

Variación temporal de los requerimientos de riego en maíz método Rodionov en DR001, Pabellón, Aguascalientes

Lilibeth Guzmán Luna¹
Abel Quevedo Nolasco^{1, §}
Fermín Pascual Ramírez²
Martín Alejandro Bolaños González¹
José Roberto Guzmán Luna³

1 Posgrado de Hidrociencias-Colegio de Postgraduados. Carretera México-Texcoco km 36.5. Montecillo, Texcoco, Estado de México. CP. 56230. (guzman.lilibeth@colpos.mx; bolanos@colpos.mx).

2 Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad-Universidad Nacional Autónoma de México. Antigua Carretera a Pátzcuaro #8701, Col. ExHacienda de San José de la Huerta, Morelia, Michoacán. CP. 58190. (fpascualr@iies.unam.mx).

3 Universidad Tecnológica Latinoamericana. Calzada de la Naranja núm. 159. Col. Fraccionamiento Industrial, Naucalpan, Estado de México, México. CP. 53370. (jrguzman84@gmail.com).

Autor para correspondencia: anolasco@colpos.mx

Resumen

Algunas de las consecuencias del cambio climático se manifestarán en variaciones temporales y espaciales de la precipitación y en un incremento en la demanda evaporativa de la atmósfera, lo que a su vez propiciará un incremento en la demanda de riego de cultivos agrícolas. En este trabajo se analizó la variación temporal de los requerimientos de riego agroclimáticos (RRa) para maíz en el DR001 Pabellón, Aguascalientes, así como el periodo de crecimiento térmico (PCT) con información de cinco estaciones climatológicas con 36 años de registros. Se asumió una temperatura base de 9 °C, para definir tres fechas de siembra: 15 de febrero, 15 de junio y 15 de octubre. Se estimó los RRa con una estación climatológica con más registro (1943-2018), se utilizó el método de Hargreaves para calcular la evapotranspiración de referencia y el método del Servicio de Agricultura de los Estados Unidos para la precipitación efectiva. La variación temporal (media y desviación estándar) de los RRa se realizó por el método de Rodionov, por medio de los índices de cambios de régimen en la media y en la varianza (CSSI). Los valores índices de cambios de régimen en la indican que se inició un incremento en los RRa en el año 1995, para la fecha de siembra 15 de febrero, se apreció un cambio inicial en 2009 para la de 15 de junio, mientras que para el 15 de octubre hay un aumento en el año 1993 con otro en los años 2012 a 2018. Sin cambios en CSSI, con evidencias de los cambios en los RRa, que se relacionan con la variación de la precipitación y temperatura.

Palabras clave:

cambio climático, cambios de media, cambios de varianza, régimen de lluvia.

Introducción

La Comisión Nacional del Agua (CNA, 2018) considera a la agricultura el sector de mayor cantidad de agua demandada, siendo alrededor de 76% del total disponible en el país. Recurso que tiende escasear, debido a la demanda humana y la competencia por otros sectores (FAO, 2012). Para permitir un uso más eficiente y sostenible de los recursos hídricos, se necesita una mayor comprensión del uso del agua, especialmente la forma en como las deficiencias de agua se desarrollan y afectan el crecimiento de las plantas y su productividad (Kadambot *et al.*, 2014).

Incrementar la productividad del agua en la agricultura significa aumentar la producción de cultivos por unidad de uso de los recursos hídricos, mejorar la competitividad de los productores y permite una mejor gestión del agua, la tierra y otros recursos (Al Hinai y Jayasuriya, 2021). Por otra parte, el calentamiento global está provocando cambios en el ciclo del agua (Trenberth *et al.*, 2014), por ejemplo, con mayor energía en el sistema climático de la Tierra, la evaporación aumenta y se produce una mayor precipitación, se estima una tasa de aumento global alrededor de 2% por grado de calentamiento Celsius (Trenberth y Fasullo, 2012); sin embargo, la distribución espacial y temporal es muy variable, ya que algunas áreas recibirán mayores precipitaciones, pero la mayoría de las regiones actualmente con escasez de agua se volverán más secas y cálidas (Perry *et al.*, 2009).

También se estima un aumento de la evapotranspiración potencial, en áreas secas, significa mayor desecamiento y sequías más intensas y duraderas (Trenberth *et al.*, 2014). López *et al.* (2016) mencionan que uno de los efectos esperados del cambio climático es la modificación de los patrones de precipitación, además de la disminución en la producción de alimentos al alterar los ciclos de cultivo, cambiando las fechas de siembra y cosechas, y propiciando la proliferación de malezas, plagas y enfermedades en los cultivos. Con una mayor demanda de agua para uso agrícola, es probable que se agraven las tensiones entre la oferta y la demanda (Perry *et al.*, 2009).

Para conocer el efecto sobre los cultivos, es preciso de conocer los requerimientos de riego (RR) (Allen *et al.*, 2006; Ojeda *et al.*, 2008). También se debe estimar los requerimientos de riego netos (RRn) por medio de la evapotranspiración potencial del cultivo menos la precipitación efectiva, aportaciones por el nivel freático y los cambios de humedad en la zona radicular del cultivo. Para calcular los requerimientos de riego brutos (RRb) se ajusta con la eficiencia global del sistema de riego y se consideran las necesidades de lavado del suelo (Ojedad *et al.*, 2008).

Para la estimar los RRn, existen diferentes programas, por ejemplo, CropWat (FAO, 1992), RASPAWIN; SPRITER (IMTA) para el pronóstico de riego en tiempo real (Ojeda *et al.*, 1999) incluso algunos pueden generar calendarios de riego, entre otros está AquaCrop (FAO, 2012). Para Soares *et al.* (2018) el ciclo hidrológico y el clima están altamente relacionados por lo que las variaciones climáticas influyen directamente en el régimen de lluvias de muchos países y particularmente en México. Martínez y Patiño (2012) mencionan que las repercusiones del cambio climático global se observan en la disponibilidad de agua de muchas regiones agrícolas de México.

Con un pronóstico de un aumento de la temperatura media en distintas regiones de México, que implicará una escasez del recurso hídrico, con lo cual, se puede condicionar la producción y el rendimiento de los cultivos. Las pruebas aplicadas por autores como Maronna y Yohai (1978); Alexandersson (1986); Gullett *et al.* (1990); Easterling y Peterson (1995) se han utilizado como precedentes y se sugieren como métodos fiables de prueba de homogeneidad en series temporales climáticas (Tayanç, 1998).

Normalmente, estos métodos desarrollados para detectar un cambio de régimen, o discontinuidad, en las series de tiempo, emplean técnicas estadísticas, como las pruebas de Student o Mann-Kendall y sus actualizaciones (Rodionov, 2004), con diferentes aplicaciones (Rodionov y Overland, 2005). Rodionov (2004), propuso una técnica de procesamiento de datos de manera secuencial, donde el número de observaciones no son fijas, sino que vienen en secuencia, donde para cada observación nueva, se realiza la comprobación para determinar

si representa una desviación estadísticamente significativa que considere la existencia de un cambio de régimen.

Los cambios de varianza en los parámetros climáticos pueden tener un impacto equivalente o mayor en los ecosistemas que los cambios en la media (Rodionov, 2005). Dado la variación del clima, en el presente trabajo se analizó el efecto de las variaciones temporales de los requerimientos hídricos del cultivo de maíz en el DR001 Pabellón, Aguascalientes.

Materiales y métodos

Se asume que el principal efecto está dado por los cambios en las condiciones atmosféricas, durante los registros históricos dado un lugar. Los cambios de la demanda agua y deficiencias hídricas se afecta por las variaciones de los elementos del clima, en particular por la evapotranspiración de referencia (ET_o), coeficiente del cultivo (K_c, condición de desarrollo del cultivo y manejo) y la precipitación efectiva. No se consideró el tipo de suelo y su capacidad de almacenamiento, en esta primera aproximación.

Descripción de la zona de estudio

El Distrito de Riego 001 (DR001), Pabellón de Arteaga, Aguascalientes, se ubica en la región centro norte del estado de Aguascalientes, entre las coordenadas 22° 06' y 22° 17' de latitud norte y entre los 102° 13' y 102° 21' de longitud oeste, con una altitud que va desde los 1 884 msnm a los 1 927 msnm, se encuentra administrado por la CONAGUA a través de la región hidrológico-administrativa VIII, Lerma-Santiago-Pacífico (Figura 1).

Figura 1. Distrito de Riego 001 Pabellón de Arteaga, Aguascalientes, México.



Información climatológica

Los registros históricos de las variables de temperaturas (°C) y precipitación (mm) referente a las estaciones dentro de la zona de estudio se recuperó del Servicio Meteorológico Nacional (SMN, 2021), el cual provee la información meteorológica del país. A través del sitio <https://smn.conagua.gob.mx/> se realizó la descarga de datos (*.txt) de las estaciones a partir de un archivo de vinculación en formato KMZ (*.kmz).

Estrategia para la adquisición de información climatológica

Estaciones que tuvieran su área de influencia dentro de los límites del DR001, que se obtuvo a partir de geoprocésamiento en un sistema de información geográfica (SIG); a través, de polígonos de Thiessen que permitió identificarlas. Contar con el mayor número de años de registro y más actuales, con al menos un periodo de 30 años con datos de temperatura mínima, máxima y precipitación (Wilhite y Glantz, 1985). Verificación de la calidad y cantidad de información, por el método gráfico para identificar la continuidad en las series, y método analítico para el porcentaje de información disponible.

Procesamiento de la información

Por medio de la programación en Python se realizó el pre y procesamiento de la información agroclimática, así como para calcular las series de tiempo de los requerimientos de riego. El geoprocésamiento de la información vectorial se realizó a través de software: ArcGIS Pro, QGIS y Google Earth.

Cálculo del periodo de crecimiento térmico (PCT)

Con las temperaturas máxima y mínima disponible de las cinco estaciones que cubren la zona de estudio del DR001, se calculó las temperaturas medias mensuales y se realizó un gráfico para analizar la temperatura base de crecimiento de maíz de 9 °C que favorece el crecimiento y desarrollo del cultivo (Arista *et al.*, 2018), para determinar posteriormente el periodo durante el año, donde el cultivo de maíz no tendrá limitaciones en su crecimiento con respecto a la temperatura.

Cálculo de requerimiento de riego atmosférico (RRa)

Se calculó como una diferencia entre la evapotranspiración del cultivo menos la precipitación efectiva, sin considerar el tipo de suelo (sólo la demanda atmosférica). El cálculo de la evapotranspiración de referencia (ET₀) se estimó con la fórmula de Hargreaves y la precipitación efectiva con el método de Servicio de Agricultura de los Estados Unidos (USDA), para diferentes periodos de crecimiento durante el periodo de registro histórico disponible en la zona de estudio de la estación climatológica 01019, Presa Jocoque, Pabellón de Arteaga. Se calculó la evapotranspiración del maíz con la ecuación recomendada por FAO (Allen *et al.*, 2006): $ET_c = K_s * K_c * ET_0$.

Donde: ET_c= es la evapotranspiración del cultivo (mm día⁻¹); K_c es el coeficiente de cultivo adimensional; ET₀= es la evapotranspiración de referencia (mm día⁻¹); y K_s es el coeficiente adimensional por efecto del agua residual almacenada en el suelo, por ser una zona de riego y se prevé que las plantas no se sometan a estrés hídrico (por lo que su valor se asume en 1). Se realizaron las consideraciones en la ecuación anterior y se simplificó: $ET_c = K_c * ET_0$. Se estimó los RRa a partir de la ecuación: $RRa = ET_c - PE$. Donde: RRa= es el requerimiento de riego agroclimático total del ciclo de cultivo (mm); ET_c= es la evapotranspiración del cultivo (mm día⁻¹); y PE es la precipitación efectiva (mm).

Estimación de la evapotranspiración de referencia (ET₀)

Se utilizó la fórmula simplificada del método Hargreaves: $ET_0 = 0.0023(t_{med} + 17.78)R_0 \times (t_{max} - t_{min})^{0.5}$. Donde: ET₀= es la evapotranspiración potencial diaria (mm día⁻¹); t_{med} = es la temperatura media diaria (°C); R₀ = es la radiación solar extraterrestre, en tablas (mm día⁻¹); t_{max} es la temperatura diaria máxima (°C); y t_{min} es la temperatura diaria mínima (°C).

Estimación de la precipitación efectiva (PE)

El cálculo se realizó con el método de la USDA con las fórmulas:

$$PE = P \times \left[1 - \left(\frac{0.2 \times P}{125} \right) \right]$$

cuando $P < 250$ mm/periodo. $PE = 125 - 0.1 \times P$ cuando $P > 250$ mm/periodo.

Donde: PE= es la precipitación efectiva; mm o cm; y P= es la precipitación total mm o cm.

Aplicación de la prueba de normalidad

Se evaluó la serie de los requerimientos de riego de maíz, con la prueba de Kolmogorov-Smirnov mejorada por Lilliefors (1967) por medio de R, para evaluar el ajuste a una distribución normal.

Evaluación temporal de los requerimientos de riego agroclimáticos (RRa)

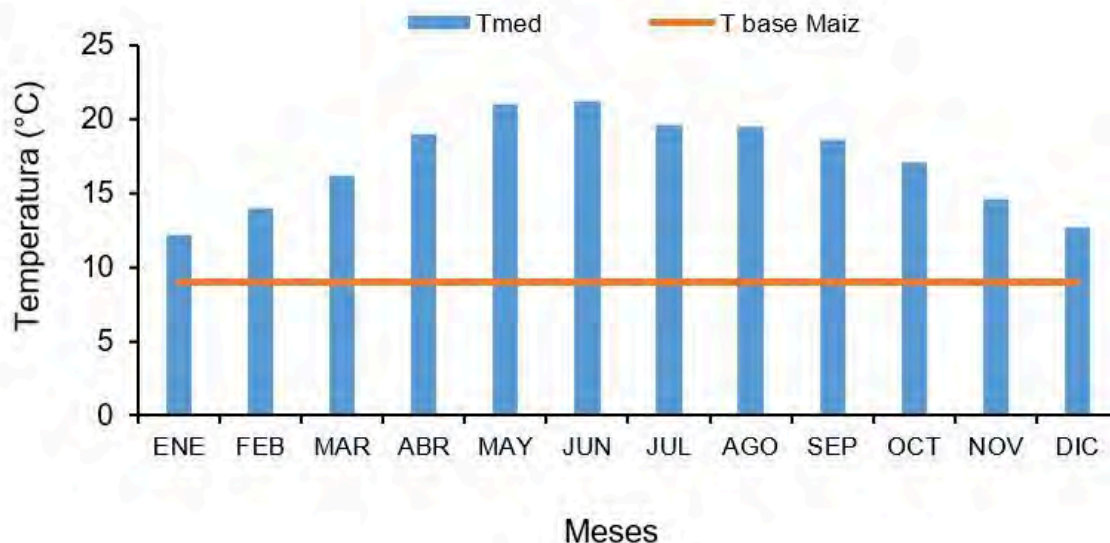
Se usó la metodología propuesta por Rodionov (2006) por medió del complemento de Excel (SHIFT Detection), versión 2.1, que se desarrolló en visual basic para aplicaciones (VBA) para su uso en Excel 2002, método que se ha usado para investigar tendencias en sequía (Cortez *et al.*, 2021). Herramienta disponible del sitio <https://www.beringclimate.noaa.gov/regimes/>.

Se realizó la detección de cambios (en la media y desviación estándar) mediante el complemento, se utilizó la serie temporal de los requerimientos de riego obtenidos, se analizó con diferentes longitudes de corte de 5, 10, 15, 20, 25, 30 35 para un nivel de significancia de 0.05 y para dos diferentes pesos de Huber: 1 y 2.

Resultados y discusión

Período de crecimiento. En el DR001 001 Pabellón, la temperatura media supera la temperatura base del maíz durante todo el año (Figura 2), condiciones térmicas que favorecen el crecimiento y desarrollo del cultivo durante los doce meses del año, aunque la diferencia es mayor en el periodo de marzo a octubre.

Figura 2. Comportamiento de la temperatura media y base para el cultivo de maíz en el DR001.



Requerimiento de riego agroclimático (RRa)

A partir de la distribución de los RRa (Figura 3), sobre la distribución de los requerimientos de riego agroclimático para distintas fechas de siembra presentadas, se propuso las fechas de

siembra: 15 de junio (CNA, 2005), 15 de febrero (a partir del requerimiento de riego máximo promedio) y 15 de octubre (inicio del ciclo otoño-invierno), periodo donde se obtuvieron los requerimientos de riego, donde se asumió una duración del ciclo de cultivo de 130 días respectivamente. En la última fecha de siembra (octubre 15) el fin del ciclo, ocurrió en el siguiente año, como se aprecia en la Figura 3.

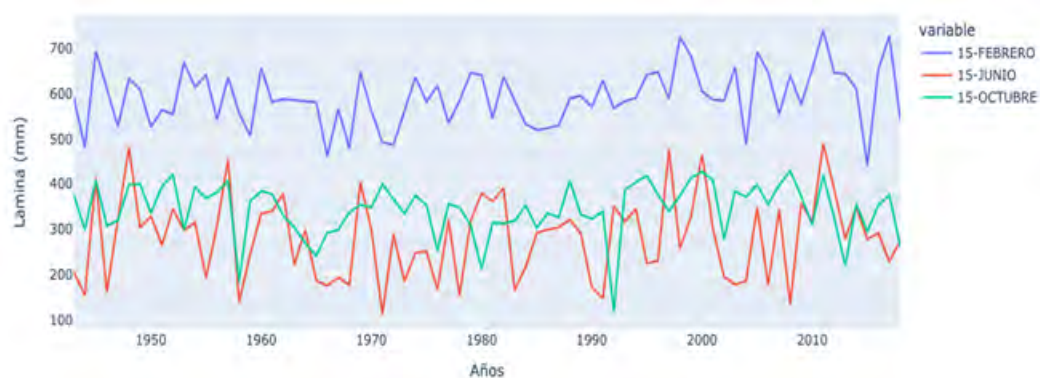
Figura 3. Requerimiento de riego promedio de acuerdo con la fecha de siembra con un periodo de desarrollo de 130 días



Variación temporal de los RRa

Para la fecha del 15 de febrero, se obtuvo un requerimiento mínimo de 441.3 mm (en el año 2015), mientras que en 2011 se encontró un requerimiento máximo de 739.5 mm (Figura 4). De manera similar para la fecha del 15 de junio se tiene un requerimiento mínimo de 113.1 mm (1971), mientras que en 2011 se encontró el requerimiento máximo de 489.3 mm. Así para la fecha de establecimiento de 15 de octubre se tiene un requerimiento mínimo de 117.9 mm para el año 1992 y un máximo de 429.2 mm para el año 2008 (Figura 4). En todos los casos, con independencia de la fecha de siembra, se observa que los mayores requerimientos de riego fueron obtenidos posterior al año 2000.

Figura 4. Variación temporal de los requerimientos de riego en maíz para las tres fechas de establecimiento (1943-2018).



El año 2011 resultó con los mayores requerimientos tanto para la fecha teórica como en la del ciclo primavera-verano. En la modelación de la producción agrícola ante escenarios de cambio climático se ha encontrado que los cambios en el momento de la demanda máxima de riego,

generada por la disponibilidad hídrica incierta y los aumentos en la temperatura, conducen a reducciones en el rendimiento de maíz (Woznicki *et al.*, 2015); de este modo, los cambios en los requerimientos están relacionado con modificaciones en el patrón de siembra y cosecha, lo que repercute en el rendimiento esperado aún sin estrés hídrico.

En el caso de la fecha de siembra del 15 de febrero el RRa presenta una media de 592.29 mm, con un valor mínimo de 441.32 mm, valor que está por encima de 75% de los requerimientos calculados para las fechas de establecimiento del 15 de junio y 15 de octubre (Cuadro 1). Los RRa para el 15 de junio presentan una media de 282.39 mm, la menor de las medias analizadas. Para el 15 de octubre se presentó la menor desviación estándar con un valor de 58.92 mm y un valor máximo de 429.15 mm, el menor de los tres valores máximos calculados (Cuadro 1).

Cuadro 1. Estadísticas del requerimiento de riego (mm) para cada fecha de establecimiento.

Variables	15 febrero	15 junio	15 octubre
Años	76	76	76
Media	592.29	282.39	344.24
Desviación standard	63	90.78	58.92
Mínimo	441.32	113.08	117.9
25%	554.39	194.85	312.51
50%	587.13	295.1	353.83
75%	641.32	341.37	385.14
Máximo	739.52	489.3	429.15

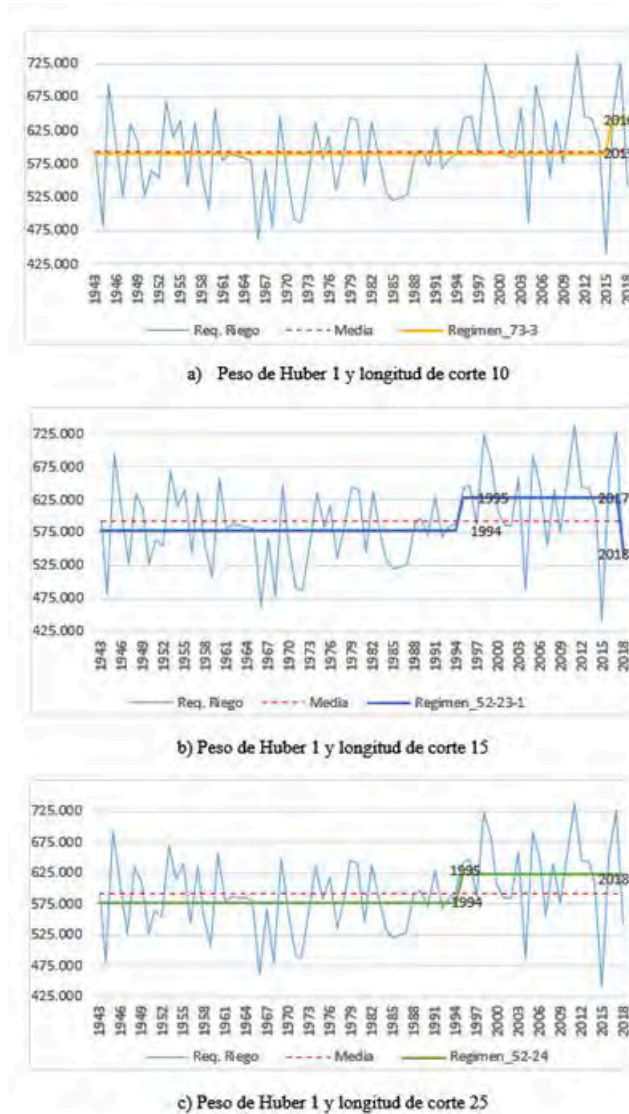
Detección de cambios en el tiempo de los RRa

En contraste en un estudio sobre balance hídrico en maíz de riego tradicional en Zaragoza, España, durante el período 2001-2010, donde por medio de la simulación de datos del tiempo (LARG-WG), el modelo agro-hidrológico (SWAP), concluyeron a que riego es suficiente, dada la disponibilidad del agua. Sin embargo, la simulación de lluvias intensas habrá perdidas por drenaje y reducción de la transpiración; por lo tanto, también en los rendimientos (Utset y Martínez, 2003).

Los cambios en la media de los requerimientos de riego (para el 15 de febrero) se han incrementado a partir del año 1995 y entre los años (2016-2018) en la media de los RRa, que depende de los parámetros (Huber y longitud del corte y nivel de significancia $\alpha= 0.05$ (Figura 5). Con la fecha de siembra establecida en el 15 de febrero, al considerar las variaciones en los parámetros de ajuste (Huber, longitud de corte) del método de Radionov y un nivel de significancia con un nivel significancia $\alpha= 0.05$. Los resultados mostraron incrementos en RRa a partir del año 1995, cuando la longitud de corte fue establecida en 15 y 25, mientras que cuando fue establecido en 10 el incremento se observó a partir del año 2016 (Figura 5).

Ante los aumentos en la demanda de agua en los cultivos, se exploran técnicas para disminuir la demanda de agua; por ejemplo, la aplicación de silicato de potasio foliar en combinación con intervalos de riego a cada 15 días produce incrementos en el rendimiento y disminuye la lámina de agua consumida, lo que conduce a mejorar la eficiencia total de riego (Gomaa *et al.*, 2021); sin embargo, estas soluciones exploradas por estos autores son con base en la incorporación de elementos químicos al sistema, en detrimento de soluciones sustentables para mejorar la salud del agroecosistema productivo.

Figura 5. Cambios en la media de los requerimientos de riego de 1943 a 2018 con fecha de establecimiento del 15 de febrero.

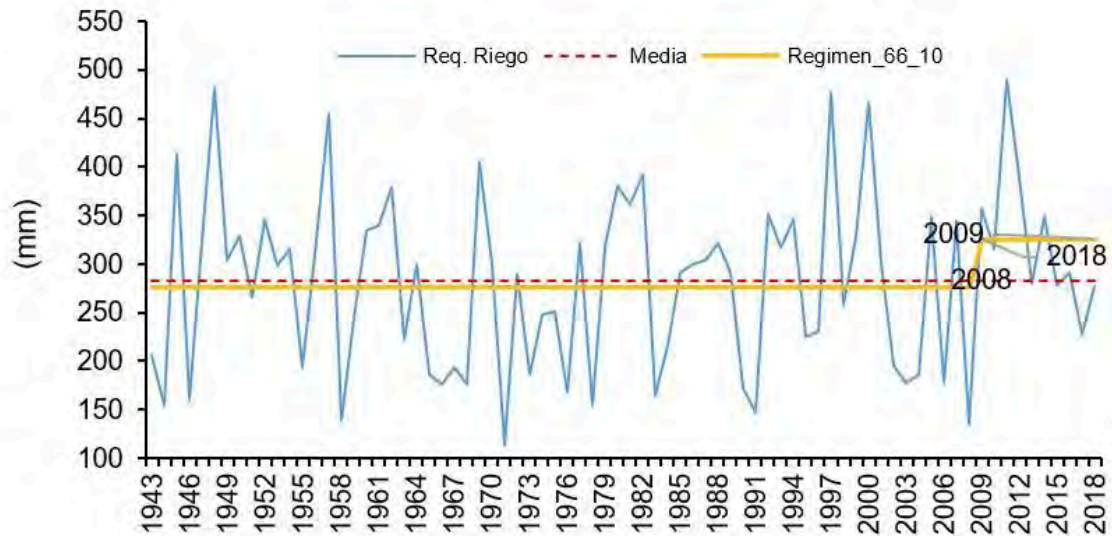


El parámetro de Huber permitió evaluar los outlier (extremos) a partir de la desviación estándar y la longitud de corte es el número de años, para evaluar los promedios móviles. El efecto sobre los cambios de los RRA, implicó cambios en los patrones de lluvia y temperatura (Figura 6), que se refleja en los RRA (Perry *et al.*, 2009; Trenberth *et al.*, 2014). El incremento de la temperatura influye en el establecimiento más temprano de los cultivos, donde los ciclos de vida se acortan y se aumenta su número; aunque esa situación puede favorecer la proliferación de especies invasoras como ocurre con la plaga de maíz *Spodoptera frugiperda* (gusano cogollero) con su efecto a disminuir los rendimientos en el maíz (Ramírez-Cabral *et al.*, 2020).

Los cambios en la acumulación de temperatura diaria conducen a modificar los patrones de siembra; sin embargo, en un trabajo desarrollado en la cuenca del río Kalamazoo en Michigan, Estados Unidos de América, al experimentar con soya y maíz, se encontró que adelantar la fecha de siembra aumentó la demanda de riego debido mayor agua disponible para la transpiración, mientras que retrasar la siembra contribuyó a disminuir de la demanda

hídrica (Woznicki *et al.*, 2015). Para la fecha de establecimiento del 15 de junio, se observaron aumentos en RRa a partir de los años 2008-2009 (Figura 6), con respecto a la media. El cambio del régimen durante el periodo de registro (76 años), durante los primeros 66 años no hubo cambios e inicio un cambio (aumento) en los últimos 10 años con base en el método de Rodionov y la configuración de los parámetros (Huber, longitud del corte y nivel de $\alpha=0.05$).

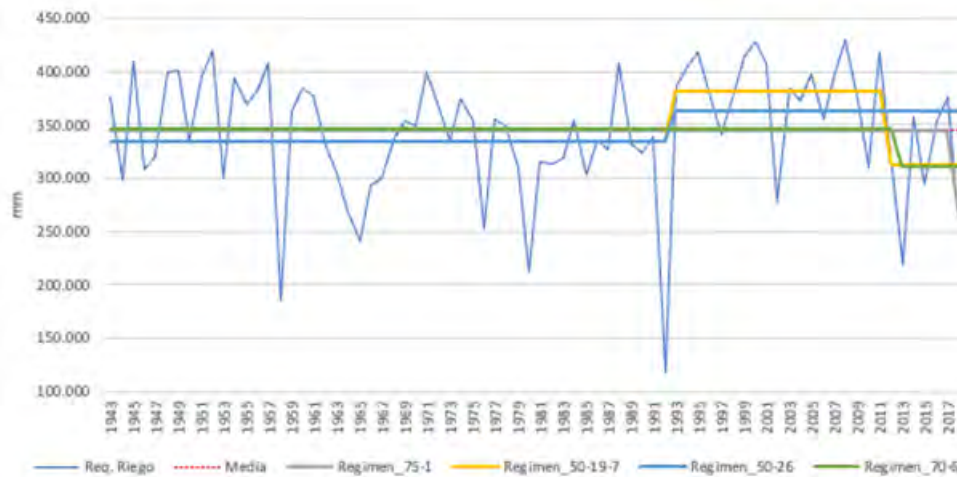
Figura 6. Cambio en la media de los requerimientos de riego con fecha de establecimiento del 15 de junio.



Cuando la fecha de siembra fue establecida en el 15 de octubre, se observaron aumentos en la media de los requerimientos de riego a partir del año 1993 (Figura 7). En el periodo comprendido entre los años 2012-2018 se obtuvo disminución (o se mantiene), que depende la magnitud del cambio en función de los parámetros de configuración (Huber y longitud del corte). Con respecto en la varianza (CSSI) no se encontraron cambios de los requerimientos de riego; para las diferentes fechas de establecimiento, para diferentes longitudes de corte y ponderación de Huber con un nivel de significancia $\alpha=0.05$.



Figura 7. Cambios en la media de los requerimientos de riego entre los años 1943 a 2018 con fecha de establecimiento del 15 de octubre.



La distribución de la temperatura y precipitación en el tiempo y espacio ocasiona diferentes épocas de producción, que afectan la demanda de los RRa del cultivo, mostrando variaciones estacionales. Por ejemplo, para maíz de grano en México existen dos periodos de producción, uno en enero-noviembre (interanual) que representó 59.9% de la producción y otro en mayo-junio con 27%. Siendo los estados de Sinaloa, Jalisco y Michoacán los de mayor porcentaje, en términos del valor de la producción de 22.1%, 15.7% y 7.3% respectivamente (SADER y SIAP, 2020). Donde con base en los resultados los RRa medios han iniciado cambios a partir de los 90's, en la región de estudio. Finalmente, en tiempos recientes se investigan con mayor intensidad las estrategias de adaptación del maíz ante el cambio climático, una de las líneas que se siguen en el desarrollo de nuevas variedades es la predicción de las respuestas estomáticas, pues se ha encontrado que el maíz ante estrés hídrico extremo reduce el tamaño de los estomas y el área de los poros estomáticos, por lo que este conocimiento puede contribuir a anticipar el rendimiento del maíz en los próximos años, para mejorar la toma de decisiones en el manejo de este cultivo (Serna, 2022).

Conclusiones

A partir del análisis del comportamiento temporal de los requerimientos de riego atmosféricos (RRa) del cultivo de maíz, en tres fechas de siembra en el DR01. Con base en los índices de cambios de régimen en la media (RSI) y la varianza (CSSI) por el método de Rodionov, no se encontró cambio en la varianza, pero sí, en la media de los RRa. Con base en el índice (RSI) en las fechas de siembra: 15 de febrero se presentaron cambios en el año 1995 (aumento), además para los años (2016-2018), del 15 de junio se inició el cambio el año 2009 (aumento) y el 15 de octubre se observó en el año 1993 (con aumento) y en los años 2012-2018 (disminuye o se mantiene, en función de los parámetros de Huber y longitud de corte, con $(\alpha = 0.05)$). Hay evidencias de los cambios en los RRa, que están relacionados con la variación de los patrones temporales y espaciales de la precipitación y temperatura.

Bibliografía

- 1 Al Hinai, A. and Jayasuriya, H. 2021. Enhancing economic productivity of irrigation water by product value addition: case of dates. *J. Saudi Soc. Agric. Sci.* 20(8):553-558. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2021.06.007>.

- 2 Alexandersson, H. 1986. A homogeneity test applied to precipitation data. *J. Climatol.* 6(6):661-675. <https://doi.org/10.1002/joc.3370060607>.
- 3 Allen, R. G.; Pereira, L. S.; Raes, D. y Smith, M. 2006. Evapotranspiración del cultivo: guía para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos, Roma. FAO 298. 17-28 pp.
- 4 Arista-Cortes, J.; Quevedo-Nolasco, A.; Zamora-Morales, B. P.; Bauer-Mengelberg, R.; Sonder, K. y Lugo-Espinosa, O. 2018. Temperaturas base y grados días desarrollo de 10 accesiones de maíz de México. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 9(5):1023-1033. <https://doi.org/10.29312/remexca.v9i5.1507>.
- 5 CNA. 2005. Comisión Nacional del Agua. Formulación del plan director para la modernización integral del riego del distrito de riego 001, Pabellón. Subdirección general de infraestructura hidroagrícola gerencia de distritos de riego. 204 p.
- 6 CNA. 2018. Comisión Nacional del Agua. Estadísticas del agua en México. Capítulo 1. Contexto geográfico y soberanía socioeconómica. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 10-25 pp. <http://sina.conagua.gob.mx/publicaciones/EAM-2018.pdf>.
- 7 Cortez-Villa, J.; Quevedo-Nolasco, A.; Arteaga-Ramírez, R. y Carrillo-Flores, G. 2021. Tendencia de la sequía meteorológica en el estado de Durango, México, por el método de Rodionov. *Tecnología y ciencias del agua.* 11(1):85-131. <https://doi.org/10.24850/tyca-2020-01-03>.
- 8 Easterling, D. R. and Peterson, T. C. 1995. A new method for detecting undocumented discontinuities in climatological time series. *Inter. J. Climatol.* 15(4):369-377. <https://doi.org/10.1002/JOC.3370150403>.
- 9 FAO. 1992. Food and Agriculture Organization. Cropwat a computer program for irrigation planning and management. Irrigation and drainage paper 46. Rome. 65-80 pp.
- 10 FAO. 2012. Food and Agriculture Organization. Respuesta del rendimiento de los cultivos al agua. 119-125. <http://www.fao.org/3/a-i2800s.pdf>.
- 11 Gomaa, M. A.; Kandil, E. E.; El-Dein, A. A. M. Z.; Abou-Donia, M. E. M.; Ali, H. M. and Abdelsalam, N. R. 2021. Increase maize productivity and water use efficiency through application of potassium silicate under water stress. *Scientific Reports.* 11(1):1-8. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-80656-9>.
- 12 Gullett, D. W.; Vincent, L. and Sajecki, P. J. F. 1990. Testing for homogeneity in temperature time series at Canadian climate stations. Atmospheric Environment Service. ON, Canada. 4-90 pp.
- 13 Kadambot, H. M. and Siddique, H. B. 2014. Water deficits: development. *In: Encyclopedia of Natural Resources: land.* Taylor and Francis: New York. 522-525 pp.
- 14 Lilliefors, H. W. 1967. On the Kolmogorov-Smirnov test for normality with mean and variance unknown. *J. Am. Stat. Assoc.* 62(318):399-402. Doi: 200.130.19.152.
- 15 López, F. A. J. y Hernández, C. D. 2016. Cambio climático y agricultura: una revisión de la literatura con énfasis en américa latina. *El trimestre económico.* 83(332):459-496.
- 16 Maronna, R. and Yohai, V. J. 1978. A bivariate test for the detection of a systematic change in mean. *J. Am. Stat. Assoc.* 73(363):640-645. <https://doi.org/10.1080/01621459.1978.10480070>.
- 17 Martínez-Austria, P. y Patiño-Gómez, C. 2012. Efectos del cambio climático en la disponibilidad de agua en México El cambio climático. *Tecnología y ciencias del agua.* 3(1):5-20.
- 18 Ojeda-Bustamante, W.; Hernández, B. L. y Sánchez, C. I. 2008. Tecnificación del riego. *In: manual para diseño de zonas de riego pequeñas.* Ed. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. México. Capítulo 1:15-44.

- 19 Ojeda-Bustamante, W.; Sita Fuentes-Ibarra, E.; González-Camacho, J. M. y Guillen-González, J. A. y Unland-Weiss, H. 1999. Pronóstico del riego en tiempo real. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. México, DF. 17-80.
- 20 Perry, C.; Steduto, P.; Allen, R. G. and Burt, C. M. 2009. Increasing productivity in irrigated agriculture: agronomic constraints and hydrological realities. *Agricultural Water Management*. 96(11):1517-1524. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2009.05.005>.
- 21 Ramírez-Cabral, N.; Medina-García, G. and Kumar, L. 2020. Increase of the number of broods of fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) as an indicator of global warming. *Rev. Chapingo Ser. Zonas Áridas*. 19(1):1-16. <https://doi.org/10.5154/r.rchsa.2020.11.01>.
- 22 Rodionov, S. 2004. A sequential algorithm for testing climate regime shifts. *Geophysical Research Letters*. 31(9):2-5. Doi: 10.1029/2004GL019448.
- 23 Rodionov, S. 2005. A brief overview of the regime shift detection methods. Joint Institute for the Study of the Atmosphere and Ocean, University of Washington, Seattle, WA 98195, USA. 17-24. <https://www.beringclimate.noaa.gov/regimes/rodionov-overview.pdf>.
- 24 Rodionov, S. 2006. Help with regime shift detection software. Retrieved from. <https://www.beringclimate.noaa.gov/regimes/help3.html>.
- 25 Rodionov, S. and Overland, J. 2005. Application of a sequential regime shift detection method to the Bering Sea ecosystem. *J. Marine Sci.* 62(3):328-332. Doi: 10.1016/j.jicesjms.2005.01.013.
- 26 SADER-SIAP. 2020. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural y Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Panorama Agroalimentario. Publicaciones SIAP. 90-92 pp. <https://nube.siap.gob.mx/gobmx-publicaciones-siap/pag/2020/Atlas-Agroalimentario-2020>.
- 27 Serna, L. 2022. Maize stomatal responses against the climate change. *Frontiers in Plant Science*. 13:01-09. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.952146>.
- 28 SMN. 2021. Servicio Meteorológico Nacional. Información estadística climatológica. <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica/informacion-estadistica-climatologica>.
- 29 Soares, M. D.; Peña A. y García, M. E. 2018. Una aproximación al marco conceptual, institucional y normativo relativo al cambio climático. *In*: Soares, M. D. y Peña, A. Ed. Impacto del cambio climático para la gestión integral de la cuenca hidrológica del río Apatlaco. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. 28-39 pp.
- 30 Tayanç, M.; Nüzhet, D. H.; Karaca, M. and Yenigün, O. 1998. A comparative assessment of different methods for detecting inhomogeneities in Turkish temperature data set. *Inter. J. Climatol.* 18(5):561-578. Doi: 10.1002/(sici)1097-0088(199804)18:5<561:aid-joc249>3.0.co;2-y.
- 31 Trenberth, K. E. and Asrar, G. R. 2014. Challenges and opportunities in water cycle research: WCRP contributions. *Surv Geophys.* 35:515-532. <https://doi.org/10.1007/s10712-012-9214-y>.
- 32 Trenberth, K. E. and Fasullo, J. T. 2012. Tracking earth's energy: from El Niño to global warming. *Surv Geophys.* 33(1):413-426. <https://doi.org/10.1007/s10712-011-9150-2>.
- 33 Trenberth, K. E.; Fasullo, J. T. and Balmaseda, M. A. 2014. Earth's energy imbalance. *J. Climate*. 27(9):3129-3144. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-13-00294.1>.
- 34 Utset, A. and Martínez-Cob, A. 2003. Estimación del posible efecto del cambio climático en el balance hídrico del maíz cultivado en una llanura mediterránea. Estudio de la zona no saturada del suelo. 305-312 pp.
- 35 Wilhite, D. A. and Glantz, M. H. 1985. Understanding: the drought phenomenon: the role of definitions. *Water International*. 10(3):111-120. Doi: 10.1080/02508068508686328 535.

- 36 Woznicki, S. A.; Nejadhashemi, A. P. and Parsinejad, M. 2015. Climate change and irrigation demand: Uncertainty and adaptation. *Journal of Hydrology: Regional Studies*. 3(1):247-264. ISSN 2214-5818. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2014.12.003>.



Variación temporal de los requerimientos de riego en maíz método Rodionov en DR001, Pabellón, Aguascalientes

Journal Information
Journal ID (publisher-id): remexca
Title: Revista mexicana de ciencias agrícolas
Abbreviated Title: Rev. Mex. Cienc. Agríc
ISSN (print): 2007-0934
Publisher: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Article/Issue Information
Date received: 01 January 2023
Date accepted: 01 March 2023
Publication date: 25 July 2023
Publication date: July 2023
Volume: 14
Issue: 5
Pages: 052-065
DOI: 10.29312/remexca.v14i5.3084

Categories

Subject: Artículo

Palabras clave:

Palabras clave:

cambio climático
cambios de media
cambios de varianza
régimen de lluvia

Counts

Figures: 7
Tables: 1
Equations: 1
References: 36
Pages: 14