

RELACIÓN ENTRE RENDIMIENTO DE GRANO DE MAÍZ Y EL ÍNDICE NORMALIZADO DE PRECIPITACIÓN EN AZUERO¹

*Román Gordón-Mendoza²; Jorge Iván Núñez-Cano³; Jorge Enrique Franco-Barrera³;
Ana Elida Sáez-Cigarruista³; Jorge Enrique Jaén-Villarreal³*

RESUMEN

Se realizó un estudio con el objetivo de determinar el Índice Normalizado de Precipitación (SPI, por sus siglas en inglés) de seis localidades de la Región de Azuero para caracterizar la precipitación pluvial de la región y, adicional, relacionar con el rendimiento histórico de la Prueba Regional de maíz de una localidad (El Ejido). Para esto se tomaron los datos históricos suministrados por el Departamento de Hidrometeorología de la Empresa de Transmisión Eléctrica, SA. Se procedió a calcular el SPI en tres escalas de tiempo con un objetivo a corto plazo (5 meses o SPI-5) y largo plazo (12 y 24 meses o SPI-12 y SPI-24). También, se calculó el Índice Normalizado de Precipitación Evapotranspiración (SPEI-12) de la localidad de La Villa y se comparó con el período 2003-2015, de la misma localidad. Para estimar la relación del SPI con el rendimiento de grano del cultivo de maíz se correlacionó el SPI-5 del mes de diciembre con los datos de la Prueba Regional de Maíz sembrada en la Estación Experimental El Ejido. Los resultados de este trabajo indican que a través del tiempo se ha presentado una variabilidad alternándose períodos secos y húmedos en las seis localidades. También, se observó que en las localidades ubicadas al Norte de la Región (Parita, La Villa y El Ejido) el período seco es marcado y se han sometido a tiempos intensos y prolongados de sequía en los últimos 15 años. Se encontró una alta relación entre el potencial de rendimiento de grano con el SPI-5 del mes de diciembre obteniéndose un valor del coeficiente de correlación de Pearson de 0,87. En conclusión, tanto el SPI como el SPEI caracterizaron de manera satisfactoria la sequía en la Región y su uso se recomienda para este fin.

PALABRAS CLAVES: Índice Normalizado de Precipitación Evapotranspiración (SPEI), período seco y húmedo, Prueba Regional.

¹Recepción: 29 de noviembre de 2016. Aceptación: 9 de marzo de 2016. Investigación realizada con fondos del proyecto Generación de variedades e híbridos de maíz.

²M.Sc. en Protección Vegetal. IDIAP. Centro de Investigación Agropecuaria de Azuero (CIAA).
e-mail: gordon.roman@gmail.com

³Ing. Agrónomo. IDIAP. CIAA.

RELATIONSHIP BETWEEN MAIZE GRAIN YIELD AND THE NORMALIZED PRECIPITATION INDEX IN AZUERO

ABSTRACT

A study was carried out to determine the Standard Precipitation Index (SPI) of six localities of the Azuero Region to characterize the rainfall of the region and to relate the SPI to the historical yields of the Regional Test of maize from a locality (El Ejido). For this, was utilized the historical data provided by the Department of Hydrometeorology of the Electric Transmission Company SA. The SPI was calculated on three time scales with a short-term objective (5 months or SPI-5) and long-term (12 and 24 months or SPI-12 and SPI-24). The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI-12) was also calculated from La Villa locality and compared to the SPI of the same locality in the period 2003-2015. In order to estimate the relationship between SPI and maize crop grain yields, the SPI-5 of December was correlated with data from the Regional Maize Test planted at the El Ejido Experimental Station. The results of this work indicate that over time there has been variability, encouraging dry and wet periods in the six localities. It was also observed that the localities located to the North of the Region (Parita, La Villa and El Ejido) are drier and have undergone more intense and prolonged periods of drought in the last 15 years. A high relationship between the grain yield potential and the SPI-5 of the month of December was obtained with a value of Pearson correlation coefficient of 0,87. In conclusion, both SPI and SPEI characterized drought satisfactorily in the Region and its use is recommended for this purpose.

KEY WORDS: Standard Index of Precipitation Evapotranspiration (SPEI), dry and wet period, Regional Test.

INTRODUCCIÓN

En la Región de Azuero, el área sembrada de maíz ha fluctuado en los últimos años; alcanzando un promedio de 18 000 hectáreas en las últimas campañas. En esta Región se produce el 74,6% de la producción nacional del maíz que se comercializa en el mercado nacional. Gordón-Mendoza (2014), analizó la distribución de lluvias en la

Región de Azuero en el período 1995-2013, encontrando una alta variabilidad en la distribución de lluvias, así como en los acumulados mensuales y anuales. Este mismo autor, indica que la región de Azuero en función de los acumulados anuales de lluvia se pueden diferenciar dos zonas; la Zona Norte (distritos de Parita, Chitré, Los Santos y Guararé) que presenta una menor media acumulada

anual (1000 mm), mientras que la Zona Sur (distritos de Las Tablas, Pocrí y Pedasí) registra una media anual de 1500 mm. Esta distribución diferenciada, incide en los riesgos asociados a las fechas de siembra del cultivo de maíz en cada una de estas zonas.

Tradicionalmente, el clima ha sido considerado como el conjunto de condiciones promedios de la atmósfera por estación del año en diversas regiones del planeta. Procesos internos naturales, fuerzas externas o cambios antropogénicos persistentes en la composición de la atmósfera o en el uso de la tierra están ocasionando cambios al clima. La agricultura es extremadamente vulnerable al cambio climático, ya que la temperatura alta tiene un impacto directo sobre el rendimiento de los cultivos y mayor precipitación podría generar plagas que afectan los mismos (FAO 2015). Por lo anterior, los cambios en los patrones de las precipitaciones a corto plazo representarían pérdidas de cosechas, y en el largo plazo, una disminución en la producción. Se espera que los impactos globales del cambio climático en la agricultura sean negativos, amenazando la seguridad alimentaria mundial. Es probable que las poblaciones en desarrollo, que ya son vulnerables y que sufren inseguridad alimentaria, sean las más afectadas (FAO 2015, Nelson

et al. 2010). El cambio climático está produciendo modificaciones en el clima a nivel mundial, afectando principalmente la temperatura y precipitación pluvial. Para la agricultura ambas variables desempeñan un papel determinante, ya que el crecimiento y desarrollo de los cultivos dependen fundamentalmente de estos dos factores. Un sistema de alerta temprana integral o el uso de modelos de predicción que se basen en múltiples indicadores físicos e índices, pueden facilitar la aplicación de recomendaciones adecuadas o acciones de mitigación y programas de respuesta (Lobell *et al.* 2008, Ruane *et al.* 2013, Peck 2004).

La sequía es una amenaza resultante de niveles de precipitaciones por debajo de lo que se considera normal. Cuando este fenómeno se prolonga durante una estación o por un período de tiempo mayor, la precipitación es insuficiente para responder a las demandas de la sociedad y del ambiente. Con el curso de los años los meteorólogos y climatólogos de todo el mundo han creado y utilizado muchos índices de sequía, que varían de unos índices sencillos, como el porcentaje de precipitación normal y los percentiles de precipitación, a otros más complicados. Científicos estadounidenses comprendieron que los índices debían ser sencillos y fáciles de calcular, tener pertinencia y significado, desde el punto

de vista estadístico (McKee *et al.* 1993, 1995). Además del entendimiento de que los déficits de precipitación tenían diferentes impactos en la magnitud y dinámica de las aguas subterráneas, el almacenamiento de agua en reservorios subterráneos y superficiales, la humedad del suelo y los caudales fluviales. Desde esta perspectiva McKee *et al.* (1993) crearon el Índice Normalizado de Precipitación (SPI).

El SPI puede ser calculado para escalas de tiempo variables, lo cual lo hace aplicable en el ámbito de la meteorología, agricultura e hidrología superficial y subterránea. Esta versatilidad temporal es también útil para el análisis de la dinámica de la sequía, especialmente la determinación del comienzo y el fin, lo que ha sido difícil de reconocer por medio de otros índices (Núñez *et al.* 2005). El SPI se basa en la probabilidad de precipitación para cualquier escala temporal (1, 3, 6, 12, 24 meses), teniendo en cuenta la precipitación observada, la probabilidad de precipitación se transforma en un índice, que actualmente se utiliza en las investigaciones o en modo operativo en más de 70 países (OMM 2012). Su carácter probabilístico le otorga un contexto histórico (20 a 30 años como mínimo), muy adecuado para la adopción de decisiones que tienen que ver con la climatología y actividades relacionadas

con ella. Una de las principales ventajas del SPI es que necesita una única variable climática para el cálculo, siendo esta la precipitación pluvial. Sin embargo, esta es la principal crítica, ya que no considera las condiciones de humedad del suelo, por lo que no se puede calcular ninguna relación de evapotranspiración/evapotranspiración potencial.

Ante la limitante del SPI, Vicente-Serrano *et al.* (2010) desarrollaron el Índice de Precipitación – Evapotranspiración Estandarizado (SPEI, por sus siglas en inglés), el cual es un índice cuyo cálculo es similar al SPI, incorporando el efecto de la evapotranspiración, que influye en las condiciones de sequía. El presente trabajo tuvo por objetivos determinar los índices SPI y SPEI de seis localidades ubicadas en las provincias de Herrera y Los Santos que conforman la Región de Azuero para caracterizar el déficit y excesos de lluvias en la región maicera, y relacionar el SPI con el rendimiento histórico de la Prueba Regional de maíz que realiza el Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá en una de las localidades de esta región.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para el presente estudio se utilizó la base de datos históricos de seis pluviómetros del departamento de Hidrometeorología de Empresa de

Transmisión Eléctrica S.A. (ETESA) ubicados en las provincias de Los Santos y Herrera, así como los datos recabados por el Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP) en la localidad de El Ejido a partir del año 1999 (Cuadro 1).

El SPI fue calculado ajustando la distribución de frecuencia de la precipitación de una localidad, en la escala de tiempo de interés (5, 12 y 24 meses), con una función teórica de densidad de probabilidad. De acuerdo Lloyd-Hughes y Saunders (2002), la función más apropiada para este ajuste es la Gamma, si bien ésta ofrece algunas dificultades en las zonas de muy poca precipitación, debido a que no se encuentra definida para valores de la variable iguales a 0. La función de densidad es luego transformada a una distribución normal estandarizada (con media igual a 0 y varianza igual a 1), siendo el SPI el valor resultante de esta transformación. Este índice representa el número de desviaciones estándar en que

el valor transformado de la precipitación se desvía del promedio histórico (el cual queda representado por 0). Los valores negativos del SPI representan déficit de precipitación, mientras que, los valores positivos indican que la precipitación ocurrida ha sido superior al promedio histórico. En el Cuadro 2 se muestra la clasificación del SPI propuesta por varios autores (OMM 2012, Lloyd-Hughes y Saunders 2002).

Para la determinación del SPI se utilizó la metodología descrita por McKee *et al.* (1993). Se estableció una serie o período de referencia de 5 meses para pronosticar variabilidad intra estacional, 12 y 24 meses para sequías persistentes. Para observar las tendencias de la distribución de las lluvias en la localidad con la data más extensa (La Villa), se calculó la frecuencia media de ocurrencia de sequías ($SPI < 0$) y excesos de lluvias ($SPI > 0$), según las categorías citadas por varios autores como OMM (2012) para los

CUADRO 1. UBICACIÓN DE LOS PLUVIÓMETROS ANALIZADOS EN EL ESTUDIO, AZUERO, PANAMÁ.

Localidad	Provincia	Distrito	Identificación ETESA	Latitud	Longitud	Altura			
						(msnm)	Inicio	Final	Años
Los Santos	Los Santos	Los Santos	128-001	7° 56' 27"	-80° 25' 03"	16	1965	2015	51
El Ejido	Los Santos	Los Santos	126-016	7° 55' 00"	-80° 23' 00"	30	1972	2015	44
Parita	Herrera	Parita	130-002	8° 00' 03"	-80° 31' 13"	43	1967	2014	48
Pocrí	Los Santos	Pocrí	126-002	7° 39' 43"	-80° 07' 08"	70	1971	2014	44
El Cañafístulo	Los Santos	Pocrí	126-013	7° 37' 14"	-80° 13' 55"	140	1973	2014	42
Pedasí	Los Santos	Pedasí	126-005	7° 31' 37"	-80° 01' 25"	47	1968	2014	47

CUADRO 2. VALORES DEL ÍNDICE NORMALIZADO DE PRECIPITACIÓN.

Valor del Índice SPI	Clasificación
2,00 y más	Extremadamente húmedo
1,50 a 1,99	Muy húmedo
1,00 a 1,49	Moderadamente húmedo
-0,99 a 0,99	Normal o aproximadamente normal
-1,00 a -1,49	Moderadamente seco
-1,50 a -1,99	Severamente seco
-2,00 y menos	Extremadamente seco

valores de SPI-12 y SPI-24 (largo plazo) en el período 1965 a 1999 y se comparó con el período comprendido entre los años 2000 al 2015.

Para determinar la relación del Índice de Precipitación Normalizada con el rendimiento de grano de maíz en ensayos por año, se tomaron los datos del rendimiento de la prueba regional de maíz de la localidad de El Ejido durante el período de 2001 a 2015. Estos datos se relacionaron con el valor del SPI-5 del mes de diciembre, el cual es el valor que agrupa los 5 meses (agosto a diciembre) en que se desarrolla el cultivo de maíz. Para determinar la relación se tomó en cuenta el cambio tecnológico que se ha realizado en esta prueba a través del tiempo (Gordón-Mendoza *et al.* 2016). Se restó la media del año respectivo de la media del período total de los años en que se aplicó una misma tecnología. En esta evaluación se tomaron en cuenta los dos últimos paquetes tecnológicos aplicados a

este ensayo (períodos 2003-2009 y 2010-2015). En caso de los ensayos sembrados a partir del año 2007 de manera tardía (siembras de octubre), al igual que los ensayos sembrados en las fechas óptimas (siembras de agosto), a la media del ensayo respectivo se le restó la media de los ensayos tardíos que correspondía al paquete tecnológico de cada período.

Finalmente, se determinó el SPEI-12 de la localidad La Villa, para su cálculo se utilizó el procedimiento original de cálculo del SPEI, con la única variante que los datos de entrada son la diferencia entre la precipitación y evapotranspiración potencial (Vicente-Serrano *et al.* 2010). La evapotranspiración se determinó con la utilización de la ecuación de Penman Monteith (Allen *et al.* 1998). Para la comparación con el SPI-12, se calculó ambos coeficientes con los datos del año 2003 al 2015. En el caso del cálculo del SPI, no se incluyeron los datos previos (1965 a 2002) al año 2003 debido a que

solo se contaba con la temperatura de esta localidad a partir de este año.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Descripción de la precipitación pluvial

La precipitación anual acumulada en las tres localidades del Norte de la Región (Parita, La Villa y El Ejido) es menor a los 1 200 mm, siendo El Ejido la localidad con el menor registro anual (911,8 mm); mientras que para las localidades del Sur (Pocrí, Cañafístulo y Pedasí) este valor es superior, siendo Pedasí la localidad con el mayor acumulado anual de 1 537 mm. Todas presentan una alta variabilidad mensual en el período de lluvias que va del mes de mayo a diciembre. Todas las localidades presentan una depresión o canícula a mitad del periodo lluvioso a excepción de Pedasí. Esta canícula ocurre generalmente en el mes de julio, excepto en Pocrí cuya canícula se presenta en el mes de septiembre.

En los meses en que se lleva a cabo la actividad de producción del cultivo de maíz (agosto a diciembre), la precipitación pluvial difiere entre las localidades del norte con acumulados más bajos (menores de 750 mm) que los reportados en las localidades del sur. Las localidades con los acumulados más altos y bajos son Pedasí y El Ejido con los siguientes valores: 914,9 y 569,1 mm, respectivamente (Figura 1).

Análisis del Índice Normalizado de Precipitación

Un SPI de 12 o 24 meses es una comparación de la precipitación de 12 o 24 meses consecutivos, con la registrada en los mismos 12 o 24 meses consecutivos de todos los años precedentes para los que se dispone de datos (Figura 2). Los SPI de estas escalas temporales generalmente se vinculan con cauces fluviales, niveles de los reservorios e incluso niveles de las aguas subterráneas a escalas temporales más largas. En algunas localidades, el SPI de 24 meses es el que más se relaciona con el Índice de Palmer, y ambos índices pueden reflejar condiciones parecidas (OMM 2012).

En las tres localidades del Norte, (Parita, La Villa y El Ejido) se puede observar en las gráficas de la Figura 2, los índices del SPI 24 están por debajo de -2,00 en varios lapsos del tiempo del período después del año 2000, lo que indica un estrés severo de humedad en los últimos años, y que clasifica a esta zona como la más seca de la Región de Azuero. A diferencia de las tres localidades del Sur, en donde a pesar de presentar valores negativos, los mismos son mayores de -1,50, lo que indica que la precipitación ha estado de normal a moderadamente seco. Los valores menores de -2,00 se presentaron en los años previos a 1990.

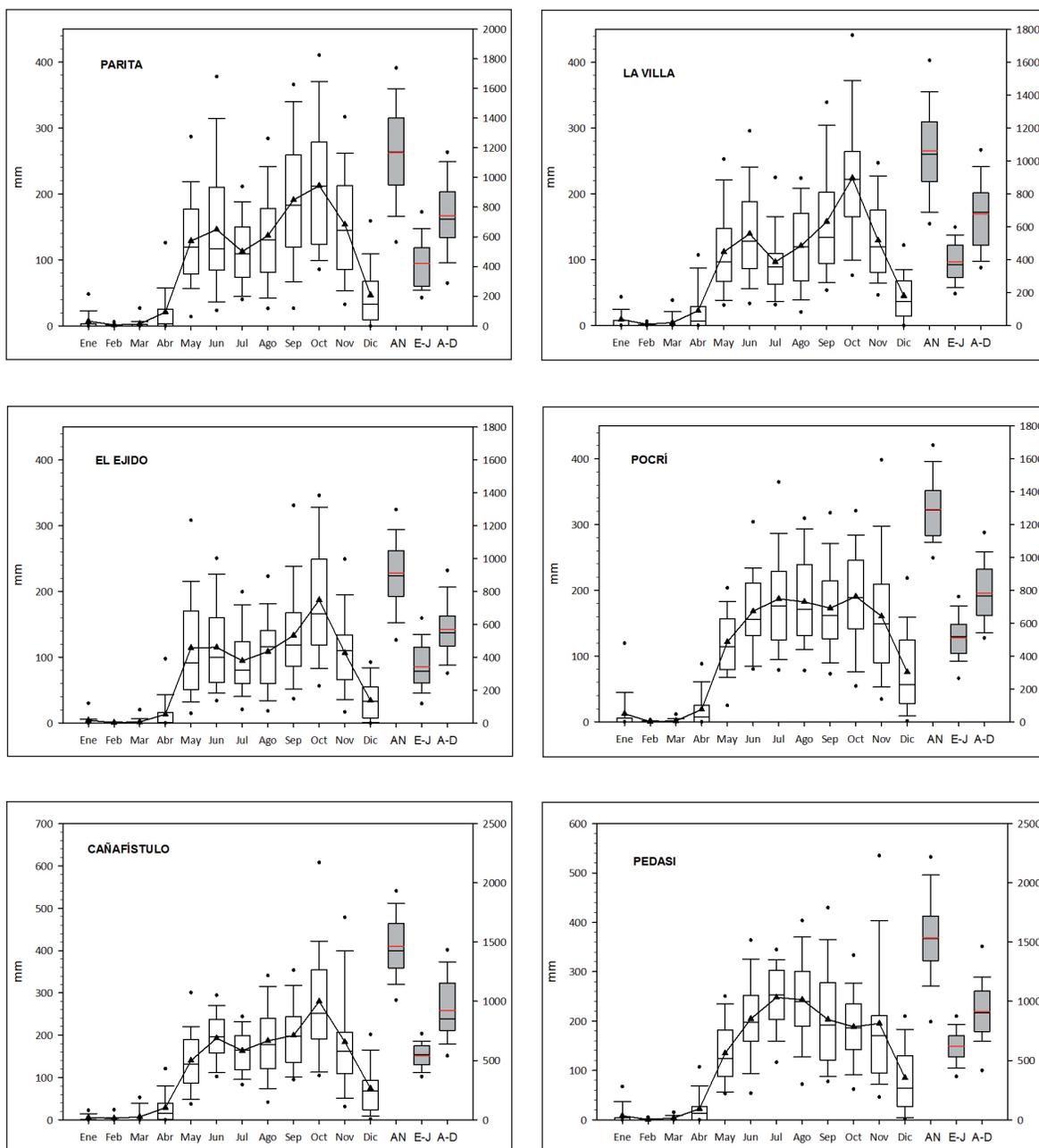


Figura 1. Distribución de la precipitación pluvial mensual, anual y del período de producción del cultivo de maíz, en seis localidades de la Región de Azuero.

La mayoría de los meses (más del 65%) que involucró el estudio en todas las localidades están en el rango de valores considerados Normales para los valores de SPI-12 y SPI-24 (Cuadro 3).

Las localidades del Norte presentan un mayor porcentaje de meses clasificados como severamente y extremadamente secos para ambos valores de SPI, que los reportados en las localidades del

Sur, corroborando lo encontrado por Gordón (2014) de que el Norte es más seco que el Sur de la Región de Azuero. Estos resultados del análisis del SPI-24 coinciden con lo encontrado por Vicente-Serrano *et al.* (2012) en donde concluye que las magnitudes de correlación entre

las diferentes variables hidrológicas, agrícolas y ecológicas analizadas en un estudio realizado por estos muestran claramente que el SPI tiene una mayor capacidad para el seguimiento de las condiciones de sequía en una gran variedad de sistemas.

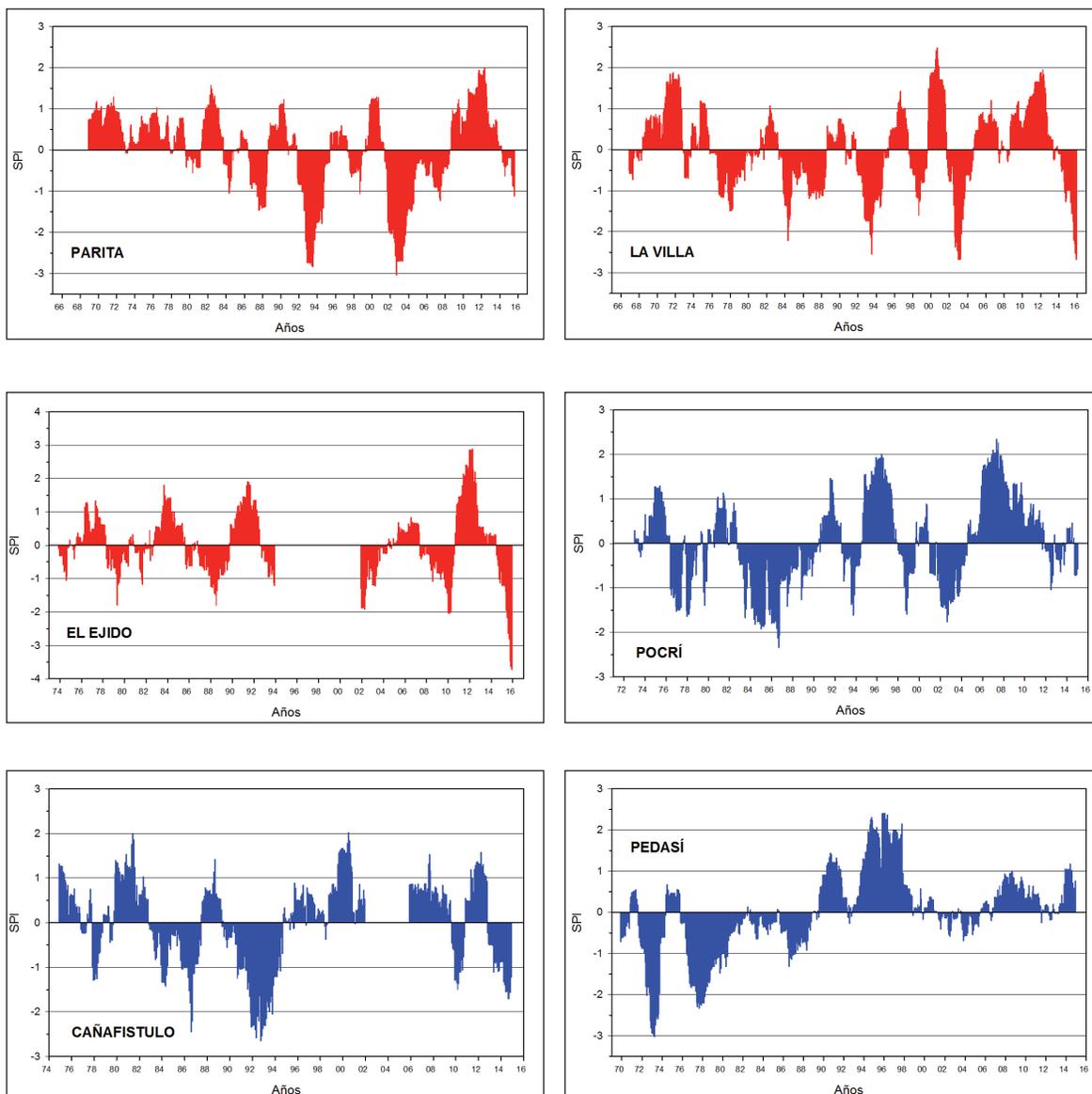


Figura 2. Evolución del SPI-24 en las seis localidades de la Región de Azuero.

CUADRO 3. PORCENTAJE DE MESES CON VALORES EQUIVALENTES A LA ESCALA DE CLASIFICACIÓN (OMM 2012) DE VALORES DE SPI-12 Y SPI-24 EN LAS SEIS LOCALIDADES ESTUDIADAS, AZUERO, PANAMÁ.

SPI-12	Zona Norte				Zona Sur			
	Parita	La Villa	El Ejido	Promedio	Pocrí	Cañafístulo	Pedasí	Promedio
Ext. Húmedo	0,7	2,8	2,5	2,0	2,5	2,0	2,0	2,2
Muy Húmedo	5,4	4,0	2,5	4,0	5,6	6,6	4,3	5,5
Mod. Húmedo	7,9	9,0	8,1	8,3	4,8	9,2	6,5	6,8
Normal	71,4	68,1	71,1	70,2	72,7	67,5	75,0	71,7
Mod. Seco	7,3	8,2	6,8	7,4	7,5	7,0	6,5	7,0
Sev. Seco	3,1	5,7	3,2	4,0	3,7	5,2	1,3	3,4
Ext. Seco	4,2	2,3	5,9	4,1	3,1	2,6	4,3	3,4
SPI-24								
Ext. Húmedo	0,2	0,8	3,0	1,3	1,8	0,2	2,6	1,5
Muy Húmedo	2,5	8,0	2,1	4,2	6,7	4,1	4,8	5,2
Mod. Húmedo	11,2	6,8	9,3	9,1	8,9	9,9	6,3	8,4
Normal	72,0	67,4	68,2	69,2	65,3	65,9	73,0	68,1
Mod. Seco	5,7	10,7	8,4	8,3	10,5	12,2	5,5	9,4
Sev. Seco	2,7	3,1	2,1	2,6	6,1	3,2	3,5	4,3
Ext. Seco	5,7	3,2	7,0	5,3	0,6	4,4	4,3	3,1

Se analizó la evolución del clima a través del tiempo, tomando la localidad más antigua del estudio y con mayor número de años; para esto se dividió el período en dos etapas, la primera de 1965 a 1999 y la segunda fase de 2000 a 2015. Cuando se analizó el SPI-12, se pasó de 2,4% a 5,7%, es decir más del doble de meses extremadamente secos y en el caso del SPI-24 de 1,3% a 7,3%, es decir más de tres veces. Igual relación se observa cuando se comparan los porcentajes de meses catalogados como extremadamente húmedos (Cuadro 4).

Al comparar los meses considerados con lluvias por encima de lo normal ($SPI > 1,00$) se pasó de 13,0% a 21,4% en los valores de SPI-12; mientras que para los meses con lluvias por debajo de lo normal o meses con sequías a largo plazo o índices de SPI menores de -1,00 se pasó de 15,9% a 19,8%. Este aumento de meses que presenta más lluvia por encima o menos lluvia de lo normal, se presentó al analizar el índice de SPI-24. El aumento de los meses por encima o por debajo de lo normal, se refleja en el porcentaje de meses considerados

como normal que disminuyó en 12,3% y 10,4% para los índices SPI-12 y SPI-24, respectivamente. Todo lo anterior indica que se ha presentado una alta frecuencia de la variabilidad de los registros de lluvias, situación cada vez más frecuente, por los efectos del cambio climático que se da a nivel global (Cuadro 4).

Relación del índice SPI-5 con el rendimiento de grano

En este análisis valores negativos de rendimiento, indican que dicho valor, para ese año, estuvo por debajo de la media del período tecnológico evaluado, mientras que valores positivos indican rendimientos con media superior a la media para dicho año. Por otra parte, índices SPI negativos están asociados

a la baja precipitación pluvial e índices positivos y a los años con precipitación pluvial por encima de la media histórica. Al relacionar el índice SPI-5 del mes de diciembre de la localidad de El Ejido con el rendimiento del ensayo de la Prueba Regional de maíz de esa localidad, se encontró una alta relación entre ambos índices, con un valor del coeficiente de correlación de Pearson de 0,87 (Figura 3). Esto significa que los años con valores negativos del SPI-5, correspondieron a diferencias negativas de los ensayos de cada año con respecto a la media del período con la tecnología correspondiente. Entre más alto el valor del SPI-5 mayor fue el rendimiento obtenido ese año con respecto a la media de varios años con tecnología similar.

CUADRO 4. PORCENTAJE DE MESES CON VALORES DE SPI-12 Y SPI-24, DE ACUERDO A LAS CATEGORÍAS, SEGÚN OMM (2012) EN DOS PERÍODOS DE TIEMPO DEL PLUVIÓMETRO LOCALIZADO EN LA VILLA DE LOS SANTOS.

	SPI-12		SPI-24	
	1965-1999	2000-2015	1965-1999	2000-2015
Extremadamente Húmedo	1,9	4,7	0,0	2,6
Muy Húmedo	3,4	5,2	5,3	13,5
Moderadamente Húmedo	7,7	11,5	5,5	9,4
Normal	71,2	58,9	70,8	60,4
Moderadamente Seco	8,7	6,8	13,9	4,2
Severamente Seco	4,8	7,3	3,3	2,6
Extremadamente Seco	2,4	5,7	1,3	7,3
Húmedo (> 1,00)	13,0	21,4	10,8	25,5
Normal	71,2	58,9	70,8	60,4
Seco (< -1,00)	15,9	19,8	18,4	14,1

El análisis del SPI-24 coincide con lo encontrado por Vicente-Serrano *et al.* (2012), donde concluyen que las magnitudes de correlación entre las diferentes variables hidrológicas, agrícolas y ecológicas, indica que el SPI muestra una mayor capacidad para el seguimiento de las condiciones de sequía en una gran variedad de sistemas.

Comparación entre SPI y SPEI de 12 meses

Se encontró pocas diferencias entre índices, coincidiendo con los resultados encontrados por Peña-Gallardo *et al.* (2016). Los índices de sequía muestran diferencias en la identificación de los períodos seco, pero en general, el SPI y SPEI presentan evoluciones temporales similares, de igual forma que para la mayoría de las series analizadas. La magnitud de las correlaciones en muchas de las variables analizadas, es similar entre los dos índices. Lo que sugiere que el uso del SPI, requiere de menos datos que el SPEI. Sin embargo, se han encontrado algunas diferencias entre índices que sugieren la mejor capacidad del SPEI (Vicente-Serrano *et al.* 2012).

La pequeña diferencia entre índices, puede ser mayor ante la elevación de la temperatura ambiental que incide directamente en un mayor valor de la Evapotranspiración, por lo cual se

incrementaría el efecto del estrés hídrico al que están sometidos los cultivos.

En el análisis de La Villa, se puede observar como los períodos con valores negativos en ambos índices difieren ligeramente, pero son más intensos (mayor duración y magnitud) en los calculados en el SPEI (Figura 4). Estos demuestran que, aunque la precipitación es el principal determinante de la severidad de la sequía, la influencia de la demanda evaporativa no se puede ignorar, sobre todo en el escenario actual de calentamiento global.

CONCLUSIONES

- El Índice Normalizado de Precipitación (SPI) es una herramienta versátil para el estudio de la caracterización de la precipitación pluvial clasificando los eventos en secos y/o húmedos, de tal manera que se puede determinar la magnitud y duración de las sequías.
- La productividad o producción de granos del cultivo de maíz en una zona específica está altamente correlacionada con los datos del SPI de esta misma localidad.
- Se encontró una ligera diferencia entre SPI vs SPEI, este último índice muestra un efecto marcado por la temperatura en la magnitud de la sequía.

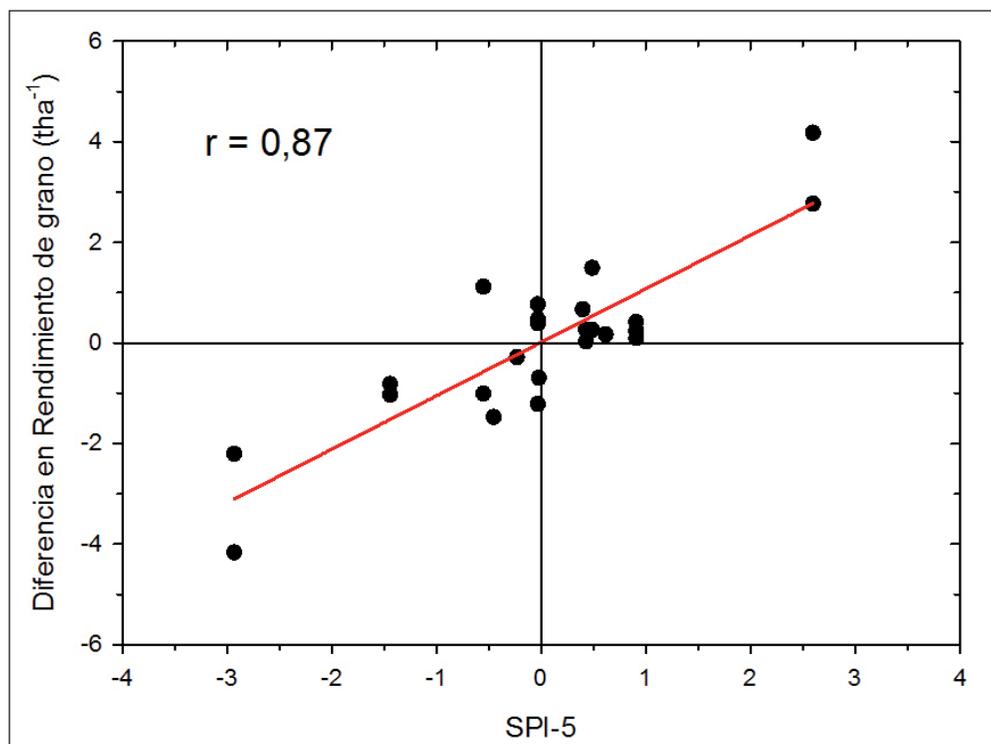


Figura 3. Relación entre el índice SPI-5 del mes de diciembre con la diferencia del rendimiento de cada año de la media por paquete tecnológico de los ensayos sembrados en El Ejido, Los Santos, 2001-2015.

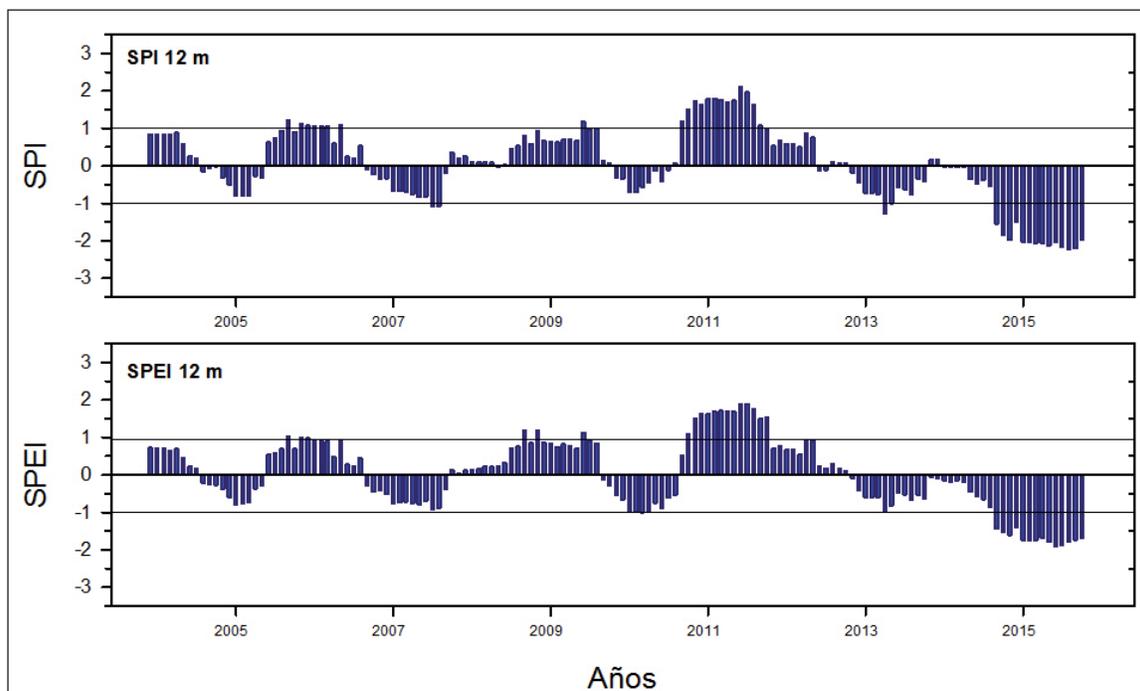


Figura 4. Valores del SPI-12 y el SPEI-12 de la localidad La Villa de Los Santos en el período 2003-2015.

BIBLIOGRAFÍA

- Allen, RG; Pereira, LS; Raes, E; y Smith, M. 1998. Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements, Irrigation and Drainage Paper 56, Rome, Italy: United Nations FAO.
- FAO (Food and Agriculture Organization, IT). 2015. Coping with climate change – the roles of genetic resources for food and agriculture. Rome. 110 p.
- Gordón-Mendoza, R; Franco-Barrera, JE y Camargo-Buitrago, I. 2016. Impacto de la Tecnología Generada en el cultivo de maíz para la Región de Azuero. IDIAP. Revista Ciencia Agropecuaria 24:1-18.
- Gordón-Mendoza, R. 2014. Los granos básicos y la Variabilidad climática en Azuero: Caso maíz. *In* Resúmenes de Primer Congreso Científico CRULS, Universidad de Panamá, Las Tablas, Panamá. 22 de octubre de 2014.
- OMM (Organización Meteorológica Mundial). 2012. Índice Normalizado de Precipitación: Guía de Usuario. OMM No 1090. 15 p.
- Lobell, DB; Burke, MB; Tebaldi, C; Mastrandrea, MD; Falcon, WP and Naylor, RL. 2008. Prioritizing Climate Change Adaptation Needs for Food Security in 2030. *Science* 319:607-610.
- Lloyd-Hughes, B; Saunders, M. 2002. A Drought Climatology for Europe, *International Journal of Climatology* 22:1571-1592.
- McKee, TB; Doesken, NJ; Kleist, J. 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scale. *In* Proceedings of the Eighth Conference on Applied Climatology. Anaheim, California. 17 a 22 de enero de 1993. American Meteorological Society. Boston. p.179-184.
- McKee, TB; Doesken, NJ; Kleist, J. 1995. Drought monitoring with multiple timescales. *In* Proceedings of the Ninth Conference on Applied Climatology. Dallas, Texas. 15 a 20 de enero de 1995. American Meteorological Society. Boston. p.233-236.
- Nelson, GC; Rosegrant, MW; Palazzo, A; Gray, I; Ingersoll, C; Robertson, R; Tokgoz, S; Zhu, T; Sulser, TB; Ringler, C; Msangi, S; You, L. 2010. Food Security and Climate Change:

- Challenges to 2050 and Beyond. IFPRI Issue Brief 66. December 2010. 8 p.
- Núñez, SE; Núñez, LN; Podestá, GP; Skansi M, 2005. El Índice Estandarizado de Precipitación como herramienta para la caracterización y el monitoreo de la sequía: Una prueba de concepto. *In* Resúmenes del IX Congreso Argentino de Meteorología, Buenos Aires Argentina. 3 al 7 octubre de 2005.
- Peck, SL. 2004. Simulation as experiment: a philosophical reassessment for biological modeling. *Trends in Ecology and Evolution* 19(10):530-534.
- Peña-Gallardo, M; Gámiz-Fortis, SR; Castro-Diez, Y; Esteban-Parra, MJ. 2016. Análisis comparativo de índices de sequía en Andalucía para el período 1901-2012. *Cuadernos de Investigación Geográfica* 42(1):67-88.
- Ruane, AC; DeWayne, CL; Horton, MR; Gordón, R; McCollum, R; Brown, D; Killough, B; Goldberg, R; Greeley, AP; Rosenzweig, C. 2013. Climate change impact uncertainties for maize in Panama: Farm information, climate projections, and yield sensitivities. *Agricultural and Forest Meteorology* 170:132-145.
- Vicente-Serrano, SM; Beguería, S; Lorenzo-La Cruz, J; Camarero, JJ; López-Moreno, JI; Azorín-Molina, C; Revuelto, J; Morán-Tejeda, E; Sánchez-Lorenzo, A. 2012. Análisis comparativo de diferentes índices de sequía para aplicaciones ecológicas, agrícolas e hidrológicas. *In* VIII Congreso Internacional de la Asociación Española de Climatología. "Cambio climático. Extremos e impactos". Serie A, nº 8. Salamanca. p.679-689.
- Vicente-Serrano, SM; Beguería, S; López-Moreno, JI. 2010. A Multi-scalar drought index sensitive to global warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index – SPEI, *Journal of Climate* 23:1696-1718.

AGRADECIMIENTO

Los autores desean expresar su más sincero agradecimiento al Departamento de Hidrometeorología (HIDROMET) de la Empresa de Transmisión Eléctrica S.A (ETESA) y en especial a la Ing. Berta Olmedo por facilitar la data de lluvia y temperatura de las localidades incluidas en esta investigación.