

Intensidad y persistencia de la sequía en SW de Guantánamo: uso de índices ISA e IPS

José Evelio Gutiérrez Hernández

email: joseevelio@geo.uh.cu

Facultad de Geografía, Universidad de La Habana. San Lázaro y L, Vedado, La Habana, Cuba.

Verónica Crespo Regalado

email: veronica.crespo@geo.uh.cu

Facultad de Geografía, Universidad de La Habana. San Lázaro y L, Vedado, La Habana, Cuba.

María Engracia Hernández Cerda

email: mehc@unam.mx

Instituto de Geografía, UNAM, México.

RESUMEN

Los valores altos y bajas frecuencias de lluvia de esta provincia se localizan en su porción suroccidental. Aquí se describen las condicionantes geográficas locales que determinan esto, se evalúa la intensidad y persistencia de la sequía meteorológica SM, como rasgos clave de severidad del fenómeno, a través del Índice Global de Sequía Anual ISA y del Índice de Persistencia de la Sequía IPS, ya aplicados en otras áreas del país; el IPS es un indicador único en su tipo. Ambos índices se usaron de modo combinado, según su metodología. El estudio se desarrolló entre 1982-2015. Ofrece una clasificación del grado de sequía anual por categoría, la secuencia y persistencia de años secos, y demuestra que en esta área la SM se hace severa, recurrente y que ha tenido aumento gradual.

Palabras clave: grado de sequía, índices de sequía, intensidad de la sequía, persistencia de la sequía, sequía meteorológica.

Intensity and persistence of drought in SW of Guantnamo: use of ISA and IPS indices

ABSTRACT

The highest values and lowest frequencies of rain in Guantnamo province, are located in its southwestern part, due to local geographical conditions described here. The intensity and persistence of meteorological drought are evaluated, as key factors of severity of this phenomenon, using the Global Index of Drought ISA and The Drought Persistence Index IPS. Both were used in combined form, according to the established methodology, and had been applied as well in other parts of the country in recent years. IPS is a unique index of its type. Drought degree by years were determined, according to the established categories, and the sequence and persistence of the driest year, during 1982-2015. Results demonstrate that this geographic area shows a severe, steady and increasing drought phenomenon in the last years.

Keywords: drought degree, drought indices, drought intensity, drought persistence, meteorological drought.

INTRODUCCIÓN

La anomalía pluviométrica y en particular las características del fenómeno de la sequía son imprescindibles de investigar, por la repercusión que tienen en diversos campos de la vida y de la sociedad, de lo cual no escapa, incluso, el ámbito técnico-productivo, especialmente vinculado con la Hidrología, la Hidráulica, la agricultura y la industria, teniendo especial incidencia en la planeación hidrológica, en la actividad de riego y en las operaciones hidráulicas, con destaque en los embalses y acuíferos, por solo citar algunas.

La provincia Guantánamo presenta el mayor contraste pluviométrico de Cuba, pues registra los mayores acumulados anuales de lluvia del país (superiores a 2 500 mm e incluso a 3 000) y a su vez los menores (promedios de alrededor de 900 mm con mínimos muy inferiores), en áreas diferentes de ese propio territorio. Los valores más bajos y la menor frecuencia de pluviosidad, se localizan en la porción suroccidental de la misma, y por tanto de alto interés, que constituye el área objeto de estudio. Ello obedece al efecto de factores locales.

En este artículo se describen las condicionantes geográficas particulares que determinan el deficiente régimen pluviométrico y las manifestaciones de SM de esta área geográfica. De modo específico se evalúan la intensidad y la persistencia, como dos de los rasgos más significativos e interesantes de severidad de este fenómeno natural, características que no han sido suficientemente estudiadas en ella con anterioridad. Para ello, se desarrolla y expone la aplicación del Índice Global de Sequía Anual *ISA* y del Índice de Persistencia de la Sequía *IPS*, propuestos y aplicados anteriormente por Gutiérrez et al. (2007), uno de los autores de esta publicación, en otras áreas del país; el *IPS* es, de hecho, el único indicador existente en la literatura especializada para evaluar el nivel de persistencia de la SM y debe calcularse a partir de los resultados del *ISA*. El estudio se desarrolló para el período reciente que antecede: 1982-2015.

La Organización de las Naciones Unidas, en su documento de la Convención de Lucha Contra la Desertificación (ONU 1994) citado en Hernández et al. (2007) define la sequía como “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”.

Existen diversas definiciones sobre sequía y la diferencia principal entre ellas consiste en que algunas de ellas enfatizan la identificación de los límites de inicio y fin del fenómeno, su intensidad, frecuencia y otras características, centrándose en sus magnitudes, mientras otras se enfocan en precisar la definición conceptual del fenómeno. Las primeras se han clasificado como definiciones operacionales y las segundas como conceptuales según Wilhite y Glantz (1985) citado por Hernández et al. (2007). Para ellos “la sequía es un proceso natural errático, que se origina como resultado de una deficiencia de precipitación durante un período de tiempo extenso, generalmente de una estación climática o más, provocando en consecuencia un desbalance hídrico, afectando con ello las actividades humanas y ambientales; se trata de una situación deficiente de precipitación en relación con un comportamiento promedio considerado como normal”.

Esos dos investigadores, en su trabajo “Understanding and Defining Drought” definen cuatro tipos de sequía, atendiendo principalmente a sus efectos: meteorológica, agrícola, hidrológica y socioeconómica. Pero ellas responden en realidad a la magnitud y transcendencia de un mismo fenómeno: la carencia de precipitación. Es decir, que este fenómeno se clasifica en una de las

cuatro categorías mencionadas (considerados tipos de sequía), en dependencia de su magnitud y del grado de afectación que presente; por ello, está escalonadamente vinculado con las diferentes esferas mencionadas. Cualquier tipo de sequía parte de la de tipo meteorológico, que siempre estará presente, como antesala y trasfondo del fenómeno, formando parte de este.

Si bien la sequía tiene un desarrollo menos rápido y dramático que otros desastres naturales, tales como los sismos, tormentas, inundaciones y otros, sus efectos suelen ser de enorme trascendencia -incluso devastadores- debido a su alcance, pues tienen carácter regional y en ocasiones global. Sus efectos directos e indirectos están fuertemente relacionados con la producción de alimentos, la reserva de agua en el suelo, el sustento del ganado, la vida silvestre y en general con la posibilidad de cualquier forma de vida en un lugar determinado (National Drought Policy Commission 2000) citado en Hernández et al. 2007).

El National Drought Mitigation Center de los Estados Unidos considera que los efectos de la sequía pueden ser analizados desde diferentes perspectivas; a saber: económica, ambiental, social e incluso otras. Gutiérrez y Hernández (2016) desarrollan una panorámica de los tipos de índices de sequía que se aplican hoy día, su procedencia, características y tipos en que se clasifican, además de otros aspectos de interés. Según estos autores es recomendable la aplicación de varios de estos diferentes índices y no solamente de uno de ellos - como se practica la mayoría de las veces en muchas partes - para poder evaluar mejor los distintos rasgos que caracterizan este tipo de evento.

La sequía y especialmente la meteorológica, se considera, en términos simples, como una carencia prolongada de lluvia con respecto al promedio histórico, en un lugar determinado y durante un período específico de tiempo. Es un fenómeno de gran importancia, por la afectación productiva, económica y social que provoca, que se incrementa cada año a consecuencia de la variabilidad y del cambio climático.

Por ser un fenómeno de desarrollo lento y de amplia escala, puede y suele ocasionar efectos negativos en los ámbitos económico, social y ambiental y en casos extremos puede provocar graves problemas para la sociedad, debido a que con frecuencia ocasiona la disminución drástica o la desaparición de los caudales de muchos ríos, reducción de la cantidad de agua almacenada en lagos, embalses y acuíferos y con ello la disponibilidad para el suministro a la población, la industria, la actividad pecuaria, agrícola y otras, generando pérdidas económicas considerables, en la producción de alimentos, en la producción ganadera, en la producción maderable, incremento de costos de energía, pérdidas en actividades industriales y alza de precios en el mercado. Contribuye asimismo a generar enfermedades infecciosas en los asentamientos humanos, salinidad y degradación de los suelos, incendios forestales y deterioro ambiental diverso. Todo esto unido al mal manejo de los recursos hídricos, del bosque y de los suelos, y al incorrecto empleo de las tecnologías por parte del hombre, pueden conducir a la degradación de las tierras, e incluso a la desertificación. Su comportamiento extremo puede provocar estrés hídrico, principalmente agrícola, conflictos sociales por el uso del agua o de mejores tierras, incremento de la pobreza, hambrunas, éxodos migratorios, abandono de tierras agrícolas y hacinamiento en las ciudades.

Todavía se puede hacer poco para evitar la sequía, pero se trabaja para reducir al mínimo sus efectos a través de diversas medidas, antes y después de la ocurrencia del fenómeno; o para la adaptación al fenómeno de actividades productivas y sociales clave. Para esto es necesario conocer las características y manifestación del mismo a nivel local, nacional y regional, teniendo

en cuenta la magnitud, frecuencia y prolongación de los episodios de sequía. Para el análisis de este fenómeno tan nocivo, existen diferentes métodos de estudio, dentro de los cuales, los más frecuentemente utilizados son los índices de sequía; es decir, la aplicación, cálculo y análisis de indicadores o índices específicamente diseñados para evaluar el fenómeno, con los cuales se pueden conocer las diferentes características que puede tener un evento de sequía o el conjunto de episodios de este tipo que han ocurrido en un lugar determinado en un período prolongado de tiempo (sus rasgos de comportamiento). Así, existen diversos índices de este tipo, algunos más conocidos y utilizados que otros, pero todos tienen ventajas en su uso, pues permiten evaluar aspectos determinados de las manifestaciones del fenómeno, además de la fecha, estación o año en que se manifiesta, tales como la duración, intensidad, frecuencia (recurrencia), estado, permanencia y severidad de la sequía. Ver Bazrafsha et al. (2014), Heim (2002) y Gutiérrez y Hernández (2016) y Hernández (2000).

Como problema científico en este caso, se tiene que Guantánamo es una de las provincias cubanas más fuertemente afectadas por la sequía, históricamente; especialmente en su porción sur-occidental. Por ello, en zonas como la mencionada, se necesita conocer las diferentes características del fenómeno, sobre todo mediante la aplicación de índices no utilizados con anterioridad, como el ISA y el IPS.

Se pretende evaluar estos aspectos en esa área geográfica en los últimos años, a partir de los indicadores citados, tomando como referencia los datos de lluvia de los dos pluviómetros más confiables existentes, los cuales están radicados en esa área costera y meridional, ambos a poca distancia de la costa: los pluviómetros de las estaciones climáticas de Guantánamo y Caujerí (ver figuras 1 y 2); es decir, evaluar dos de los rasgos más importantes que caracterizan este tipo de fenómeno en la zona de estudio, que es una de las más secas de Cuba: la intensidad y la persistencia de los episodios de sequía meteorológica ocurridos en los últimos años.

Por las características de estos índices, que se explican más adelante, se puede conocer mejor, no solamente la intensidad y persistencia, sino además la severidad que ha caracterizado el fenómeno, teniendo en cuenta las diferentes variables que permiten evaluar la manifestación del mismo, y que forman parte de las ecuaciones (1), (2) y (3) utilizadas, que se expresan más adelante.

CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

La zona o porción suroccidental de la provincia Guantánamo, es considerada el área geográfica con más bajos valores de lluvia del país (su acumulado anual generalmente oscila entre 700 y 1000 mm y en ocasiones son inferiores), con incidencia en la vida económica y social de sus respectivos municipios.

Ello se debe a la combinación de varios factores climáticos y físico-geográficos locales, que pueden resumirse en: su posición meridional en el territorio oriental del país, particularmente al sur-suroeste de varios macizos montañosos que sirven de apantallamiento pluvial, debido a que constituyen barreras topográficas que impiden la llegada de los vientos alisios húmedos del NE (efecto de sombra pluviométrica); su baja hipsometría y cercanía a la costa, fuera del alcance de las lluvias convectivas de verano, típicas del centro del territorio insular; su localización en el corredor de menor pluviometría del país, la franja costera sur; su ubicación fuera de las áreas montañosas donde se produce lluvia orográfica; y principalmente, debido a la incidencia marcada del anticiclón del Atlántico Norte, especialmente de su porción dorsal suroccidental en

la época poco lluviosa del año en el país, que provoca una ausencia casi total en la formación nubosa y las precipitaciones.

Las condiciones climáticas de las localidades referidas, son semejantes entre sí. En ellas predomina, según Köppen, el clima Tropical de Sabana, con manifestaciones de clima Semidesértico en su pequeña porción costera (Lescaille 2009). Presentan precipitaciones escasas la mayor parte del año, especialmente entre noviembre y abril, generalmente por debajo de 850 o 900 mm/año; las temperaturas del aire son muy altas, con un promedio mensual siempre por encima de 26°; y una tasa de evaporación próxima o superior a los 2000 mm anuales (ACC 1989) lo que hace entender la alta pérdida de humedad hacia la atmósfera.



Figura 1. Localización del área de estudio (elaborada por los autores)



Figura 2. Ubicación de las estaciones pluviométricas utilizadas (elaborada por los autores)

Debido a la disminución de la frecuencia y de los acumulados de lluvia en esta zona en los últimos años, a la baja humedad, las altas temperaturas y la alta capacidad evaporante de la atmósfera, combinados con la actividad antrópica de estas localidades, se ha producido, según expertos, un fuerte impacto en la flora y fauna, que ha hecho disminuir las poblaciones de especies que habitaban la zona décadas atrás (comunicación personal de especialistas del Instituto de Ecología y Sistemática del CITMA). Esto refuerza la necesidad, tanto técnica como

científica, de conocer aún mejor el comportamiento del fenómeno bajo estudio, en esta área de la geografía cubana.

Metodología e información utilizadas

El estudio del comportamiento de la SM se desarrolló a partir del uso de los índices *ISA* e *IPS* para las estaciones seleccionadas, y de las variables contenidas en las expresiones de cálculo correspondientes. Los resultados obtenidos se representaron de forma tabular y gráfica, permitiendo realizar una descripción y un análisis de las características del fenómeno en el área en las últimas décadas, a partir de un enfoque geográfico.

Su desarrollo constó de las siguientes acciones: definición de los objetivos de la investigación; determinación del período de estudio; selección de las estaciones pluviométricas a utilizar; inventario de datos de lluvia diaria para el período total examinado, por estación; procesamiento de los datos; cálculo de las variables y de los índices aplicados; síntesis y representación gráfica del comportamiento de estos y de los eventos de sequía ocurridos; interpretación y análisis de los resultados, conclusiones y recomendaciones. Los datos utilizados en este trabajo no requirieron evaluación de calidad, pues son los datos oficiales de lluvia del INSMET, la institución rectora de la meteorología en el país, están aprobados por su Consejo Técnico, y se consideran datos certificados (Cutié y Lapinel 2013).

Es decir que ambos índices se aplicaron a los dos pluviómetros con registros completos dentro de los existentes en el área, consecuentemente más confiables. Ella es considerada el área geográfica con más bajos valores de lluvia del país y de mayor manifestación de sequía. O sea, que atendiendo a la pequeña extensión espacial de la porción de territorio objeto de este estudio y a la conveniencia del empleo de estaciones pluviométricas con registros completos de lluvia diaria, como lo requieren los indicadores utilizados, fueron seleccionados los pluviómetros de las estaciones climáticas (los de mayor calidad y fiabilidad dentro de los pluviómetros existentes): estación no. 78368 “Guantánamo” (1982 a 2015), localizado en el municipio de igual nombre, y estación no. 78319 “Caujerí” (1995 a 2015), localizado en el municipio San Antonio del Sur. Los datos de esta última iniciaron en el año 1995, que aunque es un período algo menor, es superior a 20 años y con datos de buena calidad (certificados), considerados aceptables para los propósitos del presente estudio.

La descripción de los índices, que se presenta a continuación (Gutiérrez et al. 2007), no solamente permite conocer las características de cada uno de ellos, sino además, describir el aspecto metodológico que corresponde al empleo de uno y otro.

Índice Global de Sequía Anual (ISA)

El *ISA* se fundamenta en la determinación de la cantidad total de días sin lluvia en el año, y en el número máximo de días consecutivos con esta característica, para el mismo período, adicionalmente al acumulado periódico. No atiende solamente a la carencia neta de lluvia, sino que también considera otros rasgos de escasez, propios de sucesos de sequía de corto y mediano plazo.

Este índice es muy ventajoso, pues ninguno de los índices de SM que se utilizan, valoran la consecutividad de ausencia pluvial (cantidad continua de días sin lluvias), que es aquí una de las variables clave a evaluar; y en este caso toma la máxima extensión de este fenómeno dentro del año, como factor de peso. Por ello, este es un índice mucho más efectivo que otros para conocer

el grado de sequía en un lugar determinado, por su alcance y porque integra varios factores o rasgos del fenómeno en una misma ecuación.

Otros índices de SM no han combinado en una expresión, al mismo tiempo, diferentes variables relativas a características diferentes de la sequía de este tipo (meteorológica). Lo anterior explica su alta sensibilidad y la ventaja de su uso para evaluar la intensidad de este fenómeno, especialmente a mediano y largo plazo. Además, la determinación de los referidos índices, se realiza a partir de cálculos numéricos que se practican directamente con la información de lluvia registrada.

El índice *ISA* se expresa de la manera siguiente:

$$ISA = CPA \frac{DSLL \cdot CCDS}{DSLL + CCDS} \quad (1)$$

$$CPA = P/Po \quad (2)$$

donde:

CPA: coeficiente de precipitación anual

DSLL: cantidad total de días sin lluvias en el año

CCDS: cantidad máxima consecutiva de días sin lluvias en el año

Po: precipitación anual, en mm

P: precipitación promedio anual (para el período de observación), mm; debe ser ≥ 20 años

A partir de los valores resultantes se procede a clasificar los años con manifestación de sequía, por su grado de magnitud, a partir de la tabla 1.

Tabla 1. Clasificación de la magnitud de la sequía, según el *ISA*

Grado de sequía	Rango de valores	Nomenclatura
Muy Severa	> 40	MS
Severa	35 - 40	S
Moderada	30 - 35	Md
Ligera	25 - 30	L
Ausente	< 25	A

fuelle: Gutiérrez et al. (2007)

El *ISA* es un índice global debido a que su primer parámetro *CPA* puede indicar, por sí solo, si hubo un año seco o no, puesto que, teniendo en cuenta la relación P/Po , los resultados mayores que 1 corresponden a años secos y reflejan que el acumulado estuvo por debajo de la media; y a la inversa, si el año resulta húmedo. Ese elemento, al multiplicarse por el otro miembro de la expresión, que es un quebrado que recoge los parámetros *DSLL* y *CCDS*, incrementa el índice si *CPA* es mayor que la unidad y lo disminuye si es menor que uno.

De lo anterior se puede concluir que, si el *ISA* resulta alto, hubo poca cantidad neta de precipitación, gran cantidad de días sin lluvias, gran cantidad de días consecutivos secos, o una combinación de ellos, y por tanto, una sequía acentuada.

Índice de Persistencia de la Sequía (IPS)

Este índice está diseñado, específicamente, para evaluar la recurrencia de la sequía meteorológica en los últimos años. Para ello, toma como referencia el comportamiento del fenómeno en los últimos cinco años que anteceden a cada uno, cronológicamente. Expresa la perdurabilidad o permanencia del referido fenómeno anómalo; lo cual se resume en el término que da nombre a este índice: Persistencia de la Sequía. De este modo es un indicador sensible a la permanencia o a la repetición del fenómeno en el período inmediato que antecede, equivalente a un lustro.

El Índice de Persistencia de la Sequía *IPS*, responde a la ecuación (3) siguiente.

$$IPS = 2 \sqrt{\frac{|P - P_o|}{P + P_o}} + n \quad (3)$$

donde: P_o : precipitación anual, en mm

P : precipitación promedio anual (período de observaciones) en mm; debe ser ≥ 20 años

n : cantidad de años secos antecedentes, dentro de los últimos cinco.

Este índice tiene dos variantes de aplicación: Variante A y variante B

Variante A: Utilizar como referencia para los años secos antecedentes, los años con sequía (Ligera a Muy Severa) establecidos a través del Índice Global de Sequía Anual y explicado anteriormente.

Variante B: Utilizar como referencia para los años secos antecedentes los correspondientes a una probabilidad igual o inferior al 75% (valor propio de un año típico seco): $P_{75\%}$.

El procedimiento solamente cambia en su etapa final de aplicación, mientras la clasificación se efectúa a partir de los mismos rangos de valores que se mencionan más abajo. Sin embargo, los resultados no son los mismos, debido a que cada variante tiene una interpretación diferente, acorde con el parámetro de referencia utilizado.

Utilizando el *IPS* a partir de la variante B, se determina la persistencia del fenómeno atendiendo solamente al acumulado de lluvia. Sin embargo, utilizando la clasificación obtenida con el *ISA*, se determina la persistencia de sequía anual, atendiendo tanto a la baja pluviosidad como a la cantidad neta de días sin lluvia, a la prolongación máxima del período con carencia pluvial, también expresado en días, o a la combinación de los tres factores –recogidos indirectamente en el *ISA*–, siendo un criterio más abarcador y sólido; motivo por lo que el autor de estos índices recomienda el uso de la variante A. Es decir que, el *IPS*, calculado a partir del *ISA*, no solamente refleja la permanencia de sequía de los últimos años por carencia de lluvia, sino que también expresa, indirectamente, la incidencia de otros rasgos de su comportamiento (recogidos en el *ISA*) propios de eventos de sequía de corto y de mediano plazo; esto explica la preferencia de utilizar el *IPS* combinado con el *ISA*, siendo la variante seguida aquí.

Se aplica a cada valor anual de la serie cronológica, exceptuando los años sin manifestación de sequía (cuando *ISA* da ausente), dada la ruptura de la continuidad del fenómeno (NE); y se tiene en cuenta además el carácter seco o no de los cinco años precedentes (n), según el resultado de ese propio indicador. Así mismo, cuando P_o es mayor que P no se calcula, y el *IPS* se considera también nulo ese año.

La clasificación del *IPS* por rangos o categorías de valor, se realiza como se muestra en la tabla 2. Cada uno de los descriptores referidos para cada índice, permite catalogar el comportamiento respectivo de uno y otro, a partir de los rangos o categorías aquí establecidas. Debe aclararse que en los resultados secuenciales del *IPS* para una serie anual, los cinco primeros valores no se analizan, debido a que en ellos “*n*” resulta poco preciso, dada la carencia de datos y el desconocimiento de la lluvia (y del *ISA*) en los años que anteceden al primer valor de la serie estudiada. Por esa razón en las tablas y gráficos correspondientes al *IPS* ellos no se reflejan, en aras del rigor del análisis desarrollado, tal y como lo sugiere el autor del método; ver Gutiérrez et al. (2007).

Tabla 2. Clasificación de la persistencia de la sequía

Persistencia	Rango de valores	Nomenclatura
Nula	< 1,5	NE (no existe)
Baja	1,5 - 2	B
Moderada	2 - 3	Md
Alta	3 - 5	A
Muy alta	> 5	MA
fuente: Gutiérrez et al. (2007)		

DETERMINACIÓN DE LOS ÍNDICES DE SEQUÍA *ISA* e *IPS*

Índice Global de Sequía Anual (*ISA*)

El conteo de la cantidad de días sin lluvia y del número máximo de días consecutivos sin presencia de lluvia, se efectuó a partir del procesamiento estadístico de los registros diarios, con auxilio del Excel Windows. En el caso de la estación Guantánamo, pudo disponerse de un periodo de 34 años de observación, pero para la de Caujerí, de solo 21, tomados de las bases de datos del Centro del Clima del Instituto de Meteorología INSMET. A partir de cada una, se calcularon las variables *DSLL* y *CCDS*, año por año. Por otro lado se obtuvo el acumulado de precipitación de cada año y se calculó el coeficiente de precipitación anual *CPA*. Sustituyendo estos valores para cada año, en la ecuación (1), se obtuvieron los valores del *ISA* para cada estación. En la tabla 3 se clasifica cada año atendiendo a la categoría de sequía que le corresponde, según el *ISA*, y en la tabla 4 se contabiliza la cantidad, por categoría.

Tabla 3. Distribución por categoría del *ISA* para los dos pluviómetros
(elaborada por los autores a partir de los cálculos del *ISA*)

Guantánamo 78368					Caujerí 78319				
MS	S	Md	L	A	MS	S	Md	L	A
1982	1990	1984	1999	1985	1997	1999	1998	2000	1995
1983	1996	1988	2002	1989	2003	2002		2014	1996
1986	2011	1994	2003	1993	2004	2010			2001
1987	2014	1995	2008	1997	2013	2012			2005
1991		1998	2009	2000	2015				2006
1992		2005	2010	2001					2007
2004		2012	2013	2006					2008
2015				2007					2009
									2011

Como resultado de los cálculos del ISA en el pluviómetro analizado se obtuvo un número considerable de años secos en el municipio para el período (26), siendo en su mayoría MS, Md y L. Es importante destacar que muchos obedecieron a la existencia de un gran número consecutivo de días sin llover. Se encontró además que hubo 7 años consecutivos secos, lo que indica que el fenómeno es de consideración en esta porción de la provincia; solamente en 8 años no hubo manifestación. Estos resultados concuerdan con el hecho de que Guantánamo es considerada una de las zonas más extremadamente secas del país. Ver datos y gráficos referidos por Cutié y Lapinel (2013). Los resultados del segundo pluviómetro analizado 78319 (Caujerí) aparecen a la derecha de la tabla 3, y su clasificación quedó resumida en la tabla 5, de la manera siguiente: en este otro pluviómetro (Caujerí) se aprecia también el predominio del fenómeno (12 años), aunque un poco menos severa que en el anterior con 9 años sin manifestación y cabe señalar que hubo 5 años consecutivos sin eventos de este tipo.

Tabla 4. Cantidad de años por categoría de sequía según ISA
Pluviómetro 78368 (elaborada por los autores)

Clasificación	Cantidad
MS	8
S	4
Md	7
L	7
A	8

Los años más críticos de sequía resultaron ser los de menos días sin lluvia en el año, con mayor cantidad de días consecutivos sin lluvia, y los de baja acumulación de precipitación anual. Es decir que cualquiera de estos aspectos o la combinación de varios de ellos, arroja un valor alto del índice. Es oportuno en consecuencia destacar, que con el ISA se puede detectar y definir la sequía de una forma integral y catalogar eficazmente el grado o categoría que presenta; o sea, se considera que el ISA presenta gran efectividad por la combinación de los aspectos evaluados, cuestión ya explicada antes.

Atendiendo a estas características, el año 2004 fue un año crítico para la porción SW de esta provincia. Como se examinó un período común de 21 años para los dos pluviómetros, hasta la fecha de cierre del estudio se apreció que la gran mayoría de estos años presentaron sequía al menos en una de las dos localidades, con excepción del 2001, 2006 y 2007 en que no ocurrió en ninguna de las dos; estos resultados ponen de manifiesto la magnitud que alcanza este nocivo y peligroso fenómeno en esa área geográfica.

Tabla 5. Cantidad de años por categoría de sequía, según el ISA
Pluviómetro 78319 (elaborada por los autores)

Clasificación	Cantidad
MS	5
S	4
Md	1
L	2
A	9

Las figuras 3 y 4 representan de manera esquemática la cantidad de años por categoría, del ISA y del IPS respectivamente, para el período de estudio de cada pluviómetro.

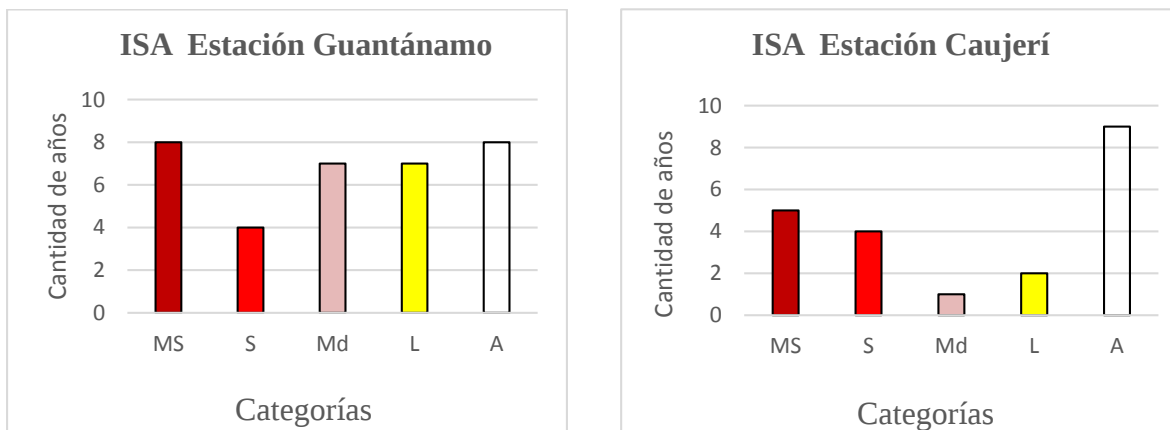


Figura 3. Distribución del ISA por categoría y pluviómetro (elaborada por los autores)

Índice de Persistencia de la Sequía (IPS)

Su cálculo se desarrolló a partir de la variante A explicada en el tópico anterior. La tabla 6 resume los resultados por año.

Tabla 6. Resultados del valor del IPS para los dos pluviómetros
(elaborada por los autores con datos procedentes del INSMET)

Guantánamo 78368					Caujerí 78319			
MA	A	Md	NE	Po>P	A	Md	NE	Po>P
2013	1987	1996	1998	1989	2000	2013	2009	2001
2014	1990	1997		1993	2002		2012	2005
2015	1991			1994	2003			2006
	1992			1999	2004			2007
	1995			2001	2014			2008
	2000			2002	2015			2010
	2004			2003				2011
	2008			2005				
	2009			2006				
	2012			2007				
				2010				
				2011				

A través de los cálculos realizados se obtuvo que en ambas estaciones pluviométricas hubo una cantidad de años con persistencia perceptible, predominando la A y MA, evidenciando correspondencia con las características poco lluviosas de este territorio: porción SW de la provincia; así mismo que en la estación Guantánamo se hizo más notable que en la de Caujerí. Todo ello se aprecia en las tablas y gráficos anteriormente mostrados. Esto, como se ha expuesto antes, obedece a varios factores distintos relacionados con la escasez de lluvia, tanto a la carencia dentro del propio año, como en los años inmediatos anteriores. Sin embargo, lo más relevante de

los resultados del *IPS*, es lo referido al valor que arroja para grupos de años consecutivos en que este índice es significativo (se sitúa en algunas de las tres primeras categorías: MA, A, Md), reflejando una racha o período interanual con manifestación continuada del fenómeno; o sea, persistencia de sequía. La tabla no. 6 recoge los años específicos con diferente categoría de este indicador: 3 MA, 10 A y 2 Md en el caso de Guantánamo y 6 A y 1 Md en el caso de Caujerí. En ambas estaciones muy pocos años reflejaron ausencia de este fenómeno y en un grupo de años el índice no se calculó, por considerarse no procedente, de acuerdo con el método (cuando $P_o \geq P$); consecuentemente, en ellos también se interpreta que no existe persistencia.

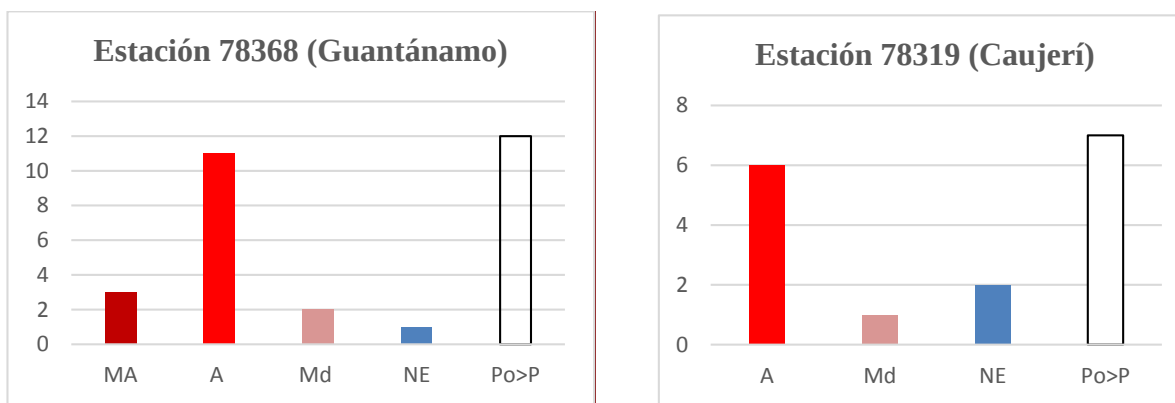


Figura 4. Distribución de la cantidad de años por categoría del IPS
(elaborada por los autores)

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Pluviómetro 78368 (Guantánamo)

Solamente ocho años, del conjunto analizado para esta estación, no presentaron sequía (en esta localidad), y son, en su mayoría, años dispersos, excepto 2000-2001 y 2006-2007. Los 26 restantes clasificaron en alguna de las cuatro categorías, que van de L a MS. Si se comparan los resultados del *ISA* con la estación Caujerí, a partir del 2000, periodo con observación común para ambas, de doce años que clasificaron como secos en Guantánamo (2002, 03, 04, 05, 08, 09, 10, 11, 12, 13, 14 y 15), ocho de ellos también lo fueron en Caujerí.

De modo general, se destacaron por su repetición consecutiva en alguna de estas categorías secas (teniendo en cuenta el *ISA* y también el *IPS*) los años que van de 1986 a 1992 (salvo 1989), y los comprendidos entre 2008 y 2015, periodos en los cuales el *ISA* expresó franca manifestación de sequía. Estos períodos resultaron los más significativos del conjunto analizado para la estación Guantánamo. Esta característica se corresponde con los resultados del *IPS*, que es un indicador más dirigido a detectar consecución en la intensidad del fenómeno, reflejando persistencia en la mayoría de esos años (exceptuando 1989) en el primer periodo y 2010 y 2011 en el segundo. Este rasgo severo de los episodios de sequía, con un *IPS* sostenido, se hizo más notable entre 1987 y 1992, siendo el período de mayor persistencia, es decir, el más prolongado con *IPS* alto para la localidad de Guantánamo (ver figura 5); y en segundo lugar el periodo que va de 2011 al 2015, con predominio del *IPS* alto o muy alto; especialmente a partir del 2012, considerándose el segundo período de comportamiento drástico, aunque menos largo que el anterior.

refieren diferentes investigadores cubanos en el tema. Esta gráfica reafirma los resultados obtenidos con la aplicación del *ISA* a partir del 2008 en que la precipitación promedio baja significativamente, puesto que este índice reflejó manifestación continuada de sequía hasta 2015 en Guantánamo, y similar característica en Caujerí a partir del 2010 y hasta el 2015 y una persistencia notable entre 2012 y 2015.

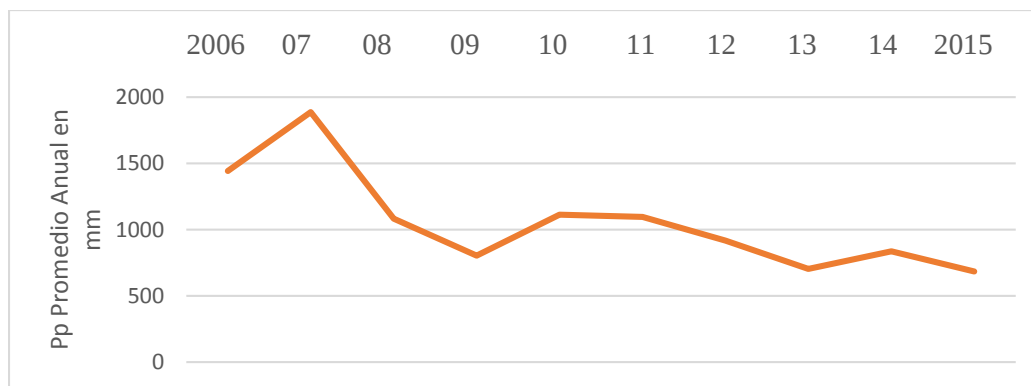


Figura 7. Precipitación promedio anual para las estaciones Guantánamo y Caujerí en el decenio 2006-2015 (elaborada por los autores con datos del INSMET)

CONCLUSIONES

- Se demostró que el área de estudio, debido a las características físico-geográficas que presenta, es significativamente afectada por la sequía, y particularmente lo fue en el período estudiado 1982-2015.
- De los 34 años analizados en la localidad de Guantánamo, 24 manifestaron sequía en alguna de sus categorías, para un 70 %, y de los 21 años analizados en la localidad de Caujerí, 11 manifestaron sequía, también en alguna de sus categorías, para un 52,4 %. O sea, las manifestaciones de sequía han sido más agudas en la localidad de Guantánamo que en la del valle Caujerí, si bien en esta última fue también apreciable.
- Hubo dos períodos que reflejaron permanencia de sequía durante un número consecutivo de años, siendo el primero de ellos el mayor, con seis años de duración, que se extendió de 1987 a 1992, mientras el segundo fue más corto, de cuatro años, comprendido entre 2012 y 2015.
- Para el período común de estudio entre ambas localidades, la mayor recurrencia del fenómeno se presentó en los últimos 14 años comprendidos entre 2002 y 2015, en que hubo un sostenido decrecimiento de la precipitación; la mayoría de estos años clasificaron como años secos en algunas de las categorías del *ISA* y particularmente en el cuatrienio 2012-15 el *IPS* arrojó permanencia de sequía en ambas localidades.

RECONOCIMIENTO

Los autores expresan su reconocimiento al MSc. Cuauhtemoc Torres Ruata, por su colaboración en la confección del contenido estadístico y de las tablas de este artículo.

REFERENCIAS

ACC (1989). "Nuevo Atlas Nacional de Cuba". Edit. Inst. de Geografía de la Academia de Ciencias de Cuba. Acad. de Ciencias de Cuba e Inst. Cubano de Geodesia y Cartografía, ISBN: 84-7819-007-4. La Habana, Cuba.

Bazrafsha J., Hejabi S. and Rahimi J. (2014). "Drought monitoring using the multivariate standardized precipitation index (MSPI)," *Water Resources Management*, vol. 28(4), pp 1045-1060, ISSN: 1573-1650, Springer, UK. Extraído de: <https://ideas.repec.org/a/spr/waterr/v28y2014i4p1045-1060.html> en octubre de 2016.

Cutié V. y Lapinel B. (2013). "La sequía en Cuba, un texto de referencia". Edit. AMA. Proyecto 1/OP-15/GEF, 358p, Instituto de Meteorología, CITMA. La Habana, Cuba.

Gutiérrez J. E., Hernández J. C. y López T. (2007). "Utilización de dos índices para evaluar la sequía meteorológica y su aplicación en áreas de interés de Cuba: ISA y IPS". *Geografía, Medio Ambiente y Ordenamiento Territorial*. ISBN 978-959-282-059-3. Editorial DESOFT. La Habana.

Gutiérrez J. E. y Hernández M. E. (2016). "Situación actual de los índices en uso para el estudio de la sequía". *Ciencia de la tierra y el espacio*, vol. 17, no. 2, pp. 183-199. ISSN: 1729-3790. Instituto de Geofísica y Astronomía, CITMA, La Habana. Extraído de: <http://www.iga.cu/publicaciones/revista/numeros.html> en enero de 2018.

Heim R. R., (2002). "A review of twentieth-century drought indices used in USA". *Bulletin of the American Meteorological Society*, 83, 1149-1165. Washington, USA.

Hernández M. E. (2000). "Riesgos climáticos. Índice de Severidad de la Sequía. Fenómenos hidrometeorológicos". Catálogo de información cartográfica digital del SIG para el Ordenamiento Ecológico. Instituto Nacional de Ecología, México.

Hernández M. E., Carrasco G. y Alfaro G. (2007), "Mitos y realidades de la sequía en México". *Temas Selectos de Geografía de México*. Instituto de Geografía, UNAM. ISBN: 978-970-32-4692-2, México.

Lescaille L. (2009). "Los tres climas de Guantánamo". *Diario Juventud Rebelde*. ISSN 1563-8340. La Habana. Extraído de: <http://www.juventudrebelde.cu/cuba/2009-06-23/los-tres-climas-de-guantanamo/> en abril 2017.