


Rendimiento agrícola en Cuba y su sincronismo con variables del Clima Espacial



Agricultural yield in Cuba and its synchronism with Space Weather variables

Sierra F., P.; Durán S., O.; Editor Académico Prof. Dr. Ángel Sol-Sánchez

 P. Sierra F.
sierrafp@gmail.com
Instituto de Geofísica y Astronomía, Cuba

 O. Durán S.
odilduran@gmail.com
Inversiones GAMMA S.A. del CITMA, Cuba
Editor Académico Prof. Dr. Ángel Sol-Sánchez
Colegio de Postgraduados, México, Mexico

Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático

Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, León, Nicaragua
ISSN-e: 2410-7980
Periodicidad: Semestral
vol. 8, núm. 15, 2022
czuniga@ct.unanleon.edu.ni

Recepción: 14 Mayo 2022
Aprobación: 01 Junio 2022

URL: <http://portal.amelica.org/ameli/journal/394/3943064005/>

DOI: <https://doi.org/10.5377/ribcc.v8i15.14296>

Autor de correspondencia: sierrafp@gmail.com

Resumen: Con los resultados que se muestran se señala el comportamiento del rendimiento agrícola, reportado para Cuba durante los últimos 30 años (1990 a 2019) en los anuarios estadísticos del ramo, así como su relación con la Actividad Solar (AS) y geomagnética. El objetivo central consiste en corroborar si para las condiciones geográficas de Cuba se manifiesta, en las series de tiempo correspondientes, el sincronismo que en otras regiones del planeta muestra la producción agrícola con respecto a los ciclos multianuales de la Actividad Solar y Geomagnética. Se [U1] [U2] [PS3] encontró que, mediante análisis de series de tiempo, correlación cruzada y con el uso de la Transformada Rápida de Fourier (FFT), que en la mayoría de los casos se manifiesta una variabilidad cuasi periódica en el rendimiento, cuyo período principal está en el orden de los 10 a 12 años, propio de las variables helio-geofísicas utilizadas. Se justifica dar continuidad al análisis ya realizado y presentado aquí, como un adelanto comparativo con resultados precedentes. Se presenta el análisis estadístico clásico de las series de tiempo, las que evidencian un acentuado sincronismo, lo que es corroborado mediante análisis espectral. La confirmación de los resultados obtenidos podría ser una importante herramienta a tener en cuenta en las estrategias de la producción de alimentos de origen agrícola, al permitir pronosticar futuros comportamientos productivos y consecuentemente una mejor y más rentable planificación de los recursos a mediano y largo plazo.

Palabras clave: Rendimiento Agrícola, Actividad Solar, Producción de Alimentos, Agro economía, Transformada Rápida de Fourier.

Abstract: With the results shown, the behavior of agricultural yield is indicated, reported for Cuba during the last 30 years (1990 to 2019) in the statistical yearbooks of the branch, as well as its relationship with Solar Activity (AS) and geomagnetic. The central objective is to corroborate whether, for the geographical conditions of Cuba, the synchronism that in other regions of the planet shows agricultural production with respect to the multiannual cycles of Solar and Geomagnetic Activity is manifested in the corresponding time series. It was found that, through analysis of time series, cross-correlation and with the use of the Fast Fourier Transform (FFT), that in most cases a quasi-periodic variability in performance is manifested, whose

main period is in the order of 10 to 12 years, typical of the helio-geophysical variables used. It is justified to give continuity to the analysis already carried out and presented here, as a comparative advance with previous results. The classic statistical analysis of the time series is presented, which shows a marked synchronism, which is corroborated by spectral analysis. The confirmation of the results obtained could be an important tool to take into account in the strategies for the production of food of agricultural origin, by allowing the forecasting of future productive behaviors and consequently a better and more profitable planning of resources in the medium and long term.

Keywords: Agricultural Yield, Solar Activity, Food Production, Agro-economics, Fast Fourier Transform.

INTRODUCCIÓN

El escenario medio ambiental y climático predominante en cualquier región del planeta rige, en gran medida, el comportamiento de la biota, tanto a corto, mediano como a largo plazo. Si bien el tema que aquí se aborda no está presente en casi ningún modelo de los que pretenden diseñar las estrategias para enfrentar los fenómenos adversos del medio ambiente y el cambio climático, sí es posible afirmar que no ha sido por falta de detalladas y serias investigaciones que muestran cómo los agentes del clima espacial (que también forma parte del Medio Ambiente) modulan el comportamiento de numerosos fenómenos de la biosfera a todos sus niveles de organización, así como a variables del propio clima terrestre, entre ellos, la presencia del fenómeno de El Niño, el régimen de tormentas y huracanes y otros de carácter regional o global como ha sido mostrado por numerosos autores, entre otros Sofia (1985); Muthanna et al. (2016); Sierra et al. (2017); Birhan y Tariku (2021); Leamon et al. (2021); Svensmark (2000); Svensmark (2015); Ormes (2018); Marsh and Svensmark (2003); Miyahara et al. (2021); Meehl et al. (2009); Pierce (2017); Prikryl et al. (2009); Roberts and Olson (1973); Robert W.O (1973), Svensmark and Friis (1997); Tinsley (2000); White and Liu (2006); Lin et al.(2021).

No fue fácil para los pioneros de la Heliobiología (Chizhevskii 1940, Chizhevskii 1973, Druzhimin et al. 1974, Marshall 1972, Roberts 1973) convencer a la comunidad científica especializada de que el Cosmos y en particular el Sol[U4] [PS5] [PS6] , se inmiscuían en los delicados procesos biológicos, en el clima, en la aparición de pandemias, epifitas y epizootias en nuestro planeta, no obstante, las evidencias y los resultados presentados por ellos durante la primera mitad del siglo anterior se impusieron, siendo asimiladas posteriormente por numerosos científicos que abordaron estos temas[U7] [PS8] , como el que ahora nos ocupa Tripathi et al. (2022); Shmelev et al. (2021); Porter et al. (2014); Vitali et al. (2019); Hanjie et al. (2021); Petro and Oksana (2019); Oshimagye and Eweh (2021);Dengel et al. (2009).

En nuestro continente se comenzó a estudiar esta posible relación en la segunda mitad del pasado siglo, Virden (1976) mostró cómo el rendimiento agrícola para 4 renglones de importancia económica en varios estados de Estados Unidos correlacionaba positivamente con los ciclos undecenales de la actividad solar para un prolongado período de decenas de años, mientras que Sierra et al. (2016) evidenciaron, cómo la producción melífera en Cuba, para un período de 50 años, correlaciona positivamente con el comportamiento de la actividad geomagnética, lo cual se corresponde con otros resultados, al estar la producción melífera estrechamente vinculada con la abundancia floral y de néctar en numerosas

NOTAS DE AUTOR

sierrafp@gmail.com

plantaciones, por otra parte, Pustilnik (2004) . Pustilnik (2013) aborda el tema enfocado en los resultados mercantiles de la agroindustria como reflejo del comportamiento de las cosechas en largas series de tiempo[U9] [PS10] .

El rendimiento agrícola, en relación con la variabilidad de la actividad solar, continuó siendo incursionado por numerosos investigadores de diversos países en la segunda mitad del siglo pasado y en lo que va del presente siglo[U11] [PS12] , mostrando que la ciclicidad multianual de la actividad solar y geomagnética está presente en las fluctuaciones de la productividad de diversas cosechas en diferentes regiones del planeta, independientemente de otros agentes actuantes (Lean 1995); (Hernández et al. 1991); (Cook et al. 1997). Sierra et al. 2019); (Sierra et al. 2021). Dichas fluctuaciones se superponen a las tendencias impuestas por el desarrollo social y tecnológico, el cambio climático y otros factores antropogénicos coadyuvantes en diversas épocas y regiones del planeta, siendo el rendimiento la variable más adecuada para su estudio. El objetivo central que motivó realizar el presente trabajo ha consistido en corroborar la hipótesis de causalidad del fenómeno abordado para numerosos cultivos en Cuba durante las últimas tres décadas.

Método[U13]

Se utilizó para este trabajo las bases de datos[U14] [PS15] publicadas en los anuarios estadísticos del Ministerio de Agricultura (MINAG), de los que se tomó el rendimiento promedio anual para los 25 cultivos[U16] [PS17] reportados (agricultura no cañera del sector estatal), (tonelada por hectárea); la Tabla 1 muestra el listado completo de los mismos. La extensión de los datos está comprendida desde el año 1990 hasta 2019, ambos inclusive (30 años). Como variables independientes se utilizó los promedios anuales de la variable representativa de la actividad solar “Número de Wolf” (W) (Sunspot Number | SILSO (oma.be) y los promedios anuales del índice geomagnético “aa” (<http://isgi.unistra.fr>). Acerca del registro histórico de las manchas solares se puede consultar a Arlt & Vaquero (2020).

Con las bases de datos citadas se estructuró un libro EXCEL a partir del cual se obtuvo la caracterización estadística básica de cada una de las variables y desde el *Microcal Origin 6.0* (<https://microcal-origin.software.informer.com/6.0>) se importó desde el EXCEL la base[U18] [PS19] de datos para, con las herramientas de éste, realizar el análisis espectral que permite identificar los períodos presentes en cada una de las series de tiempo, así como la obtención de la correlación cruzada de cada una de las variables independientes con respecto a “W” y “aa”.

Se realizaron dos transformaciones necesarias para destacar el comportamiento multianual de las variables de rendimiento, así como del índice “aa” dada su variabilidad en el tiempo. Dichas transformaciones consistieron en aplicar la media deslizante con ventana de 3 años y por otra parte, suprimir la tendencia general de cada una de las variables de rendimiento para todo el período, no así a las variables independientes W y “aa”, salvo cuando se especifica. Esto último con el fin de destacar la variabilidad multianual de aquellas, objetivo de la investigación. Se generó la variable “Average” como el promedio de rendimiento de los 25 renglones, la que permite visualizar el comportamiento que prevalece en todo el grupo de variables, lo cual se confirma gráficamente en la figura 4.

RESULTADOS

En la **tabla 1** se muestra el listado de las variables involucradas y los elementos estadísticos básicos[U20] [PS21] . *VARIABLES DEL CLIMA ESPACIAL “W” Y “AA” (SOMBREADAS) Y DE RENDIMIENTO (TON/HA) UTILIZADAS Y SUS PRINCIPALES PARÁMETROS ESTADÍSTICOS. EL TAMAÑO DE LA MUESTRA ES DE 30 AÑOS PARA TODAS LAS VARIABLES.* La variable “Average” se refiere al promedio de dichos parámetros para todas las variables independientes (rendimiento en toneladas/hectárea).

TABLA 1
Resumen estadístico de las variables utilizadas

Variables	Media (y)	SD (yEr+/-)	Se (yEr+/-)	Min (y)	Max. (y)	Rango (y)
"W"	74.78	61.55	11.24	3.6	203.3	199.7
"aa"	20.41	5.67	1.04	11.64	30.35	18.71
Viandas	6.98	1.49	0.27	4.42	8.91	4.49
Tubérculos	6.44	1.47	0.27	3.83	8.08	4.25
Papa	21.06	3.37	0.61	12.72	26.42	13.71
Boniato	6.27	2.62	0.48	2.88	10.87	7.99
Malanga	8.13	4.32	0.79	1.56	15.27	13.71
Plátano	8.3	1.8	0.33	5.64	11.45	5.81
Frutas	11.04	2.19	0.4	7.88	15.75	7.87
Hortalizas	9.65	3.38	0.62	4.0	14.15	10.1
Tomate	9.89	2.84	0.52	5.24	13.29	8.05
Cebolla	10.42	3.88	0.71	3.73	14.74	11.01
Pimienta	8.39	2.17	0.4	4.89	11.64	6.75
Cereales	2.51	0.44	0.81	1.63	3.08	1.45
Arroz	2.98	0.42	0.08	2.14	3.67	1.53
Maíz	1.91	0.64	0.12	0.78	2.67	1.88
Frijoles	0.81	0.37	0.067	0.19	1.16	0.97
Tabaco	0.22	0.12	0.023	0.05	0.49	0.44
Cítricos	8.47	2.08	0.38	5.4	13.31	7.91
Naranja	7.52	2.53	0.46	3.63	12.76	9.13
Toronja	10.25	2.63	0.48	5.17	16.51	11.34
Limón	5.82	2.07	0.38	1.6	9.02	7.42
Otras frutas	7.78	3.37	0.61	2.05	11.9	9.85
Mango	6.5	2.67	0.49	1.56	9.86	8.3
Guayaba	8.87	4.64	0.85	1.76	15.74	13.99
Papaya	19.91	5.4	0.99	11.18	30.31	19.13
Cacao	0.32	0.086	0.016	0.2	0.51	0.32
Average	7.4	1.7	0.31	4.16	9.56	5.41

Fuente: Elaboración propia

Por limitación de espacio no es posible incluir los gráficos de todas las series de tiempo obtenidas, de manera que presentamos algunos ejemplos sin modificación, los que muestran el comportamiento más común a todas ellas, en relación con el índice solar W. La figura 1 ilustra un panel con 6 ejemplos del comportamiento en el tiempo de los rendimientos representativos, incluyendo la variable "Average", cuyas características se ajustan al comportamiento de la mayoría de las variables de rendimiento.

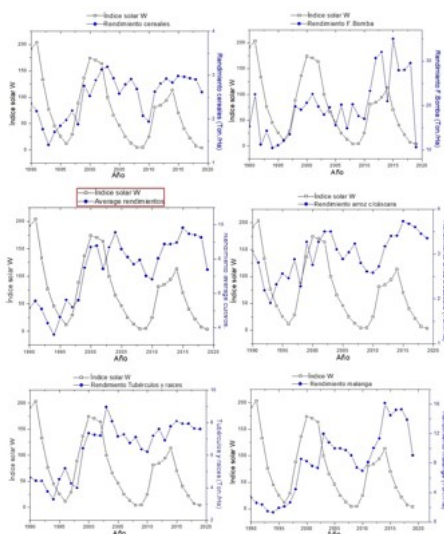


FIG. 1

Panel ilustrativo con el comportamiento en el tiempo de 5 variables de Rendimiento, sin filtrar y con su tendencia, comparativamente con el índice solar W, se incluye el gráfico del promedio anual de todos los rendimientos (Average).

Fuente: Elaboración propia

En la Fig. 2 se muestran un panel con 10 ejemplos de las series de tiempo de rendimiento, filtradas y sin tendencia, en este caso con respecto al índice W en su formato sin modificaciones.

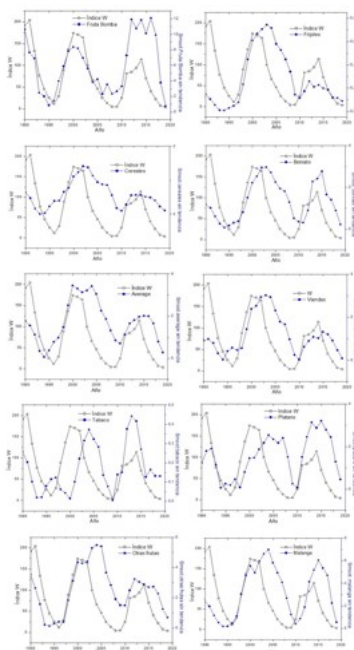


FIG. 2

Panel con 10 ejemplos del sincronismo entre las series de tiempo de rendimientos filtrados y sin tendencia, con el índice solar W, incluyendo el Average, promedio de los 25 renglones estudiados.

Fuente: Elaboración propia

En la fig. 3 ejemplifica el sincronismo de las series de tiempo de rendimiento con la variable “aa”. En ambos casos, sobre todo con respecto a W, se observa el desfase que ocasionalmente se presenta entre los

rendimientos y las variables independientes W y “aa”, lo cual se corresponde con el desfase intrínseco entre estas últimas.

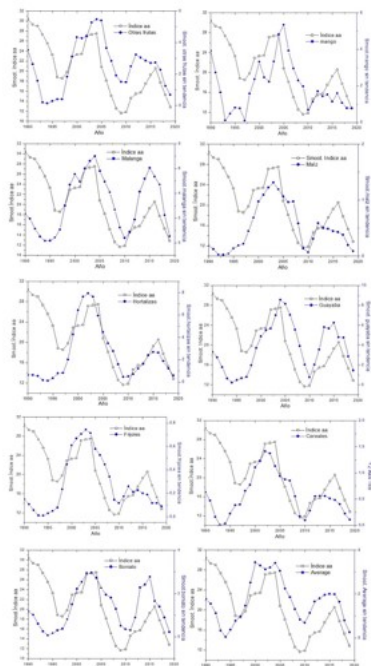


FIG. 3

Panel con 10 ejemplos del sincronismo entre las series de tiempo de rendimientos filtrados y sin tendencia, con el índice “aa” filtrado y sin tendencia, incluyendo el Average, promedio de los 25 renglones estudiados.

Fuente Elaboración propia

La exploración de los espectros obtenidos mediante la aplicación de Transformada Rápida de Fourier (FFT del inglés Fast Fourier Transform) (Microcaal Origin 6-0), muestra la evidente presencia en 22 de los 25 rubros, del período característico del clima espacial de 11 ± 1 año, más exactamente 10.66 años y los sub-armónico, coincidente con el período calculado para “W” y “aa”, lo cual se ilustra en la Fig. 4 con dos ejemplos (boniato y papaya, conocida en Cuba como Fruta Bomba) de los periodogramas obtenidos para rendimiento y los correspondientes a las variables W y “aa”. El eje vertical indica la amplitud espectral en cada caso, lo cual nos permite valorar cuán presente se encuentra el ciclo, en este caso el undecenal de la actividad solar en cada tipo de cultivo, con respecto al del índice representativo de “aa” y W, que en este caso es el de mayor valor.

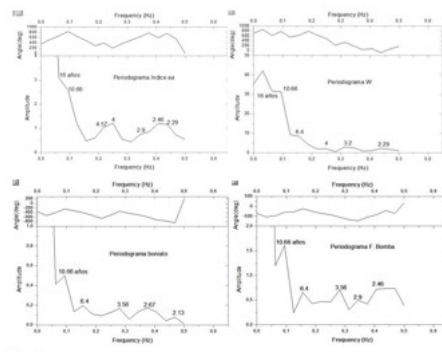


FIG. 4 [PS22]

Resultado de aplicar la Transformada Rápida de Fourier a los índices solares W y “aa” y a los 25 rubros analizados. Se muestra los periodogramas obtenidos para W y “aa” y dos ejemplos de rendimiento (boniato y papaya). En este caso, el pico espectral de 10,66 años es el de mayor interés.

Fuente: Elaboración propia

La aplicación de correlación cruzada entre W y cada uno de los 25 renglones productivos, permitió encontrar la presencia del ciclo principal de la actividad solar de 10-12 años en 17 de los 25 casos y en 16 de los mismos aparece presente el ciclo magnético solar de 21-22 años, lo que corrobora el resultado obtenido mediante la FFT. El resultado con respecto al índice geomagnético “aa” es muy semejante.

El Cacao con respecto a W, en su rendimiento anual presenta un comportamiento anómalo si lo comparamos con el resto de las series, sin embargo, la correlación cruzada con “aa” si arroja una relación, aunque débil. En general, la correlación cruzada se ajusta mejor con el índice geomagnético que con el solar.

Por simple inspección de las figuras 2 y 3[U23] [PS24] es posible observar que respecto a las tendencias de los rendimientos y del promedio (Average) de los mismos, las fluctuaciones multianuales alcanzan valores significativamente importantes medidos en ton/ha., al parecer atribuibles a los efectos del clima espacial, lo cual interpretamos como el resultado de mayor valor práctico obtenido y sobre el cual se requiere una mayor profundización individualizada para cada cultivo.

La superposición de las 25 series de tiempo de rendimiento se incluye en la fig. 5a, lo que permite evidenciar el comportamiento semejante en el tiempo entre ellas, así como el sincronismo con las series de tiempo de “W” y de “aa” fig. 5b. Este último resultado es de particular interés al confirmar cómo el fenómeno estudiado es consistente para prácticamente cualquier cultivo de los estudiados, no es posible atribuirlo a la casualidad.

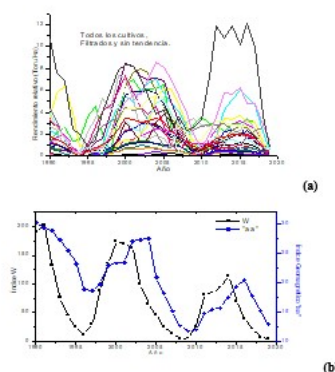


FIG. 5

Superposición de las 25 series de tiempo de rendimiento, filtradas y suprimidas las tendencias (a) y superposición de las series de tiempo de los promedios anuales de “W” y de “aa”, en este caso filtrada y sin supresión de tendencia (b).

Fuente: Elaboración propia

DISCUSIÓN[U25] [PS26]

Lo obtenido es coherente con otros resultados obtenidos por los mismos autores en trabajos recientes[U31] [PS32] (Sierra P. et al. 2019); (Sierra, P. et al. 2016); (Sierra et al. 2021), así como con los mostrados por otros autores citados. En general se observa que, a mayor actividad solar y geomagnética, los rendimientos agrícolas son mayores con respecto a los años de mínima actividad solar, lo que coincide con lo reportado por Virden (1976) y es posible evidenciarlo cualitativamente con lo mostrado en la Fig. 5.

CONCLUSIÓN

La exploración realizada para una amplia muestra de cultivos en las condiciones geográficas de Cuba muestra resultados que corroboran la hipótesis de asociación temporal entre las dos variables del clima espacial utilizadas y el rendimiento de los 25 rubros muestreados, que por tratarse de un elevado número de cultivos, aunque 30 años sólo comprende tres ciclos de Actividad Solar, no es posible atribuir a la casualidad el evidente sincronismo de estos con las variables independientes utilizadas y la presencia en los mismos del período característico de la Actividad Solar y geomagnética de 10.66 años.

Se pretende, en una versión ampliada de esta investigación, tener un control de algunas variables meteorológicas y de los más importantes eventos climáticos acaecidos en ese período, que sin dudas debe estar fuertemente vinculados a los Rendimientos productivos en sus promedios anuales para todo el territorio nacional.

Indudablemente que el Rendimiento productivo en la agroindustria depende en gran medida de los procedimientos tecnológicos, las buenas prácticas y otros factores no tenidos en cuenta en el presente análisis, el cual está centrado en las fluctuaciones multianuales que modulan a los de cortos períodos de accionamiento.

Las fluctuaciones de los Rendimientos respecto a las tendencias correspondientes en sus valores máximos representan valores significativamente altos para la mayoría de los casos, lo cual debe ser un resultado para tener en cuenta en el seguimiento de esta investigación por su importancia social y económica. Dado el impacto económico y la producción de alimentos del tema abordado en el presente trabajo y el resultado encontrado para nuestro país, coincidente con resultados precedentes, consideramos que se debe prestar una

sería atención con vistas a su posible aplicación práctica al potenciar el mismo una herramienta de pronóstico y diagnóstico del rendimiento productivo en, al menos, los principales rubros de la agroindustria nacional, en los que se evidencian fluctuaciones notables de rendimiento, al parecer atribuidos a las predecibles fluctuaciones del Clima Espacial dignos de tener en cuenta.

REFERENCIAS

- Arlt, R. & Vaquero, J. M. (2020). Historical sunspot records. *Living Rev. Sol. Phys.* 17, 1
- Birhan, M. and Tariku, S. (2021). Investigating the impact of space weather on agriculture products over Chokie mountain basin in Ethiopia. *Acta Geophys.* 69, 1481–1491. <https://doi.org/10.1007/s11600-021-00610-9>
- Chizhevskii, A. (1940). *Cosmobiologie et Rythme du Milieu extérieur*. Verhandlungen, Zweiten Konferenz der Internationalen Gesellschaft für Biologische Rhythmusforschung, am 25. und 26. August 1939, Utrecht, Holland, HolmgrenHj, editor. *Acta med. Scand.* 1940; 108 (Suppl): 211-226.
- Chizhevskii, A. (1973). *El eco terrestre de las tormentas solares*. Ed. "Misl" Moscú, 1973.
- Cook, E.R.; Meko, D. M.; Stockton, C. W. (1997). A new assessment of possible solar and lunar forcing of the bidecadal drought rhythm in the western United States. Columbia University, Palisades, NY. *Journal-of- climate (USA)*. (Jun. 1997), v. 10(6) p. 143-1356.
- Dengel, S.; Aeby, D.; Grace, J. (2009). A relationship between galactic cosmic radiation and tree rings. *New Phytol.* 2009, 184, 545–551.
- Druzhimin, I.P., Sazonov, B. y Iagodinskii, V. (1974). Variaciones multianuales en el desarrollo de las plantas. *Cosmos, Tierra, Pronósticos*. Capítulo 5, Edic. Misl, Moscú, 1974.
- Hanjie Wang, Jan-Henning Feil, Xiaohua Yu (2021) Disagreement on sunspots and soybeans futures price. *Economic Modelling* Volume 95, February 2021, Pages 385-393. <https://doi.org/10.1016/j.econmod.2020.03.005>.
- Hernández, B., Usatorres, R., Sierra, P. (1991) Ciclos de lluvia y actividad solar: Su relación en algunas regiones pesqueras de Cuba. Instituto de Investigaciones Pesqueras, Min. Pesca. Cuba. 1991 (No publicado).
- Leamon, R. J., McIntosh, S. W., & Marsh, D. R. (2021) Termination of solar cycles and correlated tropospheric variability. *Earth and Space Science*, 8, e2020EA001223. <https://doi.org/10.1029/2020EA001223>.
- Lean, J. Beer J., Bradley, R., (1995) Reconstruction of solar irradiance since (1610): Implications for climate change. *Geophysical Research Letters*. Volume 22, Issue 23 Pages 3107–3432. 1995.
- Lin Zhang , Yanfeng Liu , Hongbin Zhan , Menggui Jin, Xing Liang (2021) Influence of solar activity and El Niño-Southern Oscillation on precipitation extremes, streamflow variability and flooding events in an arid-semiarid region of China. *Journal of Hydrology*. Volume 601, October 2021, 126630. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126630>.
- Marsh, N.; Svensmark, H. (2003) Galactic cosmic ray and El Niño–Southern Oscillation trends in International Satellite Cloud Climatology Project D2 low-cloud properties. *J. Geophys. Res. Space Phys.* 2003, 108.
- Marshall, James R. (1972). "Precipitation Patterns of the U.S. and Sunspots." Ph. D. thesis, Univ. Kansas, 1972.
- Meehl, G. A., Arblaster, J. M., Matthes, K., Sassi, F., & van Loon, H. (2009). Amplifying the Pacific climate system response to a small 11- year solar cycle forcing. *Science*, 325, 1114. <https://doi.org/10.1126/science.1172872>.
- Miyahara, H., Tokanai, F., Moriya, T. et al. (2021). Gradual onset of the Maunder Minimum revealed by high-precision carbon-14 analyses. *Sci Rep* 11, 5482 (2021). <https://doi.org/10.1038/s41598-021-84830-5>.
- Muthanna, A. Al-Tameemi; Chukin, V. (2016). Global weather cycle and solar activity variations. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics* 142 (2016) 55-59.
- Ormes, J.F. (2018). Cosmic Rays and Climate. *Adv. Space Res.* 2018, 62, 2880–2891.
- Oshimagye, I. G and Eweh, E.J. (2021) Investigation of Space Weather Effects on Agricultural Produce in Benue State Nigeria, *Environmental Rev. Lett.*, 6 (7). www.mindsourcingoa.com.

- Petro Melnik, Oksana Drebot (2019). Production of winter wheat in the phases of solar activity cycle. Scientific Papers Series Management, Economic Engineering in Agriculture and Rural Development Vol. 19, Issue 4, 2019 PRINT ISSN 2284-7995, E-ISSN 2285-3952.
- Pierce, J. R. (2017). Cosmic rays, aerosols, clouds, and climate: Recent findings from the CLOUD experiment. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 122, 8051-8055. <https://doi.org/10.1002/2017JD027475>
- Porter, J.R.; Xie, L.; Challinor, A.J.; Cochrane, K.; Howden, S.M.; Iqbal, M.M.; Lobell, D.B.; Travasso, M.I. (2014). Food security and food production systems. In *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability —Part A: Global and Sectoral Aspects*; Field, C.B.V.R., Barros, D.J., Dokken, K.J., Mach, M.D., Mastrandrea, T.E., Bilir, M., Chatterjee, K.L., Ebi, Y.O., Estrada, R.C., Genova, B., et al., Eds.; Cambridge University Press: Cambridge, UK, 2004; pp. 485–533.
- Prikryl, P., Muldrew, D. B., & Sofko, G. J. (2009). The influence of solar wind on extratropical cyclones—Part 2: A link mediated by auroral atmospheric gravity waves? *Annales Geophysicae*, 27, 31–57. <https://doi.org/10.5194/angeo-27-31-2009>
- Pustilnik, L.A. & Din, G.Y. (2004). Influence of solar activity on the state of the wheat market in medieval England. *Sol Phys.* (2004) 223: 335. <https://doi.org/10.1007/s11207-004-5356-5>.
- Pustilnik L, Yom Din G. (2013). On Possible Influence of Space Weather on Agricultural Markets: Necessary Conditions and Probable Scenarios. *Atmospheric and Oceanic Physics. Astrophysical Bulletin*, 2013, Vol. 68, No.1, pp.1-18. L.
- Roberts, W. O., & Olson, R. H., (1973). Geomagnetic storms and wintertime 300-mb trough development in the North Pacific-North America Area. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 30, 135–140. [https://doi.org/10.1175/1520-0469\(1973\)0302.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0469(1973)0302.0.CO;2)
- Roberts, Walter O. (1973). *Relationships between Solar Activity and Climate Change.* University Corp. for Atmospheric Research, Boulder, Colo., November 1973.
- Shmelev SE, Salnikov V, Turulina G, Polyakova S, Tazhibayeva T, Schnitzler T, Shmeleva IA. (2021) Climate Change and Food Security: The Impact of Some Key Variables on Wheat Yield in Kazakhstan. *Sustainability*. 2021; 13(15):8583. <https://doi.org/10.3390/su13158583>.
- Sierra P., Marinero E., Sol A., Zúniga-González C. (2019). Cane sugar production in El Salvador and its relationship with the variability of Solar and Geomagnetic Activity: An approach to Bioeconomic and Climate Change. *Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático (Rev. iberoam. bioecon. cambio clim.)* Vol. 5 núm. 10, 2019, pág. 1209-1221 ISSN electrónico 2410-7980. <https://doi.org/10.5377/ribcc.v5i10.8946>.
- Sierra, P.; Marinero, E.; Sol, S. (2017). Actividad Solar y su asociación con el régimen de lluvias en El Salvador. León, Nicaragua. *Rev. iberoam. bioecon. cambio clim.* Núm. 6 (3), 2017, pág. 782-799 ISSN electrónico 2410-7980. <https://doi.org/10.5377/ribcc.v3i6.5948>
- Sierra, P. Pérez, A.; Durán, O.; Zaldívar, J. (2016) Análisis del impacto de la Actividad Solar y la variabilidad climática en la productividad apícola para el territorio cubano. *Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático. Rev. iberoam. bioecon. cambio clim.)* Vol. 1 núm. 2, 2015, pág. 156-171. ISSN electrónico 2410-7980. DOI 10.5377/ribcc.v1i2.2481
- Sierra-Figueroa, P., Marinero-Orantes, E. A., Sol-Sanchez, A., & Zuniga-González, C. A. (2021). Variabilidad de la Producción Cafetalera en El Salvador y su Posible Relación con el Clima Espacial. *Rev. Iberoam. Bioecon. Cambio Clim.*, 7(14), 1632–1643. <https://doi.org/10.5377/ribcc.v7i14.12607>
- Sofia, S. (1985). From solar dynamo to terrestrial climate. Fluctuations in the Sun's energy may affect climate. *American Scientist* 1985 Vol. 73, No.4, p. 326, jul-agosto.
- Svensmark, H. (2000) Cosmic Rays and Earth's Climate. *Space Sci. Rev.* 2000, 93, 175–185.
- Svensmark, H. (2015). Cosmic Rays, Clouds and Climate. *Europhys. News* 2015, 46, 26–29.
- Svensmark, H., & Friis-Christensen, E. (1997). Variation of cosmic ray flux and global cloud coverage—a missing link in solar-climate relationships. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 59, 1225–1232. [https://doi.org/10.1016/S1364-6826\(97\)00001-1](https://doi.org/10.1016/S1364-6826(97)00001-1).

- Tinsley, B. A. (2000). Influence of solar wind on the global electric circuit, and inferred effects on cloud microphysics, temperature, and dynamics in the troposphere. *Space Science Reviews*, 94, 231–258.
- Tripathi, D.K., Tripathi, R.P., Tripathi, A.K. (2022). Influences of Solar Activity on Food Grains Yield. In: Mitra, M., Nasipuri, M., Kanjilal, M.R. (eds) *Computational Advancement in Communication, Circuits and Systems. Lecture Notes in Electrical Engineering*, vol 786. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-16-4035-3_13.
- Virden, H. (1976). Do sunspot cycles affect crop yields? Economic Research Service, U.S. Department of Agriculture. Agricultural Economic Report No. 327. ABSTRACT.
- Vitali, G., Rogosin, S., & Baldoni, G. (2019). Climate Change and Grain Production Fluctuations. arXiv preprint [arXiv:2002.07039](https://arxiv.org/abs/2002.07039).
- White, W. B., & Liu, Z. (2006). Resonant excitation of the quasidecadal oscillation by the 11year signal in the Sun's irradiance. *Journal of Geophysical Research*, 113, C01002. <https://doi.org/10.1029/2006JC004057>.