P. "Una aproximación al conocimiento de la sequía en Cuba y sus efectos en la producción agropecuaria". *Zonas Áridas*, vol. 11, no. 1, 2007, pp. 85-100, ISSN 1013-445X, 184-8921.

6. Organización Meteorológica Mundial (OMM). *Glosario de términos usados en la Agrometeorología* [en línea]. Ed. Organización de las Naciones Unidas (ONU), 1999, Ginebra, 255 p., CAGM no. 40, WMO/TD-No. 391, [Consultado: 29 de abril de 2016], Disponible en: <<http://www.wamis.org/agm/pubs/CAGMRep/CAGM40.pdf>>.
7. Asamblea General de las Naciones Unidas. *Elaboración de una convención internacional de lucha contra la desertificación en los países afectados por sequía grave o desertificación, en particular en África* [en línea]. no. A/AC.241/27, GE.94-64374, Inst. Asamblea General de las Naciones Unidas, 8 de septiembre de 1994, p. 66, [Consultado: 29 de abril de 2016], Disponible en: <<http://www.unccd.int/Lists/SiteDocumentLibrary/conventionText/conv-spa.pdf>>.
8. Wilhite, D. A. y Glantz, M. H. "Understanding the Drought Phenomenon: The Role of Definition" [en línea]. En: Wilhite D. A. y Easterling W. E., ed. Wood D. A., *Planning for Drought: Toward a Reduction of Societal Vulnerability*, Ed. Westview Press, Boulder, octubre de 1987, p. 203, ISBN 978-0-8133-7255-6, [Consultado: 22 de abril de 2016], Disponible en: <<http://www.amazon.com/Planning-Drought-Reduction-Societal-Vulnerability/dp/0813372550>>.
9. Vázquez, M. R. J.; Fernández, A.; Solano, O. O.; Lapinel, P. B. y Rodríguez, F. "Mapa de aridez de Cuba". *Zonas Áridas*, vol. 1, no. 11, 2007, pp. 101-109, ISSN 1013-445X, 184-8921.
10. Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA). *Informe de Cuba a la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Desarrollo Sostenible Río+20*. Ed. Agencia de Medio Ambiente (AMA), 2012, La Habana, Cuba, 38 p., ISBN 978-959-300-024-6.
11. Lapinel, P. B. P.; Centella, A. A.; Fonseca, R. C.; Cutié, C. V. y González, G. I. "Causas de la reciente sequía acaecida en la Región Oriental de Cuba". En: *Proceedings of the Fifth FRIEND World Conference*, (no. ser. 308), Ed. IAHS Publication, Havana, Cuba, 2006, p. 29, ISBN 1901502787.
12. Lapinel, P. B. P.; Centella, A. A.; Fonseca, R. C.; Cutié, C. V. y Baez, A. R. "Predicción a largo plazo de la sequía agrícola y evaluación científica de los riesgos asociados a la ocurrencia de la sequía meteorológica y agrícola en Cuba. Análisis y Pronóstico del tiempo y el clima y sus implicaciones socio-económicas, Parte I: Sequía Meteorológica". En: *Proceedings of the Fifth FRIEND World Conference*, (no. ser. 308), Ed. IAHS Publication, Havana, Cuba, 2006, ISBN 1901502787.
13. Planos, G. E. O. *Síntesis Informativa sobre Impactos del cambio Climático y medidas de adaptación en Cuba* [en línea]. 1.ª ed., Ed. Agencia de Medio Ambiente, 6 de diciembre de 2013, 26 p., ISBN 978-959-300-044-4, [Consultado: 27 de abril de 2016], Disponible en: <<http://www.undp.org/content/dam/cuba/docs/Medio%20Ambiente%20y%20Energ%C3%ADa/ BASAL/S%C3%ADntesis%20informativa%20sobre%20el%20Cambio%20Clim%C3%A1tico%20%28PARA%20VER%29.pdf>>.
14. Loucks, D. P. y Van Beek, E. *Water Resources Systems Planning and Management-Facts about Water. An Introduction to Methods, Models and Applications* [en línea]. Ed. UNESCO, 2005, Italy, 680 p., ISBN 92-3-103998-9, [Consultado: 28 de abril de 2016], Disponible en: <<http://unesdoc.unesco.org/images/0014/001434/143430e.pdf>>.
15. Centella, A.; Lapinel, B.; Solano, O.; Vázquez, R.; Fonseca, C.; Cutié, V.; Baez, R.; González, S.; Sille, J.; Rosario, P. y Duarte, L. *La sequía meteorológica y agrícola en la República de Cuba y la República Dominicana* [en línea]. Ed. Programa de Desarrollo de las Naciones Unidas (PNUD), 2006, Cuba, 172 p., [Consultado: 28 de abril de 2016], Disponible en: <http://www.cu.undp.org/content/dam/cuba/docs/libro_sequia.pdf>.
16. IPCC. "Summary for Policymaker" [en línea]. En: eds. Solomon S., Qin D., Manning M., Chen Z., Marquis M., Averyt K. B., Tignor M., y Miller H. L., *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Ed. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2007, p. 18, [Consultado: 19 de mayo de 2016], Disponible en: <<http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1-spm.pdf>>.
17. Consejo de Defensa Nacional. *Directiva No. 1 del Presidente del Consejo de Defensa Nacional (CDN) de la República de Cuba. Documento Rector para la Planificación, Organización y Preparación del País para las Situaciones de Desastres* [en línea]. no. Ordinario, 1 de junio de 2005, p. 81, R/E: 11058, UM: 1096, [Consultado: 28 de abril de 2016], Disponible en: <http://www.sld.cu/galerias/pdf/sitios/desastres/directiva_vp_cdn_sobre_desastres.ultima_version.pdf>.
18. Agencia de Medio Ambiente. "Lucha contra la desertificación y la Sequía. Adecuación cubana al documento Agenda 21 aprobado en la Conferencia de Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo" [en línea]. En: *Programa Nacional del Medio Ambiente y Desarrollo en la República de Cuba (PNMAD)*, Ed. Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medioambiente (CITMA), Río de Janeiro, 1992, p. 122, [Consultado: 28 de abril de 2016], Disponible en: <<http://www.patrimonio-ciudad.cult.cu/legislaciones/13PNMAD.pdf>>.
19. Febles, G. y Ruiz, T. E. "El cambio climático global y sus repercusiones en Cuba. Acciones para el futuro". *Cuban Journal of Agricultural Science*, vol. 43, no. 4, 2009, pp. 337-344, ISSN 2079-3480.
20. Solano, O.; Vázquez, M. R.; Menéndez, G. C. y Martín, P. M. E. "Evaluación de la Sequía Agrícola en Cuba". *Revista Cubana de Meteorología*, vol. 12, no. 2, 2005, pp. 3-14, ISSN 0864-151X.
21. Solano, O.; Vázquez, R.; Menéndez, J. A.; Pérez, E. y Figueiredo, M. "Monitoring and Early Warning Systems for Potentially Dangerous Vegetation Fires in Cuba" [en línea]. En: *Strengthening Operational Agrometeorological Services at the National Level. Proceedings of the Inter - Regional Workshop*, (ser. Technical Bulletin, no. ser. WA OB-2006-1 and AGM-9, WMO/TD No. 1277), Ed. United States Department of Agriculture, World Meteorological Organization, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Manila, Philippine, 2004, pp. 9-18, [Consultado: 19 de mayo de 2016], Disponible en: <<http://www.wamis.org/agm/pubs/agm9/WMO-TD1277.pdf>>.

22. Lapinel, B.; Pérez, R.; Aroche, R.; Cutié, V.; Pérez, D.; Báez, A.; Rivero, I.; Roque, A. y Hechavarria, E. "La sequía de corto período durante los meses de abril, mayo y junio de 1998 en Cuba". *Revista Brasileira de Meteorología*, vol. 18, no. 2, 2003, pp. 131-138, ISSN 1982-4351.
23. Vargas, S. R. y Cepero, O. "Impacto de la sequía sobre algunos indicadores bioprodutivos de empresas ganaderas en la provincia de Sancti Spíritus". *Revista Electrónica Veterinaria*, vol. 7, no. 10, 2006, pp. 15-21, ISSN 1695-7504.
24. Vázquez, L. L. "Cambio climático, incidencia de plagas y prácticas agroecológicas resilientes" [en línea]. En: Ríos L. H., Vargas B. D., y Funes M. F. R., *Innovación agroecológica, adaptación y mitigación del cambio climático*, Ed. Ediciones INCA, 2011, pp. 75-101, ISBN 978-959-7023-53-1, [Consultado: 19 de mayo de 2016], Disponible en: <<http://www.redagres.org/Innovacion%20Agroecologica.pdf>>.
25. Oficina de las Naciones Unidas en Cuba. *Situación de emergencia en la República de Cuba. Llamado consolidado de las Naciones Unidas* [en línea]. Ed. Organización de Naciones Unidas (ONU), 1998, La Habana, Cuba, 75 p., [Consultado: 19 de mayo de 2016], Disponible en: <[http://reliefweb.int/files/resources/7AFB55ABD5EE16C12566DE002B4193-cuba.pdf](http://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/7AFB55ABD5EE16C12566DE002B4193-cuba.pdf)>.
26. Solano, O. O.; Vázquez, M. R. J.; Menéndez, G. C. y Menéndez, G. J. A. *Informe de la Reunión de Grupo de Trabajo sobre Meteorología Agrícola* [en línea]. Actas de la Reunión de Expertos de las Asociaciones Regionales III y IV sobre Fenómenos, Agrometeorológicos Adversos, Inst. WMO, 1999, Caracas, Venezuela, p. 363, ISBN 92-63-10999-0, [Consultado: 29 de abril de 2016], Disponible en: <<http://www.wamis.org/agm/pubs/CAGMRep/CAGM98.pdf>>.
27. Instituto de Planificación Física. *Análisis y Cartografía de la Vulnerabilidad a la Inseguridad Alimentaria en Cuba* [en línea]. Proyecto VAM, Inst. Programa Mundial de Alimentos, 2001, Cuba, p. 144, [Consultado: 28 de abril de 2016], Disponible en: <<http://www.ipf.cu/es/content/an%C3%A1lisis-y-cartograf%C3%A9tica-de-la-vulnerabilidad-la-inseguridad-alimentaria-en-cuba>>.
28. Ponvert-Delisles, B. D. R. *La Agricultura y los desastres en Cuba. Enfoque de gestión de riesgos*. Ed. Académica Española, 2015, Madrid, España, 437 p., ISBN 978-3-659-09909-0.
29. Hernández, A. M. y Moragues, J. A. *Uso de la Información Espacial para la Gestión de Emergencias* [en línea]. no. 3, Inst. Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE), 2002, Buenos Aires, Argentina, p. 63, [Consultado: 28 de abril de 2016], Disponible en: <https://www.conae.gov.ar/index.php/english/component/docman/doc_download/12-uso-de-la-informacion-espacial-para-la-gestion-de-emergencia>.
30. Kogan, F. N. "Remote sensing of weather impacts on vegetation in non-homogeneous areas". *International Journal of Remote Sensing*, vol. 11, no. 8, 1 de agosto de 1990, pp. 1405-1419, ISSN 0143-1161, DOI 10.1080/01431169008955102.
31. Scian, B. y Donnari, M. "Retrospective Analysis of the Palmer Drought Severity Index in the Semi-Arid Pampas Region, Argentina". *International Journal of Climatology*, vol. 17, no. 3, 15 de marzo de 1997, pp. 313-322, ISSN 1097-0088, DOI 10.1002/(SICI)1097-0088(19970315)17:3<313::AID-JOC112>3.0.CO;2-W.
32. Ravelo, A. C. y Pascale, A. J. "Identificación de la ocurrencia de sequías mediante imágenes del satélite NOAA e información terrestre". *Revista Facultad de Agronomía*, vol. 17, no. 1, 1997, pp. 101-105, ISSN 1669-9513.
33. Mu, Q.; Zhao, M.; Kimball, J. S.; McDowell, N. G. y Running, S. W. "A Remotely Sensed Global Terrestrial Drought Severity Index". *Bulletin of the American Meteorological Society*, vol. 94, no. 1, 22 de junio de 2012, pp. 83-98, ISSN 0003-0007, DOI 10.1175/BAMS-D-11-00213.1.
34. Sivakuma, M. V. K. y Hinsman, D. E. *Satellite Remote Sensing and GIS Applications in Agricultural Meteorology and WMO Satellite Activities* [en línea]. AGM-8, WMO/TD-No. 1182, Inst. World Meteorological Organization-United Nation Organization, 2004, Geneva, Switzerland, p. 21, [Consultado: 28 de abril de 2016], Disponible en: <<http://www.wamis.org/agm/pubs/agm8/Paper-1.pdf>>.
35. García, S. G.; Baille, A.; González, M. M.; Martínez, V.; Urrea, M.; Hernández, Z.; Nortes, P. y Tanguy, M. "Desarrollo y aplicación de indicadores de alerta temprana frente a sequías a escala regional desde MODIS" [en línea]. En: *TELEDETECCIÓN-Hacia un mejor entendimiento de la dinámica global y regional*, Ed. Martin, Argentina, 2007, p. 7, ISBN 978-987-543-126-3, [Consultado: 29 de abril de 2016], Disponible en: <http://www.upct.es/~agua/PUBLICACIONES/CONGRESO_TELEDETECCION_2007.pdf>.
36. García, H. F. J.; Campos, T. M.; Sabater, N.; Belda, F.; Moreno, A.; Gilabert, M. A.; Martínez, B.; Pérez, H. A. y Meliá, J. "Vulnerabilidad de la vegetación a la sequía en España". *Revista de Teledetección*, no. 42, 16 de diciembre de 2014, p. 29, ISSN 1988-8740, 1133-0953, DOI 10.4995/raet.2014.2283.
37. González, M. L.; Paredes, F. P. y Rial, P. H. "Severidad de la sequía en Santa Cruz. Evaluación a través de índices de vegetación de imágenes MODIS". En: *Jornadas Regionales de Información Geográfica y Ordenamiento Territorial*, Ed. Ministerio de Secretaría General de la Gobernación, Santa Cruz, Argentina, 2009, p. 23, ISBN 978-087-25302-0-4.
38. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medioambiente. *Situación de la Sequía. Diagnóstico de la Situación a 11 de enero de 2012* [en línea]. (ser. Publicaciones Oficiales, Boletín de Novedades), Resumen Ejecutivo, no. NIPO: 280-12-024-5, Inst. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medioambiente, 20 de enero de 2012, Madrid, España, p. 32, NIPO: 280-12-024-5, [Consultado: 29 de abril de 2016], Disponible en: <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0ahUKEwjHz8fk_7HMAhWBG5AKH-dGvAwkQFggdMAA&url=https%3A%2F%2Fservicios.mpr.es%2Fdocumentacion%2Fvisor-documentosicopo.aspx%3FNIPO%3D280120245%26SUBNIPO%3D0002&usg=AFQjCNHViBmXeYhpOj6syAfkfSjKPFzLg&sig2=n5_7SWZlaJ8kN98HJ7XO-5Q&cad=rja>.

Recibido: 15 de abril d 2015

Aceptado: 2 de noviembre de 2015