

MARCO CONCEPTUAL Y ALGORÍTMICO PARA EL MONITOREO DE LA SEQUÍA INTRAESTIVAL EN EL GRAN CARIBE.

Autores: Roberto Aroche Ramírez, Luis Javier Mompié Beritán, Héctor Maureira, Iomaris Pérez Abraham, Koen Verbist y Raidiel Puig Beltrán.

RESUMEN

Un análisis crítico de una vasta bibliografía especializada, herramientas operativas, modelos conceptuales, sistemas de vigilancia, etc., sobre la Sequía Intraestival de la región del Gran Caribe, de los últimos 60 años, ha revelado que, en la década de los sesentas, en México, se propuso una metodología para su monitoreo a partir de identificarla entre dos máximos relativos de lluvias estivales, así como que Cuba desplegara un exitoso Programa de Voluntad Hidráulica para mitigarla, a la vez que reducía el riesgo de inundaciones por ciclones tropicales; que en décadas posteriores, investigadores mesoamericanos la aplicaron y generaron sus propios enfoques y, que varias instituciones caribeñas pesquisaron sobre sus detonadores causales. Sin embargo, el peligro, particularmente en los últimos 16 años, en un contexto de incrementada variabilidad y acelerado cambio del clima, ha provocado, daños y pérdidas considerables en la sociedad, la economía y el medioambiente regionales. Ello ha develado vulnerabilidades significativas tanto en su prevención, como en su seguimiento, enfrentamiento y gestión. Sobre el peligro en sí, se identificaron diversos vacíos y contradicciones tanto conceptuales como prácticas, entre las que sobresalen incompatibilidades modelos-realidad, en cuanto a escalas espacio-temporales, que revelan la sequía, como fenómeno multicausal en su génesis y multidimensional en su desarrollo, como factor dinámico, recurrente y variable, no sólo bajo la influencia de la circulación atmosférica regional y de peculiaridades fisiogeográficas locales, sino bajo los efectos teleconectivos y del cambio climático. La situación se complejiza por la incertidumbre creada por la diversidad de términos empleados para su denominación y caracterización. Por ello se propone un nuevo marco conceptual y algorítmico con el objetivo de propiciar sinergias regionales, para la prevención y monitoreo del flagelo.

Palabras Claves: Sequía Intraestival, Peligro, riesgo de desastre, Gran Caribe.

ABSTRACT

A critical analysis of a vast specialized bibliography, operational tools, conceptual models, surveillance systems, etc., on the Mid Summer Drought (MSD) of the Greater Caribbean region, over the past 60 years, has revealed that, in the 1960s, in Mexico, a methodology was proposed for its monitoring by identifying it between two relative maximums of summer rains, as well as for Cuba to deploy a successful Hydraulic Will Program to mitigate it while reducing the risk of flooding by tropical cyclones; that in later decades, mesoamerican researchers applied it and generated their own approaches, and that several Caribbean institutions investigated their causal triggers. However, the danger of MSD, particularly in the last 16 years, in a context of increased variability and accelerated climate change, has caused considerable damage and losses in the regional society, economy and environment. This has revealed significant vulnerabilities both in its prevention, as in its monitoring, confrontation and management. On the danger itself, several gaps and contradictions were identified, both conceptual and practical, among which stand out incompatibilities real-models, in terms of space-temporal scales, which reveal the drought, as a multi-causal phenomenon in its genesis and as a multidimensional phenomenon in its development, as dynamic factor, recurrent and variable, not only under the influence of the regional atmospheric circulation and local physiogeographical peculiarities, but also under the teleconnective effects and climate change. The situation is complicated by the uncertainty created by the diversity of terms used for its denomination and

characterization. Therefore, a new conceptual and algorithmic framework is proposed with the aim of fostering regional synergies for the prevention and monitoring of the scourge.

Key Words: Mid Summer Drought, Danger, disaster risk, Greater Caribbean

INTRODUCCIÓN.

El “Gran Caribe” (GC, según Cartagena de Indias, 1992), históricamente, principalmente por su ubicación fisicogeográfica, ha sido afectado por fenómenos geofísicos e hidrometeorológicos extremos, lo que pone de relieve su gran susceptibilidad natural a sufrir el impacto de los mismos; la cual favorece la existencia de una situación de permanente riesgo. Particularmente en los últimos 35 años, dicha susceptibilidad, en combinación con la construcción de vulnerabilidades catalizadas por factores políticos, socioeconómicos, medioambientales y culturales, ha propiciado, en consecuencia, la sostenida tendencia al incremento de la frecuencia y magnitud de desastres de diversos tipos; entre los que predominan los de origen hidrometeorológico, en particular, los asociados a ciclones tropicales y sequías.

Diferentes fuentes de información han puesto de manifiesto que la conocida como Sequía Intraestival, SIE, particularmente en los últimos 16 años, en un contexto de incrementada variabilidad y acelerado cambio del clima, ha provocado, daños y pérdidas considerables en la sociedad, la economía y el medioambiente regionales del GC. Ello ha develado vulnerabilidades significativas tanto en su prevención, como en su seguimiento, enfrentamiento y gestión. La situación de vulnerabilidad referida se agudiza y complejiza, además, por la incertidumbre creada dada la diversidad de términos empleados para su denominación y caracterización.

Como fue reconocido recientemente en un Taller Científico-Técnico Regional (Espejo, 2013), aunque la SIE no es una verdadera sequía en la acepción popularizada o en el sentido de una reducción a casi cero de las precipitaciones durante un período prolongado o con relación a una norma o umbral de referencia dados, sí puede llegar a representar una disminución significativa en la precipitación de hasta un 40%. De manera que conocer el momento de ocurrencia y la magnitud de la SIE es de suma importancia en la región del GC, donde la agricultura es una parte importante tanto de la economía nacional como de la familiar. Una situación particularmente catastrófica es cuando se concatenan por varios años sequías intensas estacionales durante el Período Poco Lluvioso (PPLL) e intraestivales durante el Período Lluvioso (PLL), como pudo haber ocurrir entre 700 y 750 años d. C. cuando tuvo lugar la desaparición de la cultura Teotihuacana.

En Mesoamérica, aunque a lo largo de más de 60 años abundan las investigaciones sobre la SIE, Mosiño y García, (1966), Guzmán G. T.(1981), Ramírez P; (1982) Tejeda y Maruri, (1991), García y Fernández,(1996), García et al; (2003) y otros, teniendo como consecuencia el desarrollo de diversos enfoques para identificar y monitorearla, aún no han sido estandarizados ni integrados de una manera complementaria y armonizada, todo lo cual demanda de una inminente combinación en un Sistema de Alerta Temprana del flagelo, según (Aroche et al., 2014).

Si bien con respecto a la biestacionalidad de las lluvias en Cuba, ésta ha sido abordada por todo una pléyade de investigadores a lo largo de más de un siglo de pesquisas, Millás J. C., (1943), Trusov I., (1967), Lapinel B., (1988), Lecha et al., (1994), Aroche et al.,2004 INRH; (2006) y otros, cuyos trabajos han sido recopilados, referenciados, resumidos, corroborados y enriquecidos por Planos et al., (2005) con énfasis en las lluvias máximas y grandes precipitaciones y por Aroche R. R.,(2009), en el país han sido escasos los estudios que han hecho referencia a la bimodalidad del PLL con una intencionalidad de escudriñarla en sí misma o considerando la disminución pluviométrica que ella lleva implícita, ya sea en aislado o en conjunto. Dicha disminución pluviométrica, es la considerada en esta comunicación, siguiendo el marco conceptual presentado por Aroche et al., (2016), como Hondonada Pluviométrica

Intraestival (HPI). Entre los que se han ocupado en esta última, con la denominación de Sequía Intraestival (SIE), aunque con presupuestos conceptuales y operativos diferentes, cabe mencionar a (Aroche R. R., (2009), Cutié y Lapinel; (2013) y Aroche R. y Puig R., (2013). Aún son menos los que han tratado de caracterizarla y explicar sus causas y consecuencias, cuestión que descansa por una parte, en la no disponibilidad de un aparato conceptual que la identifique adecuadamente y de un procedimiento práctico que permita su monitoreo cuantitativo y por otra, en la existencia de un potencial hidráulico importante que ha creado una aparente absoluta seguridad, que ha tocado lo agonizante, en particular, durante los dos últimos períodos de prolongadas e intensas sequías del país; la de 2003-2005 y la que se encuentra aún en proceso de culminación , la de 2014-2017.

Por lo expresado anteriormente con esta comunicación, los autores se plantearon los siguientes objetivos: uno, realizar una compilación de métodos existentes en el GC, para definir, monitorear y evaluar la SIE, desde un nuevo marco conceptual, centrado en el término y fenómeno que la origina: la Hondonada Pluviométrica Intraestival (HPI). Dos, desarrollar una metodología con un apropiado y flexible soporte algorítmico, para el monitoreo y evaluación de la HPI, en un contexto de notable variabilidad y cambio del clima regional, que recurrentemente le imprimen un carácter de SIE, y por último, aplicar la metodología desarrollada para caracterizar la HPI en Cuba, con una perspectiva de aplicarla posteriormente en el resto del GC, propiciando sinergias regionales, para su prevención y enfrentamiento.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sobre la Región de estudio

El espacio físico-geográfico en el cual mejor se enmarca la ocurrencia del fenómeno climatológico Sequía Intraestival, así como los procesos asociados al mismo, a los orígenes y efectos del presente estudio, es el conocido como “Gran Caribe” (GC, según Cartagena de Indias, 1992), al cual, es preciso incluirle El Salvador, (ES), único país centroamericano sin costas hacia el Caribe, simbolizando la región total como GC+ES; en cuya zona central se encuentra el archipiélago de Cuba.

Por su ubicación geográfica, la región del GC+ES, se considera transicional entre las tierras emergidas de las Américas del Sur y del Norte; en la cual su acuatoria principal es el mediterráneo americano conformado por el Mar Caribe, el Golfo de México y el Canal Viejo de Bahamas, influenciado, a su vez, por los océanos Pacífico y Atlántico. En consecuencia, dicha región se ve afectada frecuente y alternativamente por sistemas atmosféricos y eventos extremos, asociados a sistemas circulatorios de naturaleza e impactos opuestos (Aroche et al., 2014).

Síntesis acerca de diferentes enfoques para identificar y monitorear la SIE, en el GC.

Para alcanzar los declarados objetivos, se realizó un análisis crítico de una vasta bibliografía especializada, herramientas operativas, modelos conceptuales, sistemas de vigilancia, etc. de los últimos 60 años, sobre la Sequía Intraestival de la región del Gran Caribe. Sobre ello, a continuación se sintetizan los aspectos más relevantes sincretizándolos como enfoques:

- Enfoque clásico,
- Enfoque clásico modificado,
- Enfoque centroamericano.-con sus cuatro aproximaciones-
- y, el enfoque actual en la región del Gran Caribe y El Salvador.

Para mayor detalle consultar, (Aroche et al., 2014), aquí por su estrecha relación con esta comunicación sólo se describirán brevemente dos de ellos.

➤ **Enfoque clásico**

Mosiño y García, (1968) plantearon el que se ha dado en llamar enfoque clásico para la estimación de la intensidad de la SIE en México, durante el período de mayo a octubre, considerando su **magnitud**, equivalente o proporcional al área funicular delimitada por cuatro posiciones generales de los dos máximos –principal y secundario– de precipitación mensual del PLL de cada año; calculándose la magnitud de la misma, para cada una de ellas, a partir de sus correspondientes fórmulas. Para ellas, su duración puede ser de 2 a 5 meses. Luego se estimaba la SIE relativa, con relación al total de precipitaciones del PLL, que para ellos fue desde Mayo a Octubre; después de lo cual se calcula el valor promedio de dichas SIE relativas, según el número de años de la(s) serie(s) de precipitaciones en estudio y número de casos particulares de manifestación.

➤ **Enfoque actual en la región del Gran Caribe y El Salvador**

En la actualidad se observa una integración de técnicas y procedimientos, se siguen encontrando aplicaciones de las referidas variantes de estudio de la SIE, con una amplia variedad de categorizaciones que no siempre son compatibles y mediante la incorporación de índices desarrollados para el monitoreo y evaluación de la sequía en general, como por ejemplo (Zimmermann R., (2014), estudiando el impacto de la Sequía 2014 en El Salvador, utilizaba los métodos anteriores pero incorporaba tanto las Anomalías de lluvias expresadas en rangos porcentuales como las anomalías de lluvias expresada en rangos del SPI. En Nicaragua en el (INETER, 2006), utilizaron el método clásico. Cuba tiene un sistema integrado que combina un diagnóstico muy completo de las situaciones de sequía mediante una combinación de distintos índices, con su vigilancia continua y con un pronóstico de la precipitación, etc., pero no particulariza en la SIE con los enfoques ni clásico ni centroamericano.

Nuevo marco conceptual y algorítmico

Generalidades

Tanto Mesoamérica y el norte caribeño de América del Sur; que representan la mayor parte de las tierras emergidas continentales del GC+ES, como las innumerables islas y cayos de los océanos y mares que las rodean; incluidos los del Pacífico oriental, tienen un curso anual en las precipitaciones atmosféricas con dos estaciones pluviométricas visiblemente diferenciadas: una más o menos prominente temporada de lluvias (Período Lluvioso, PLL) que generalmente transcurre de mayo a octubre y otra temporada de escasas lluvias (Período Poco Lluvioso, PPLL) durante el resto del año, esta particularidad es la que se define como biestacionalidad pluviométrica.

Si bien lo referido anteriormente es casi una generalidad de la distribución temporal y geográfica de la lluvia del GC+ES , como han reportado varios investigadores desde hace más de 100 años; el PLL se caracteriza por la presencia de dos máximos relativos pluviométricos, uno absoluto o principal y otro secundario, lo que se define como bimodalidad del PLL; entre los cuales, se condiciona una temporada relativamente seca, con mínimos pluviales principales, frecuentemente localizados durante los meses de julio y agosto. Esta temporada es conocida en el GC+ES como Sequía Intraestival (SIE) o de medio verano, que desde tiempos inmemorables los diferentes pueblos de la región, con énfasis a su manifestaciones más intensas en períodos de menor duración; en la escala de algunas semanas y varios días, le han llamado canícula o veranillos. Dicha sequía, también ha sido representada por el acrónimo MSD, por sus siglas en inglés, por los especialistas e investigadores anglófonos de la región.

Este fenómeno varía, año tras año, tanto en magnitud como en duración pero, según (Magaña et al., 1999), es lo suficientemente persistente y robusto como para aparecer en el promedio climatológico. De acuerdo con ello (Aroche et al., 2014), han propuesto utilizar el término Hondonada Pluviométrica Intraestival (HPI) a este rasgo característico del clima y reservar el de Sequía Intraestival (SIE), sólo para el comportamiento anómalo negativo de aquélla. Con ello, dichos autores pretenden no sólo adecuar la

denominación al proceso, sino evitar falsas alarmas, inseguridad injustificada, mayor incertidumbre y en consecuencia la adopción superflua de medidas regulatorias o restrictivas.

Metodología y soporte informático para los cálculos.

Consiste en una generalización del enfoque clásico, mediante la presentación de la ley de formación de las 4 variantes formuladas en dicho enfoque, con el interés de poder automatizar y universalizar su uso objetivamente, permitiendo un seguimiento detallado no sólo de la variabilidad de los atributos que definen la Sequía Intraestival, (susceptible de utilizarse para diferentes Intervalos de Agregación de la lluvia (ia), dígame mensual, quincenal, decenal, semanal o pentadal), sino del contexto pluviométrico en el cual ella tiene lugar; es decir, se tiene en cuenta en cada año la especificidad del PLL del mismo, sin prefijarlo, pues para iguales atributos de la HPI, la misma tiene repercusiones diferentes, en dependencia de cómo ha sido el PLL dentro el cual se desarrolló y en correspondencia con ello, las medidas a tomar también varían. No obstante, al indagar si la HPI tiene o no carácter de sequía, se pueden establecer períodos referenciales según el problema a resolver. Es importante señalar que estas peculiaridades son más visibles entre más pequeño es el ia en uso- (cada ia tiene su dominio de variación ordinal). Todo ello permite hacer análisis comparativos más realistas, al tener una mayor discretización y una mejor clasificación de las manifestaciones de la SIE. En el referido enfoque, teniendo en cuenta los elementos geométricos representados en la Figura 1, para el caso de un ia=mes, se plantea que:

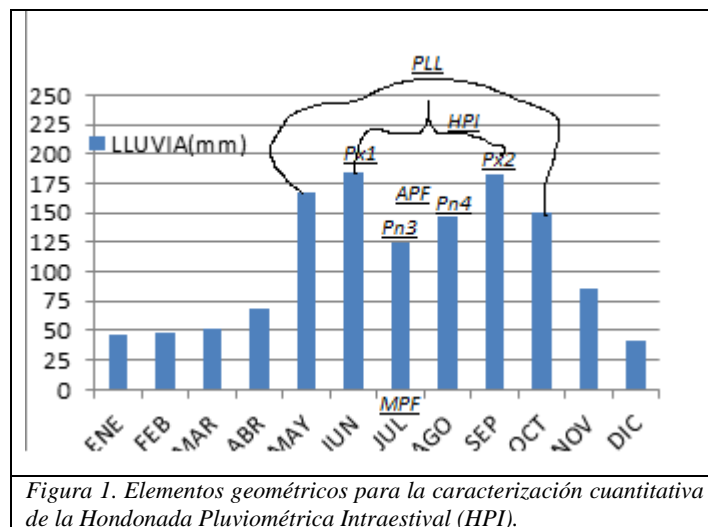
Según:

$$AP_{PLL} = \sum_{i=mc}^{mf} (P_{m_i}) \quad (1)$$

Donde P_{m_i} es la Precipitación en cada mes del PLL, m_i ,

desde el mes en que éste comienza, (mc) hasta el que finaliza, (mf);

y n : número de puntos o vértices del Polígono Funicular,



Considerando lo anteriormente expuesto, para cualquiera sea la geometría del Polígono Funicular de n vértices, su área APF_n , puede ser calculada según:

$$APF_n = [(n-2)/2] * \sum_{e=1}^2 (P_{x_e}) - \sum_{i=3}^n (P_{n_i}) \quad (2)$$

Donde APF, es el Área del Polígono Funicular, delimitado por los extremos máximos principal y secundario pertenecientes al Período Lluvioso PLL, durante el cual se acumula la precipitación AP_{PLL} . En el caso de un intervalo de agregación mensual:

P_x: Precipitación mensual máxima relativa (principal y secundaria) 1 y 2, en su orden cronológico de ocurrencia, correspondientes a los vértices extremos o delimitadores externos P_{x1} y P_{x2} del Polígono Funicular. Estos puntos constituyen y definen el comienzo y final de la Hondonada Pluviométrica Intraestival, (CHI, FHI), según su ocurrencia. Es decir; el mes que corresponda al P_x que ocurra primero define al CHI y al que ocurra último al FHI. Si P_{x1} es el principal se denominaría Hondonada Pluviométrica Intraestival Progresiva, (a simbolizar por P, es decir HIP) por cuanto, el subperíodo lluvioso de postrera, al ser de menor magnitud al subperíodo lluvioso de primera, es probable que no se compense el déficit pluviométrico intraestival; en caso contrario, se denominaría Regresiva o Retrógrada (a simbolizar por R, es decir HIR), porque es muy probable que suceda lo opuesto. Esta clasificación se introduce para contribuir a distinguir las estrategias de manejo del recurso agua y de las fechas de siembra y cosecha, en el sector agropecuario, fundamentalmente, dado el desfase temporal de las cuencas hidrográficas en responder a determinada perturbación pluviométrica, transitando por los diferentes tipos de sequías o niveles de disponibilidad de agua o humedad, (OMM, 2006). Es relevante señalar que si para una zona en la que lo típico sea la ocurrencia de una HIR, tiene lugar una HIP, el fenómeno se convierte en generador potencial de un gran riesgo agropecuario, que no llegarse a manejar satisfactoriamente puede conducir al desencadenamiento de un desastre, con implicaciones muy serias para la seguridad alimentaria, la salud poblacional y de los ecosistemas.

P_n: Precipitación mensual, menores, de los meses interiores entre los máximos 1 y 2, considerándolos como vértices interiores del Polígono Funicular (PF): P_{n3}, P_{n4}, P_{n5}, P_{n6}, etc. El menor valor pluviométrico de estos vértices interiores constituye el Mínimo Pluviométrico Funicular (MPF) o mínimo relativo principal del Período Lluvioso, (MRPLL). En Cuba y muchas partes del GC+ES, es muy frecuente encontrar que este MPF, sea superior, incluso al mayor de los mínimos pluviométricos del Período Poco Lluvioso (PPLL)

La Intensidad Relativa de la Hondonada Pluviométrica Intraestival (IRHI), para un año j dado, donde j varía desde 1 hasta N, que indica el largo o longitud de la serie pluviométrica.

Expresada en %, sería:

$$IRHI_j(\%) = [APF_{nj}/P_{PLLj}] * 100 \quad (3)$$

La Intensidad promedio de la Hondonada Pluviométrica Intraestival, (IPHI), para un tipo de HPI y duración dados, que ocurre en k ocasiones, es decir con k años de repetibilidad, se calcularía como se formula a continuación:

$$IPHI = \sum IRHI/k \quad (4),$$

y su frecuencia de aparición es:

$$F(IPHI) = k/N \quad (5)$$

Finalmente, el Índice de Anomalía de la Hondonada Pluviométrica Intraestival; es decir, el índice de la Sequía Intraestival (SIE), (IAHPI es equivalente a ISI), sería:

$$ISI = (IRHI - IPHI)/IPHI \quad (5)$$

Según el grado de la anomalía, se establecerían diferentes categorías de SIE, para lo cual pudieran asumir las que se han utilizado anteriormente en la región, para considerar la SIE, débil, moderada, fuerte, muy fuerte y extrema.

Para la implementación de la metodología se han ido desarrollando dos variantes informáticas, una en forma de Macro elaborada en el entorno del tabulador electrónico Microsoft Excel, (Aroche y Puig, 2014) perfeccionada por (Aroche y Mompié, 2016) y otra, aún en desarrollo, en lenguaje R, por (Aroche y Maureira, 2016, inédita). Ambas variantes han seguido, de manera general y para ejemplificar con un día de un mes, una secuencia de pasos resolviendo concatenadamente las formulaciones anteriores (de (1) a (6)) y para realizar los cálculos secundarios (de (7) a (12)) e identificación de los principales atributos que caracterizan la estructura, duración, magnitud, intensidad (relativa o promedio) y peligrosidad de la HPI, según la conceptualización planteada por (Aroche y Mompié, 2016).

Duración= (FHI-CHI -1)= n-2

Magnitud=APF

Intensidad=APF/(n-2)

Intensidad máxima=[(Px₁+Px₂)/2]-P_{MPF}]

Peligrosidad absoluta =APF*(n-2)

Peligrosidad evolutiva=IASI*(n-2)

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.

Características de la Hondonada Pluviométrica Intraestival, en Cuba.

En Cuba como región.

Como puede notarse en la Figura 2, en cualquiera de las regiones concebidas (una macro Región Cuba (RCU) y las Regiones, Occidental, Central y Oriental, ROC, RCE y ROR, respectivamente), para el estudio que nos ocupa la distribución temporal de las precipitaciones mensuales, muestran un patrón común de comportamiento: de biestacionalidad por una parte (la existencia de dos estaciones; PLL y PPLL) y por otra, la evidente bimodalidad del PLL (ocurrencia de dos máximos pluviométricos relativos: uno al comienzo del PLL y otro al final del mismo). Lo señalado pone de manifiesto la incidencia generalizada de los sistemas circulatorios macroescalares referidos anteriormente, que acotan o modulan la magnitud de las precipitaciones atmosféricas en la región. Sin embargo, su acción combinada e interactiva, con las peculiaridades, geométricas y fisicogeográficas de la isla, conducen a que, ya incluso en la escala regional, se detecten determinadas diferencias, tanto en la magnitud como en el momento de ocurrencia de tales atributos del régimen pluviométrico nacional, así como de su variabilidad espacio-temporal.

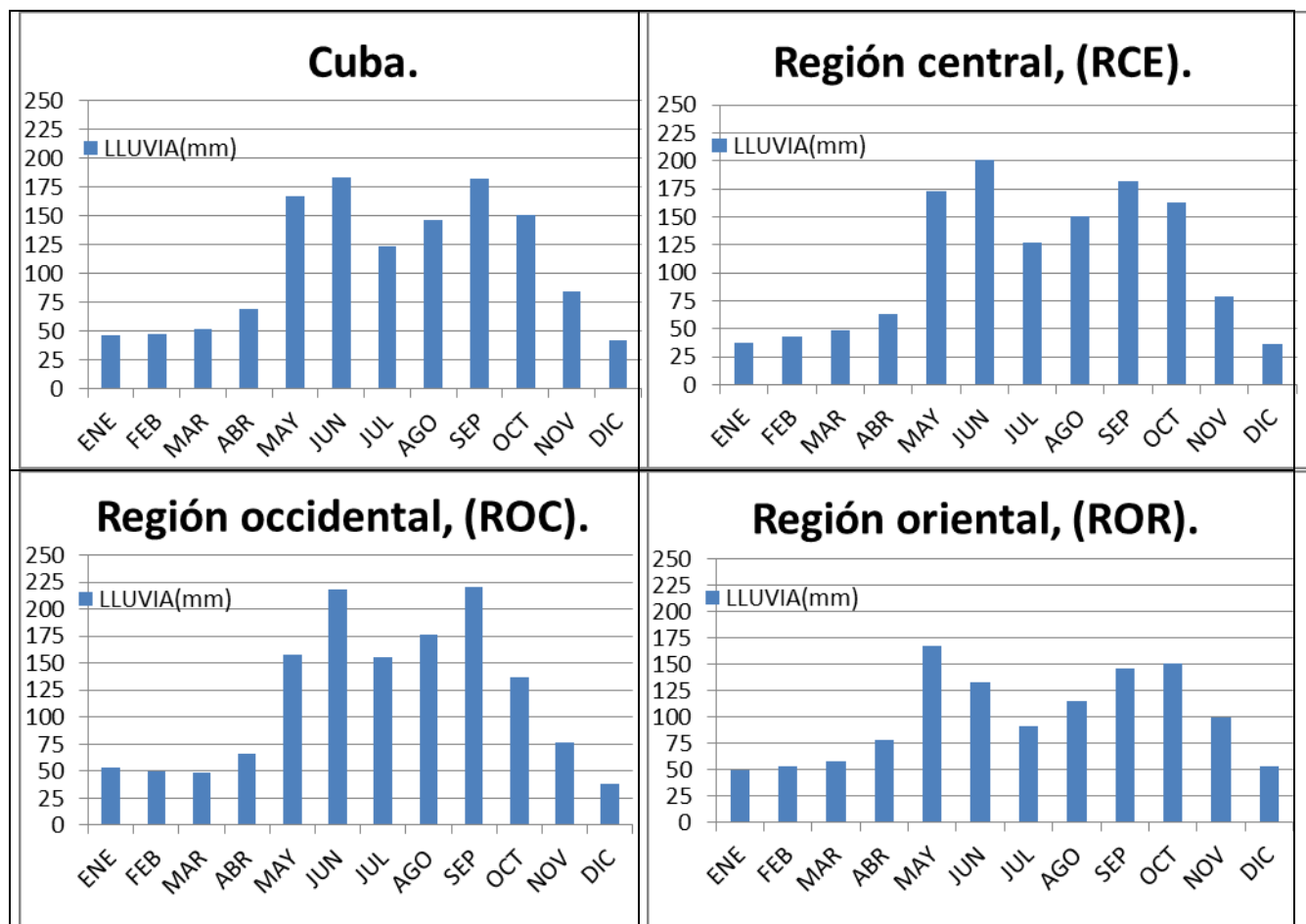


Figura 2. Biestacionalidad del curso anual de las precipitaciones y bimodalidad del período lluvioso, en Cuba y sus tres Regiones. (Período 1971-2000. Datos originales de la BR7).

En Regiones de Cuba.

En las Tablas 1 y 2, se presentan algunas de las características geométricas principales, y los atributos hidroclimáticos del Polígono Funicular, correspondiente a la Hondonada Pluviométrica Intraestival, del curso pluviométrico promedio o histórico, para el período 1971-2000 y regiones de Cuba, según información derivada de la BR7. El análisis de la información de las mencionadas tablas, permite corroborar las regularidades descritas anteriormente y facilita pormenorizar sobre algunos detalles diferenciadores:

La HPI en toda Cuba se caracteriza por presentar su mínimo funicular en el mes de julio, y aunque en las regiones central y occidental presentan sus extremos máximos en los meses de junio y septiembre, dentro de un PLL que predominantemente comienza en mayo y finaliza en octubre; la región oriental se distingue por una mayor amplitud en ambas temporadas y un mínimo más profundo, seguida de la región central, (Tabla 1).

Tabla 1.

REGIÓN	VÉRTICES EXTREMOS DEL POLÍGONO FUNICULAR								
	PLL			Px ₁		Px ₂		MPF	
	INTERVALO (mc:mf)	APLL	%PLL	Mes	P (mm)	Mes	P (mm)	Mes	P (mm)
RCU	05:10	955	73.63	6	184	9	182	7	124
ROC	05:10	1067	76.27	6	218	9	221	7	156
RCE	05:10	997	76.40	6	201	9	182	7	127
ROR	05:11	903	75.63	5	167	10	151	7	91

Según (Aroche et al., 2014), lo referido anteriormente es debido a una mayor influencia del Anticiclón Subtropical del Atlántico Norte (ASAN), el cual es considerado el gran dictador del clima en Cuba, pues regula la trayectoria tanto de los frentes fríos en invierno como de los ciclones tropicales en verano e inhibe los procesos generadores de lluvias; en correspondencia con su posición e intensidad, a la vez que genera relevantes contrastes pluviométricos en las inmediaciones de cordilleras montañosas. En consecuencia de lo cual se presentan valores superiores de los atributos para la ROR.

Tabla 2.

REGIÓN	ATRIBUTOS DE LA HPI				
	DURACIÓN (meses)	MAGNITUD (mm)	INTENSIDAD (mm/mes)	PELIGROSIDAD (mm*mes)	IRHI (%)
RCU	2	95	47.50	190	9.95
ROC	2	106	53.00	212	9.93
RCE	2	105	52.50	210	10.53
ROR	4	151	37.75	604	16.72

En las provincias cubanas.

El análisis de algunas de las características geométricas principales y los atributos hidroclimáticos de la Hondonada Pluviométrica Intraestival, histórica, para las provincias cubanas, que se presentan en las Tablas 3 y 4, permiten identificar regularidades, incluso hacia lo interior de las regiones discutidas. Nuevamente sobresale el hecho de que la HPI en todas las provincias de Cuba se caracteriza por presentar su mínimo funicular en el mes de julio (Tabla 3); el 75 % de ellas presenta el primer extremo máximo en el mes de junio, (excepto las cuatro provincias más orientales que lo presentan en mayo), representado esto el 81 % de ocurrencia del extremo máximo principal en la primera fase del PLL (La Primera, relativo al primer subperíodo de lluvia dentro del PLL). El segundo extremo máximo se encuentra en el 88 % de los casos en septiembre, (sólo las dos provincias extremas nororientales lo presentan en octubre). De todos, tres figuran como máximos principales, lo que sólo ocurre en las tres provincias extremas occidentales (entre las que se incluye a la Isla de la Juventud).

Lo anteriormente expuesto, con relación a la ocurrencia relativa de dichos máximos, debe de tenerse en cuenta en actividades socioeconómicas dependientes de los recursos hídricos; pues tiene implicaciones en las estrategias de producción agropecuaria, pues se trata de que en el 88% de los casos la HPI es progresiva, cuyo impacto puede amplificarse si las condiciones de variabilidad climática imponen

mecanismos inhibidores de las lluvias en la última fase del PLL (La Postrera, relativo al segundo subperíodo de lluvia dentro del PLL).

La identificación de la localización geográfica de los mayores y menores valores de los vértices del PF, en la Tabla 3, es sugerente del papel que juegan en su ocurrencia, la orografía y la acción de los sistemas atmosféricos en las diferentes provincias y regiones del país.

Tabla 3.

VÉRTICES EXTREMOS DEL POLÍGONO FUNICULAR										
PROVINCIA	PLL	Px₁		Px₂		MPF				
		PERÍODO (mc:mf)	APLL (mm)	PLL (%)	Mes	P (mm)	Mes	P (mm)	Mes	P (mm)
PR		05:10	1069	74.49	6	212	9	231	7	156
AR		05:10	1018	71.59	6	202	9	210	7	153
IJ		05:10	1073	76.32	6	203	9	249	7	137
MA		05:10	1106	77.07	6	245	9	222	7	167
LH		05:10	932	69.29	6	207	9	184	7	138
MZ		05:10	1077	79.42	6	225	9	213	7	159
	CF	05:10	1143	79.32	6	235	9	220	7	169
	VC	05:10	996	74.33	6	202	9	178	7	131
	SS	05:10	1105	79.21	6	218	9	204	7	154
	CA	05:10	961	77.56	6	197	9	174	7	115
	CM	05:10	936	74.88	6	187	9	168	7	111
	LT	05:10	829	75.02	6	157	9	148	7	100
	HL	05:11	810	71.43	5	145	10	149	7	68
	GR	05:10	904	74.10	5	177	9	168	7	120
	SC	05:10	856	69.14	5	196	9	161	7	99
	GN	05:11	911	70.18	5	175	10	168	7	72

En la Tabla 4, sobresalen las cuatro provincias más orientales donde la HPI es más fuerte, extensa y peligrosa. Integrando los aspectos discutidos, el autor considera que las características geométricas y atributos hidroclimáticos de la misma, son resultantes de una combinación compleja entre procesos inhibidores y generadores de lluvias a lo largo de todo el PLL, siendo un lógico detonador de los primeros el Anticiclón Subtropical del Atlántico Norte (ASAN), y de los segundos, la Vaguada Troposférica de los Niveles Medios (VTNM) o de ambos sistemas en roles opuestos; en correspondencia con su posición e intensidad, a la vez que generan relevantes contrastes pluviométricos al interactuar con las cordilleras montañosas de la nación.

Tabla 4.

PROVINCIA	ATRIBUTOS DE LA HPI				
	DURACIÓN (meses)	MAGNITUD (mm)	INTENSIDAD (mm/mes)	PELIGROSIDAD (mm*mes)	IRHI (%)
PR	2	109.00	54.50	218	10.20
AR	2	92.00	46.00	184	9.04

IJ	2	142.00	71.00	284	13.23
MA	2	116.00	58.00	232	10.49
LH	2	110.00	55.00	220	11.80
MZ	2	101.00	50.50	202	9.38
CF	2	95.00	47.50	190	8.31
VC	2	100.00	50.00	200	10.04
SS	2	87.00	43.50	174	7.87
CA	2	116.00	58.00	232	12.07
CM	2	109.00	54.50	218	11.65
LT	2	73.00	36.50	146	8.81
HL	4	191.00	47.75	764	23.58
GR	3	227.50	75.83	682.5	25.17
SC	3	284.50	94.83	853.5	33.24

La Hondonada Pluviométrica Intraestival de 2015 en municipios camagüeyanos

La Hondonada Pluviométrica Intraestival, del curso pluviométrico de la provincia de Camagüey durante el 2015, en comparación con el promedio para el período 1971-2000, se presentó con características geométricas principales, y atributos hidroclimáticos del Polígono Funicular, no muy diferentes; a escala provincial, aunque se pueden describir algunos aspectos de interés, según la información presentada en la Tablas 5 y 6:

Tabla 5.

PERÍODO DE ANÁLISIS (CM)	ATRIBUTOS DE LA HPI				
	DURACIÓN (meses)	MAGNITUD (mm)	INTENSIDAD (mm/mes)	PELIGROSIDAD (mm*mes)	IRHI (%)
1971-2000	2	109.00	54.50	218.00	11.65
Año 2015	3	91.49	30.50	274.47	10.53

La HPI del 2015 fue más extensa a costa de comenzar un mes antes, pero en un contexto de un PLL de igual duración aunque más seco, debido a que sus extremos máximos correspondientes fueron inferiores a los históricos, pero el descenso de su mínimo funicular, clásico del mes de julio, fue proporcional al referido descenso de los máximos. De manera que al calcular la anomalía de la intensidad relativa, resultó ser negativa y ligeramente inferior al 10 %; es decir, la HPI no alcanzó el carácter de Sequía Intraestival, (Tabla 6).

Tabla 6.

PERÍODO DE ANÁLISIS (CM)	PLL			VÉRTICES EXTREMOS DEL POLÍGONO FUNICULAR					
				P_{x1}		P_{x2}		MPF	
	PERÍODO (mc:mf)	APLL (mm)	PLL (%)	Mes	P (mm)	Mes	P (mm)	Mes	P (mm)
1971-2000	05:10	936.00	74.88	6	187.00	9	168.00	7	111.00
Año 2015	05:10	868.73	74.51	5	141.99	9	158.61	7	88.85

Sin embargo, si se realiza un análisis a escala espacial inferior, se detectan importantes situaciones en algunas de las municipalidades camagüeyanas, como puede observarse a partir de la información presentada en las Tabla 7 y 8. Puede notarse que la HPI de 2015 fue más variable que la descrita como representativa de la provincia, pues el PLL de cuatro municipios de ella fueron más extensos de lo esperado y finalizaron en noviembre, precisamente tres de ellos se encuentran entre los cuatro más occidentales, en los que los máximos extremos alcanzaron los valores más altos, superiores a los 210 mm. Mientras que el 76 % de los casos presentaron el extremo máximo del final del PLL como principal, a diferencia de lo que sucede históricamente -que tiene lugar en junio-, seis de los cuales, presentaron el mínimo funicular en el mes de agosto en lugar de julio y son los del extremo nororiental del territorio; con mínimos, incluso, inferiores al mínimo principal del PPLL. Entre estos últimos figuran las cuatro municipalidades que presentan los sendos valores más altos de la intensidad relativa de la HPI, que resultaron ser de dos a cinco veces superiores a los correspondientes a la provincia para el mismo 2015. Situación que generó mayor peligrosidad en aquellos municipios donde la HPI duró tres y cuatro meses como lo es característico de la región oriental del país.

Tabla 7.

MUNICIPIO	PLL			VÉRTICES EXTREMOS DEL POLÍGONO FUNICULAR					
				Px ₁		Px ₂		MPF	
	PERÍODO (mc:mf)	APLL (mm)	PLL (%)	Mes	P (mm)	Mes	P (mm)	Mes	P (mm)
Céspedes	05:11	1113.48	88.81	5	211.98	8	201.58	7	109.96
Esmeralda	05:11	1034.24	85.42	5	138.33	10	221.57	7	61.73
Sierra de Cubitas.	05:10	559.19	69.65	5	121.95	9	152.73	8	12.80
Minas	05:10	590.92	71.67	6	87.37	10	184.44	8	9.36
Nuevitas	05:10	655.54	74.56	5	141.76	10	206.46	8	8.96
Guáimaro	05:10	588.95	71.35	6	104.86	9	183.13	8	9.16
Sibanicú	05:10	642.43	69.26	7	115.70	9	209.53	8	13.41
Najasa	05:10	785.57	75.56	5	173.90	9	134.78	6	64.34
Jimaguayú	05:10	881.77	77.14	6	141.87	8	205.34	7	132.80
Santa Cruz	05:11	975.01	82.61	5	181.40	8	183.61	7	86.16
Camagüey	05:10	934.50	76.51	6	154.98	9	227.66	7	104.67
Vertientes	04:10	1192.63	80.97	5	245.56	9	205.59	7	108.94
Florida	05:11	1021.87	84.50	5	161.34	8	250.26	7	79.94

Tabla 8.

MUNICIPIO	ATRIBUTOS DE LA HPI				
	DURACIÓN (meses)	MAGNITUD (mm)	INTENSIDAD (mm/mes)	PELIGROSIDAD (mm*mes)	IRHI (%)
Céspedes	2	140.38	70.19	280.76	12.61
Esmeralda	4	136.94	34.24	547.76	13.24
Sierra de Cubitas.	3	270.75	90.25	812.25	48.42
Minas	3	169.21	56.40	507.62	28.63
Nuevitas	4	389.12	97.28	1556.48	59.36

Guáimaro	2	220.25	110.13	440.50	37.40
Sibanicú	1	149.21	149.21	149.21	23.23
Najasa	3	100.05	33.35	300.15	12.74
Jimaguayú	1	40.81	40.81	40.81	4.63
Santa Cruz	2	118.33	59.17	236.66	12.14
Camagüey	2	137.30	68.65	274.60	14.69
Vertientes	3	236.27	78.76	708.80	19.81
Florida	2	172.70	86.35	345.40	16.90
Provincia	3	91.49	30.50	274.47	10.53

CONCLUSIONES.

- 1- Se ha fundamentado la pertinencia y desarrollado un nuevo marco conceptual en torno al fenómeno Sequía Intraestival, centrado en el proceso que la incluye como caso particular: la Hondonada Pluviométrica Intraestival (HPI), favoreciendo el establecimiento de una amplia variedad de términos que permiten describirla adecuadamente.
- 2- Se ha presentado e implementado una metodología con un apropiado y flexible soporte algorítmico, para el monitoreo y evaluación de la HPI, que facilita la detección operativa, ejemplificándose para un caso histórico y para un caso particular como lo fue el año 2015, un año extremadamente seco a escala regional.

RECOMENDACIONES.

- Propiciar con su socialización, la incorporación de la metodología desarrollada a un sistema operativo para el monitoreo y evaluación integrados de sequías a nivel nacional y/o regional.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- Aroche R.R, (2009): Detección no paramétrica de cambios de tendencia, en series de precipitación. Camagüey. Cuba. Memoria del DEA, presentado en la UCLM.pp134.
- Aroche R R, (2013): Acerca de la experiencia cubana sobre el proceso de asimilación e implementación de la Metodología del ARF_LM. Taller Internacional. Proyectos RALCEA y CAZALAC_ATOS_JRC "CS5500 WP2. Santiago, Chile.
- Aroche R y Puig R; (2013): Generalización del Índice de Sequía Intraestival. Aplicación en el monitoreo hidrológico en Camagüey, Cuba. Fórum de Ciencia y Técnica del CMP.14 pp.
- Aroche R. R, Carmona C, Verbist K, Guerrero F, Barbosa P, Brito L., Barbosa H, Vázquez R y Puig R., (2014): Demanda de un sistema de alerta temprana, que contribuya a una mejor gestión de sequías intraestivales en Centroamérica y el Caribe. International Expert Symposium: "Coping with Droughts" - 'Building a Community of Practice on Drought Management Tools' ". Santiago de Chile, noviembre 20 de 2014.
- Aroche R y Maureira H., (2016). Las Sequías Intraestivales. Una aproximación para su caracterización cuantitativa automatizada. (en desarrollo).
- Aroche R, Mompié L y Puig R; (2016): Caracterización de la Hondonada Pluviométrica Intraestival en Cuba. Revista Cubana de Meteorología.18pp.(en proceso de edición).
- Cutié V y Lapinel B; (2013): La sequía en Cuba, un texto de referencia. Monografía Proyecto 1/OP-157GEF.INSMET y CMP.358pp.
- Espejo F.; (2013): Resumen Versión 1, del Taller sobre sequías en México, Centroamérica y el Caribe celebrado en Antigua Guatemala, 4 a 8 de noviembre de 2013. 9 pp.

- García, L. & Fernández, W., (1996). Un análisis de la lluvia diaria en El Salvador: La canícula y el comienzo y final de la estación lluviosa, *Revista Geofísica*, 45.
- García Guirola, L.A., Fernández W. & Rivas Pacheco T., (2003). Aspectos generales de la Canícula y sus impactos en El Salvador. *Top. Meteor. Oceanog.* 10 (2): 63-68.
- Guzmán G. T. (1981): "El conocimiento actual de las canículas en Centro América y en El Salvador " en MAG, (1982): Memoria del Seminario Taller 17 19 nov 1981, CENTA, San Andrés, El Salvador. pp 1-21.
- Hallack-Alegria, M. y Watkins, JR. (2007). Annual and warm season drought Intensity-Duration-Frequency Analysis for Sonora, Mexico. *Journal of Climate*, 20 (9):1897-1909.
- Hastenrath, S., (1967). Rainfall distribution and regime in Central America. *Arch. Meteor. Geophys. Bioklimatol.*, 15b, 210-241.
- INETER, (2006): Duración e intensidad de la canícula en Nicaragua. Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales, INETER. Dirección General de Meteorología. Dirección de Aplicaciones de la Meteorología. 18 p.
- INRH., (2006): Nuevos logros en el estudio de la pluviosidad en Cuba: Mapa Isoyético para el período 1961-2000. Servicio Hidrológico Nacional. Dirección de Cuencas Hidrográficas. Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos. *Rev. Voluntad Hidráulica* pp 2: 14.
- INRH., (2010): Principales factores que definen el régimen hidrológico de Cuba. <http://www.hidro.cu/hidrologia1.htm>.
- Lapinel, B., (1988). La circulación atmosférica y las características espacio-temporales de las precipitaciones en Cuba. Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Geográficas. Instituto de Meteorología, Academia de Ciencias de Cuba.
- Lapinel, B.; Fonseca, C., Pérez, R., Cutié, V., Aroche, R., Rivero, R., Rivero, I., y Báez, R., (2003). La sequía en Cuba (Monografía). Proyecto 0451 del PRCT: Análisis y Pronóstico del tiempo y el clima y sus implicaciones socioeconómicas. Centro de Documentación del Instituto de Meteorología, 2003, La Habana, Cuba.
- Larios, J., G. Guzmán y R. Sánchez, (1982). Agricultura en zonas afectadas por canícula interestival en El Salvador. CATIE, Costa Rica.
- Lecha, L. B; Paz, L. R y Lapinel B, B. (1994). El Clima de Cuba. Editorial Academia. La Habana, 1994.
- Magaña V., J. Amador and S. Medina, (1999). The Midsummer Drought over Mexico and Central America. *J. of Climate*, 12, 1577- 1588.
- Millás, J.C., (1943). La lluvia en La Habana.
- Mosiño P. y García E, (1968): Evaluación de la Sequía Intraestival en la Republica de México.
- Planos, E., (2000). Análisis Hidrológico de las grandes precipitaciones: Distritos físico-geográficos Pinar del Río, Habana-Matanzas y Centro. Tesis en opción el grado científico de Doctor en Ciencias Geográficas, Ministerio de Educación Superior, La Habana.
- Ramírez P, (1982): Estudio meteorológico de los veranillos en Costa Rica. Nota de Investigación No. 5. Instituto Meteorológico Nacional. Ministerio de Agricultura y Ganadería. Costa Rica. 50 pp.
- Tejeda M y Maruri M, (1991):.La intensidad de la Sequía Intraestival en el estado de Veracruz, estimada a partir de datos normales de precipitación. Memoria del V Congreso Nacional de Meteorología. Ciudad Juárez. pp 101-106.
- Trusov, I. I., A. Izquierdo y L. R. Díaz., (1983). Características espaciales y temporales de las precipitaciones atmosféricas en Cuba. Academia de Ciencias de Cuba, La Habana.
- Zimmermann R., (2014): Impacto de la Sequía 2014 en El Salvador. Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN). San Salvador. El Salvador.