

Modelación mensual con 11 años de antelación del Índice de Precipitación Estandarizado (SPI) en Villa Clara, Cuba

Ricardo Osés Rodríguez¹, Meylin Otero Martín¹, Julia Socarrás Padrón¹

¹Centro Meteorológico Provincia del Villa Clara. Santa Clara, Villa Clara, Cuba.

Autor para correspondencia: Meylin Otero Martín, meylinotero@gmail.com

(Recibido: 24-09-2021. Publicado: 15-02-2022.)

Resumen

El objetivo de este trabajo está encaminado a modelar el Índice de Precipitación Estacional (SPI) que se presenta en la Provincia de Villa Clara en el periodo comprendido entre el año 1961 al 2010, se pronostica desde el año 2011 hasta el 2021. El mejor modelo explica el 32.3 % de varianza con un error estándar de 1.005, el SPI regresado en 11 años, 11 años y tres meses, 11 años y cuatro meses y 11 años y 6 meses fueron las variables de mayor impacto en los modelos. La tendencia en el tiempo no fue significativa indicando un proceso persistente en el tiempo. Se utilizó la Regresión Objetiva Regresiva (ROR) y con ayuda del paquete estadístico SPSS 19. El modelo ROR presenta buenos resultados con una correlación significativa y pequeños errores, se muestran tablas y gráficos de los valores reales y pronosticados para el año 2020-2021.

Palabras clave: Provincia, Índice precipitación estandarizado, Modelación matemática, Precipitación, Variables climáticas.

Abstract

The objective of the present work is to study the behavior of the indicators of climatic extremes in Sagua la Grande, Villa Clara. The data used were the series of maximum temperature (T_x), minimum temperature (T_n) and precipitation (RR) in the period 1977-2017. They are part of the data file of the Villa Clara Provincial Meteorological Center (CMP.VC); as well as the daily series of precipitation of the pluviometric network of the Villa Clara Hydraulic Utilization Company (EAH-VC). The Rclimdex-extraQc software and the RH-Test tool were used. The change points and trends of the maximum and minimum temperatures and the amplitude of the thermal oscillation were calculated, according to the methodology established by the World Meteorological Organization for studies of Climate Change. The most outstanding results show a significant increase in extreme minimum temperatures, as well as the number of hot days and the increasing trend of tropical nights. The rains did not show significant trends, although there is evidence of an increase in total annual precipitation due to very humid days, heavy rainfall events and several days with rain.

Keywords: Province, Standardized precipitation index, Mathematical modeling, Precipitation, Climate variables.

1. Introducción

Villa Clara, ubicada en el centro-norte del archipiélago cubano, posee una extensión territorial de 8662,4 km² incluidos 719,2 km² de cayos adyacentes, que forman parte del Archipiélago Sabana-Camagüey o Jardines del Rey. Limita al norte con el Océano Atlántico y por el sur, con las provincias de Cienfuegos y Sancti Spíritus. Por el este limita con la provincia de Sancti Spíritus y por el oeste con la provincia de Matanzas (Figura 1). Las costas, que poseen una configuración irregular y se caracterizan por ser bajas y pantanosas, alcanzan una longitud de 191,0 km por el norte siendo esta la única frontera marítima destacándose los cayos Santa María, Ensenachos, Las Brujas, Fragoso y Esquivel entre otros. Las mayores alturas se ubican en la Sierra de Trinidad, perteneciente al macizo de Guamuhaya, constituyendo la mayor elevación de la provincia el Pico Tuerto con 923 m de altitud. También sobresale la Sierra Guaniquical, con 869 m (Otero Martín, 2012).

El tipo de clima predominante en este territorio, atendiendo a la clasificación de Köppen modificada, es tropical con verano relativamente húmedo, en contraste con la zona montañosa donde habitualmente es templado cálido con lluvias todo el año, (Barcia Sardiñas, 2011).

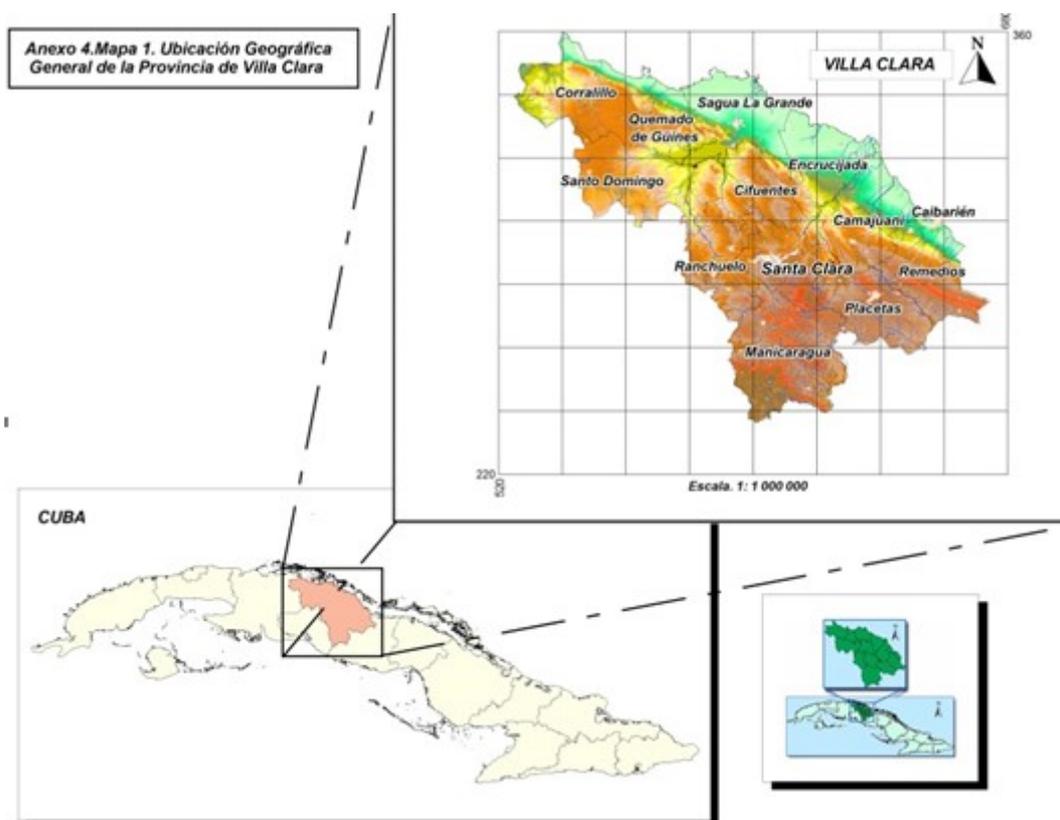


Figura 1: Ubicación Geográfica del área de estudio. Villa Clara, Cuba. Elaboración propia.

En los últimos años los desastres de origen natural se han incrementado en toda la geografía mundial. Entre los más frecuentes se encuentra la sequía, principalmente afectando al continente

africano y Las Américas. La sequía es un fenómeno extremo dentro de la variabilidad natural del clima, al igual que lo son las lluvias intensas, los ciclones tropicales, las olas de calor o frío. Pero a diferencia de estos, la sequía es un fenómeno de desarrollo gradual que permanece por un tiempo sobre un área determinada, por lo que resulta difícil determinar cuándo comienza y cuándo termina. Este extremo, si bien constituye una afectación climática que la sociedad ha enfrentado históricamente, ha visto acrecentada su influencia en los últimos decenios, lo que ha dado lugar a que se le considere como uno de los fenómenos naturales causante de mayores desastres en el mundo, el más frecuente y persistente, así como de mayores efectos negativos para la producción agrícola, como también de impactos adversos reales y potenciales sobre el medio ambiente. En el texto de la Convención de Lucha contra la Desertificación, elaborada por Naciones Unidas y ratificada en 1996 (DPCSD/CCD/ 95/2), donde en su Parte I referida a la introducción y el Artículo 1 relacionado con los términos utilizados expresa: por “sequía” se entiende el fenómeno que se produce naturalmente cuando las lluvias han sido considerablemente inferiores a los niveles normales registrados, causando un agudo desequilibrio hídrico que perjudica los sistemas de producción de recursos de tierras. Wilhite y Glantz (1987), tratando de armonizar todo el amplio espectro de enfoques, establecen cuatro tipos principales de sequías, a saber: meteorológica, agrícola, hidrológica y social o económica. Vale destacar, que los resultados de este trabajo se refieren al análisis de la sequía meteorológica en un territorio. Se entiende por sequía meteorológica cuando la precipitación es muy inferior a lo esperado en una amplia zona y para un largo período (Wilhite y Glantz, 1987).

Según el Vocabulario Meteorológico Internacional (Organización Meteorológica Mundial [OMM], 1994) expresa que la sequía, en su acepción más común, se define como: “Un período de condiciones meteorológicas anormalmente secas, suficientemente prolongado como para que la falta de precipitaciones cause un grave desequilibrio hidrológico”. En los últimos años se ha demostrado que el déficit de agua provocado por la sequía es cada vez más recurrente y persistente, y afecta severamente a las regiones en las que esta se presenta. Las consecuencias económicas, sociales y ecológicas son más graves en la medida en que se está menos preparado para afrontarlas. Por ello, la mejor estrategia es la prevención, lo que disminuye la vulnerabilidad (Velasco, Ochoa, y Gutiérrez, 2005). En la provincia de Villa Clara se confecciona El Boletín de Vigilancia Climática que es una publicación mensual del Centro Meteorológico Provincial de Villa Clara, confeccionado por el Departamento de Clima, con la cooperación del Departamento de Pronósticos de la citada institución, a partir de los datos de la Red de Estaciones Meteorológicas y de la Red de Telecomunicaciones del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos. En este boletín se trabaja con el Índice de Precipitación estandarizada de la Provincia (SPI), no obstante, se hace necesario a nivel puntual de contar con un pronóstico del mismo para una toma de decisión a nivel Provincial de la sequía, es por esta razón nuestro objetivo será modelar dicho índice con una antelación de 11 años y ver su comportamiento con la realidad.

2. Metodología

Para la realización de este trabajo se utilizaron los datos del Índice de Precipitación estandarizada para la provincia de Villa Clara comprendidos en el período 1961-2010. Primeramente se utilizó la metodología ROR (Osés, 2011)¹ para la modelación del SPI y se utilizó el paquete estadístico SPSS 19. Se realizó un pronóstico con 11 años de antelación 2011-2021.

3. Resultados

El modelo utilizando la regresión objetiva regresiva dio como resultado que la varianza explicada 32.3 % con un error estándar de 1.005 (Tabla 1), el estadístico de Durbin Watson no es cercano a dos por lo que existe correlación entre los errores, existe información que todavía no se ha tenido en cuenta, como se está realizando un modelo a largo plazo esto debe ocurrir, la varianza explicada es aproximadamente la mitad del modelo a corto plazo.

Tabla 1: Algunos estadísticos del modelo.

Modelo	R	R cuadrado ^b	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación	Durbin-Watson
1	,323 ^a	,104	076	1,00580	,730

- Predictores: Step266, Step331, Step573, Step430, Step483, Step169, Lag132SPI, Lag135SPI, Lag132sunspot, Lag138SPI, DS, DI, Lag136SPI, NoC.
- Para la regresión a través del origen (el modelo sin interceptación), R cuadrado mide la proporción de la variabilidad en la variable dependiente sobre el origen explicado por la regresión. Esto NO SE PUEDE comparar con el R cuadrado para los modelos que incluyen interceptación.
- Variable dependiente: SPI.
- Regresión lineal a través del origen.

El Análisis de Varianza fue significativo al 99 % , con una F de Fisher de 3.724.(Tabla 2)

Tabla 2: Análisis de varianza del modelo ANOVA^{a,b}.

Modelo	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	52,739	14	3,767	3,724	,000 ^c
Residuo	453,215	448	1,012		
Total	505,954 ^d	462			

- Variable dependiente: SPI.
- Regresión lineal a través del origen.
- Predictores: Step266, Step331, Step573, Step430, Step483, Step169, Lag132SPI, Lag135SPI, Lag132sunspot, Lag138SPI, DS, DI, Lag136SPI, NoC.
- Esta suma total de cuadrados no está corregida para la constante porque la constante es cero para la regresión a través del origen.

El modelo para esta etapa fue (Tabla 3), donde DS y DI explican los altibajos de la serie, siendo ambas significativas al 95 %, mientras NoC representa la tendencia en el tiempo la cual no es significativa por tener valor cero sin embargo esto indica que el proceso de sequía es persistente al tener significación, hay estabilidad en el Índice, el modelo ROR depende del SPI regresado en 1 mes, tres, cuatro y seis meses en 11 años atrás o sea lag 132,,135,136 y 138, las variables step indican casos en la muestra que influyen en el modelo como valores extremos del índice,

no todas las variables fueron significativas pero las que están aportan varianza al proceso, la más significativa es el índice 11 años atrás(Lag132) .Las manchas solares poseen un coeficiente muy pequeño pero aun así hacen que la correlación entre valores reales y pronosticados sea mejor cuando ellas están presentes y esto es significativo al 100 %, en el caso de las manchas solares(Lag132sunspot) se utilizaron datos pronosticados.

Tabla 3: Modelo ROR del SPI Villa Clara. Coeficientes^{a,b}.

Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error estándar	Beta		
DS	-,040	,166	-,027	-,239	,811
DI	-,073	,167	-,049	-,439	,661
NoC	3,246E-5	,000	,012	,087	,931
Lag132SPI	,111	,045	,116	2,484	,013
Lag135SPI	-,015	,067	-,015	-,218	,827
Lag136SPI	,047	,072	,048	,655	,513
Lag138SPI	,043	,052	,044	,834	,405
Step169	-2,429	1,013	-,108	-2,397	,017
Step483	-,598	1,015	-,027	-,589	,556
Step430	1,666	1,010	,074	1,649	,100
Lag132sunspot	,001	,001	,059	,766	,444
Step573	3,739	1,012	,166	3,694	,000
Step331	3,219	1,012	,143	3,180	,002
Step266	3,082	1,010	,137	3,052	,002

- Variable dependiente: SPI.
- Regresión lineal a través del origen.

Como puede verse los residuales estandarizados (Tabla 4) presentan media cero y desviación estándar 0.986 cercano a uno, el máximo residual es de 2.968, la desviación estándar de los residuales es 0.986.

Tabla 4: Residuales del modelo ROR Villa Clara. Estadísticas de residuos^{a,b}.

	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar	N
Valor pronosticado	-2,4800	3,7200	,0096	,33809	462
Residuo	-2,40694	2,98520	,00000	,99152	462
Valor pronosticado estándar	-7,364	10,974	,000	1,000	462

- Variable dependiente: SPI.
- Regresión lineal a través del origen.

A continuación, se presenta en la Figura 1 la distribución de frecuencias de los residuales siguiendo estos una distribución perfectamente normal algo muy bueno para el modelo.

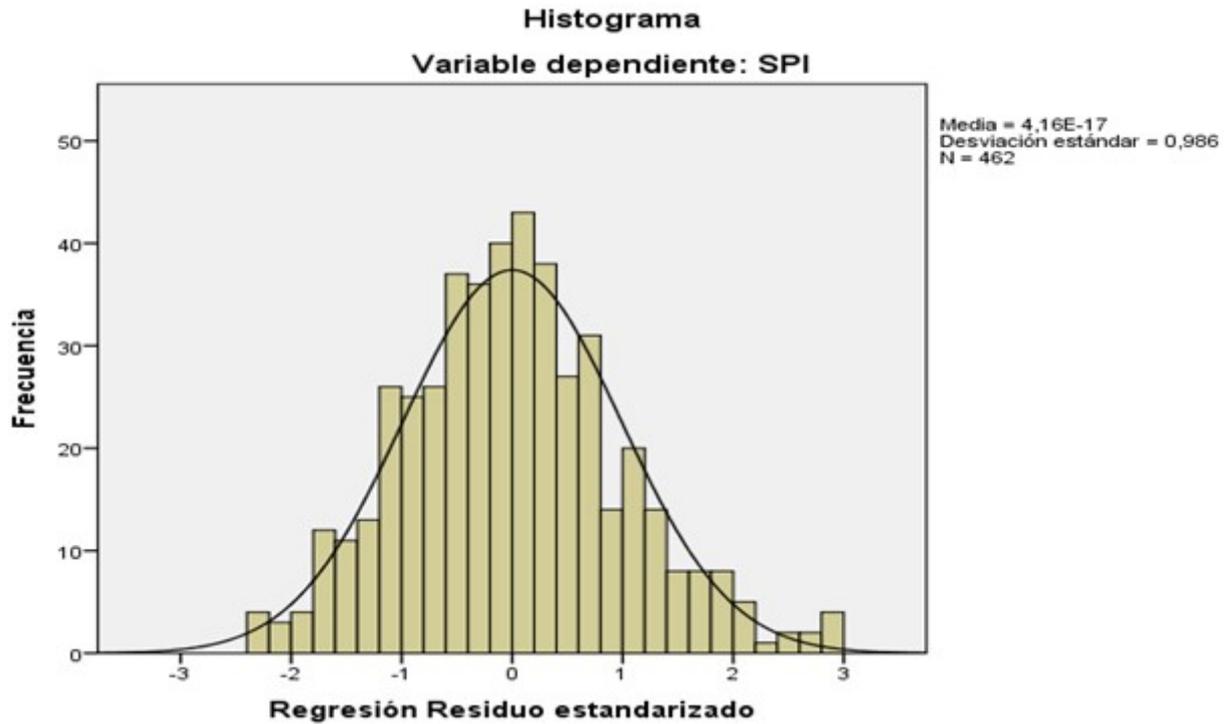


Figura 2: Distribución de Frecuencia de los Residuales con ROR.

En la Figura 3 se aprecia una perfecta línea recta entre la probabilidad esperada y la probabilidad observada de los residuales estandarizados muy beneficiosa para el modelo.

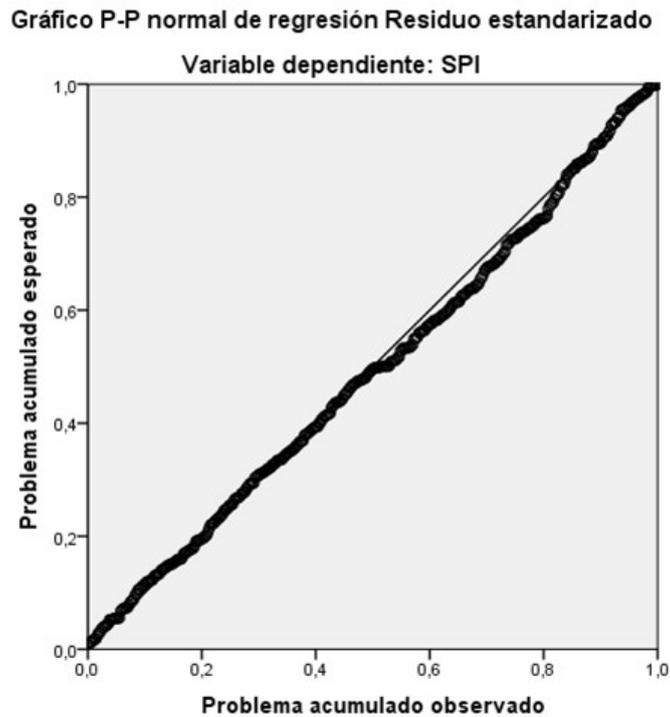


Figura 3: Ploteo de probabilidades de los residuales con ROR.

En la tabla 5 una comparación entre la correlación de Pearson para el modelo sin manchas solares y el modelo utilizando la cantidad de manchas solares, se aprecia que este último presenta una mayor correlación significativa al 100 %.

Tabla 5: Correlación de los residuales con las variables climáticas manchas solares.

Variable	Modelo ROR sin manchas solares	Modelo ROR con Manchas solares
Correlación de Pearson	0.321	0.323
N	462	462
Significación	0.000	0.000

Por último, se plotearon los valores reales y los pronosticados para la modelación ROR para una muestra independiente desde el 2010 al 2021 observándose la buena coincidencia entre valores reales y pronosticados. A pesar del largo plazo se puede apreciar que se extrae información en el índice muy valorada en el pronóstico a largo plazo.

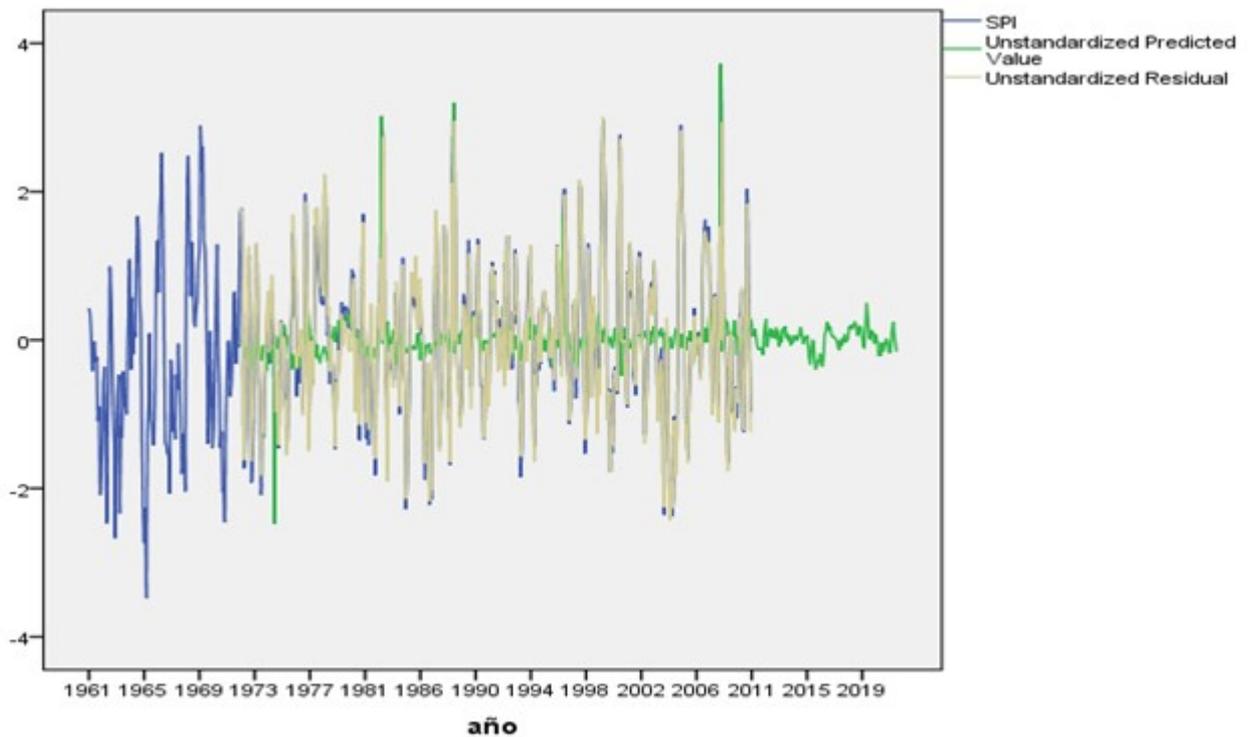


Figura 4: Resultados del valor real y predicho del SPI Villa Clara.

En la figura 5 se aprecian los resultados para el año 2020 y 2021.

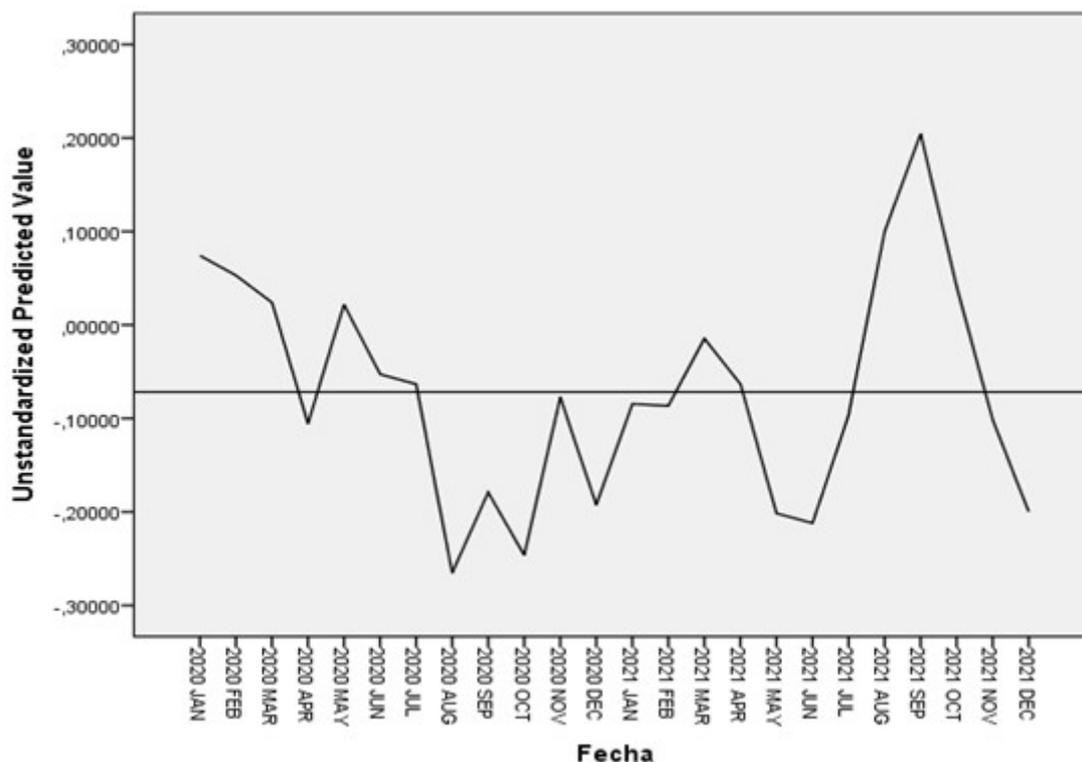


Figura 5: Resultados del valor predicho del SPI Villa Clara para el año 2020 y 2021 utilizando datos de las manchas solares 11 años atrás.

4. Conclusiones

Se obtiene un modelo que explica el 32.3% de varianza con un error estándar de 1.005. El modelo a largo plazo depende del SPI regresados en 11 años, 1 mes, tres, cuatro y seis meses de antelación. El modelo ROR presenta buenos resultados con una correlación la mitad del modelo a corto plazo.

Referencias bibliográficas

Abdulkadir G (2017): Assessment of Drought Recurrence in Somaliland: Causes, Impacts and Mitigations. *Journal Climatology Weather*, 5:204, Disponible en línea: <http://dx.doi.org/10.4172/2332-2594.10002>.

Barcia S (2005): Tendencia de los patrones de circulación y su influencia en las precipitaciones en Cienfuegos en el bimestre mayo-junio [Tesis de Grado]. Instituto Superior de Tecnología y Ciencias Aplicadas, La Habana, Cuba.

Barcia S, Orbe G, López R, Regueira V, Millán J, Ceballo R, Sánchez R, Angulo R (2011): Variabilidad y tendencias del clima en la provincia Cienfuegos. [Informe Final de Proyecto]. Cienfuegos, Cuba.

Barcia S, Caballero R, Fontes M, Viera E, Angulo R (2018): La sequía meteorológica 2014-2017. Características e impactos en la provincia Cienfuegos. (inédito) Ponencia presentada en el Fórum

de Ciencia y Técnica Delegación del CITMA, Cienfuegos, Cuba. 14p.

Boletín de la Vigilancia del Clima (BVC) (2017): Instituto de Meteorología de Cuba (INS-MET). Vol. 29.No 4.

Boletín de la Vigilancia del Clima (BVC) (2015): Instituto de Meteorología de Cuba (INS-MET). Vol. 27.No 10.

Box GEP, Jenkins GM, Reinsel GC (1994): Time Series Analysis Forecasting and Control, 3rd edition. Prentice –Hall Inc., New Jersey.

Durán I (2017): Circulación atmosférica y días con lluvia durante eventos significativos de sequía en el occidente de Cuba. *Revista Cubana de Meteorología*, (23), 3:349-362.

Cárdenas O, Roque (2008): El conocimiento de la sequía fortalece las estrategias cubanas. Disponible en línea: www.gestiopolis.com/administracion-estrategia/conocimiento-de-las-estrategias-ambientales.htm

Centella A, Llanes J, Paz L, López C, Limia M. (2001): Primera Comunicación Nacional de Cuba a la Convención Marco de Las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. Grupo Nacional de Cambio Climático. Instituto de Meteorología. La Habana, 169 pp.

Centella A, Lapinel B, Solano O, Vázquez R, Fonseca C, Cutié V, Duarte L (2006): La sequía meteorológica y agrícola en la República de Cuba y la República Dominicana. 174pp.

Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación en los países afectados por sequía grave o desertificación, en particular en Africa. Printed in Switzerland. GE.95-03531-December de 1995 – 5.000 DPCSD/CCD/95/2.

Cutié V, Lapinel B, González N, Perdigón J, Fonseca C, González I Góngora Y (2013): La Sequía en Cuba, un texto de referencia. Sello editorial ama.

Fattahi E, Habibi M, Kouhi M (2015): Climate Change Impact on Drought Intensity and Duration in West of Iran. *J. Earth Sci. Clim. Change*, 6:319. Disponible en línea <http://dx.doi.org/10.4172/2157-7617.1000319>

Gibbs WJ (1987): A Drought Watch System. WMO/TD–No.193 WCP–134 World Meteorological Organization pp. 23.

Gibbs WJ, Maher JV (1967): Rainfall deciles as drought indicators. Bureau of Meteorology Bulletin No. 48, Commonwealth of Australia, Melbourne.

Hayes MJ (1999). Drought indices. National Drought Mitigation Center. Recuperado de <http://enso.unl.edu/ndmc>.

Lapinel P, Rivero B, Cuties V (1993): La Sequía en Cuba y sus causas. Análisis del período 1931–1990. (Inédito), Informe de resultado. INSMET. La Habana, 52 pp.

Lapinel B, Varela N, Cutié V (1998): Sequía, aridez y desertificación. Términos de referencia. Nueva versión del Sistema Nacional de Vigilancia de la Sequía. Informe Científico Técnico Oficina Territorial de Camagüey.

Lecha LB, Paz R, Lapinel B (1994): El Clima de Cuba. Editorial Academia. 186 pp.

Lloyd-Hughes B, Saunders MA (2002): A drought climatology for Europe. *International Journal of Climatology*, 22:1571–1592

Machado A (2010): Los ciclones tropicales en Villa Clara en el período 1886-200. REDVET. *Revista Electrónica de Veterinaria*, (11):1-10.

Marcos O (2001): Sequía: definiciones, tipologías y métodos de cuantificación. Investigaciones geográficas. n^o 26, pp. 59-80

Martín E, Domínguez I, Hernández W, Osés R, Saura G, Pedraza A, López R (2004): Estudio mapificado sobre un Sistema de Información Geográfico del Comportamiento Histórico de las Precipitaciones en la Provincia de Villa Clara. (inédito). Proyecto Territorial. Centro Meteorológico Provincial de Villa Clara.

McKee TB, Doesken NJ, Kleist J, (1993): The relationship of drought frequency and duration to time scales. Preprints, 8th Conference on Applied Climatology, 17–22 January, Anaheim, CA, pp. 179–184.

Moya A, Purón M, Ruiz C (2005): Caracterización y pronóstico de los procesos que dan lugar a las precipitaciones en Villa Clara durante el período poco lluvioso. *Revista Cubana de Meteorología*, (12):51. ISSN: 0–864–151–X

Organización Meteorológica Mundial (2016): Estado del Clima Mundial 2011-2015. OMM–N^o 1179.

Organización Meteorológica Mundial (OMM) y Asociación Mundial para el Agua (GWP) (2014): Directrices de política nacional para la gestión de sequías: Modelo para la adopción de medidas (D.A. Wilhite), Serie 1 de herramientas y directrices del Programa de gestión integrada de sequías. OMM, Ginebra (Suiza) y GWP, Estocolmo (Suecia). ISBN: 978-91-87823-14-5

Organización Meteorológica Mundial (OMM) (1994): Guía de Prácticas Climatológicas. OMM, No.168. ISBN 92–63–30168–9. 780 pp

Osés R, Grau R (2011): Modelación regresiva (ROR) , versus modelación ARIMA, usando va-

riables dicotómicas en mutaciones del VIH. Universidad Central Marta Abreu de las Villas, 25 de Febrero. Editorial Feijóo. ISBN:978-959-250-652-7.

Otero M (2012): Susceptibilidad ambiental ante inundaciones por intensas lluvias para la gestión del riesgo de desastre en Villa Clara. Tesis de Maestría. (Inédito).

Paredes F, Millano JL, Guevara E (2008): Análisis espacial de las sequías meteorológicas en la región de Los Llanos de Venezuela durante el período 1961-1996. *Revista de Climatología*. (8):15-27.

Pedraza F, Osés R, Saura G, Domínguez, I, Castro, Socarrás J, Cómez R (2010): Impacto de las precipitaciones en la cuenca Sagua la Grande. Proyecto de Investigación. Catálogo del Centro Meteorológico Provincial de Villa Clara.

Poquet D, Belda FJ, García-Haro FJ (2008): Regionalización de la sequía en la Península Ibérica desde 1950 hasta 2007 a partir del SPI y una modelización digital terreno. Recuperado de https://repositorio.aemet.es/bitstream/20.500.11765/5301/1/1D_Poquet.pdf

Ricardo Osés Rodríguez, Meylin Otero Martín, Julia Socarrás Padrón (2020): Modelación mensual del Índice de Precipitación Estacional en la Provincia de Villa Clara, Cuba. Centro Meteorológico Provincial de Villa Clara, inédito.

Solano O, Vazquez R, Centella A, Lapinel B (2006): Una aproximación al conocimiento de la sequía en Cuba y sus efectos en la producción agropecuaria. *Revista Zonas Áridas*, (11):16

Young KC (1992): A Three-Way Model for Interpolating for Monthly Precipitation Values. *Monthly Weather Review*, (120):2561-2569

Velasco I, Ochoa I, Gutiérrez C (2005): Sequía, un problema de perspectiva y gestión. En: Región y Sociedad. Vol XVII, Nº 34, 2005, Sonora, El Colegio de Sonora, México. Disponible en línea: <http://www.maa.gba.gov.ar/agricultura-est>

Wilhite DA, Glantz MH, (1985): Understanding the drought phenomenon: the role of definitions. *Water International*, (10):111-120