OPEN ACCESS

ARTÍCULO ORIGINAL

Ingeniería Agrícola 16
enero-diciembre 2026
ISSN 2306-1545, eISSN 2227-8761
Cu-ID: https://cu-id.com/2284/v16e26

Cobertura vegetal y productividad del agua en cultivos maíz y tomate

Vegetation cover and water productivity in maize and tomato crops

Zoltan Igor Rivero Jaspe[1*], Ayamir Agramonte Almanza[1], Camilo Bonet Pérez[2] y Mirna Vento Pérez[3]

[1]*Centro Meteorológico Provincial de Camagüey, Camagüey, Cuba. E-mail: ayadri72@gmail.com*
[2]*Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric), Filial Camagüey, Cuba. E-mail: camilobp51@gmail.com*
[3]*UCTB Suelos Camagüey, Camagüey, Cuba.*

[*]Autor para correspondencia: Zoltan Igor Rivero Jaspe, e-mail: zoltanjaspe@gmail.com

RESUMEN: La cobertura vegetal se ha utilizado como medida de control de la humedad del suelo, por lo cual su empleo se refleja en la eficacia de uso del agua en áreas de riego. Con el objetivo de estimar la eficacia del empleo de la cobertura vegetal como medida de adaptación al cambio climático sobre la productividad agronómica del agua de riego se realiza un estudio mediante simulación en los cultivos maíz y tomate y dos escenarios productivos característicos de la provincia Camagüey, correspondientes a unidades agrícolas situadas al norte y centro de la provincia. Se estimaron, a partir de simulaciones con el modelo AquaCrop 6.0, los rendimientos y la cantidad de agua aplicada en condiciones de secano o potenciales con riego, de uso o no de acolchado, el comportamiento del clima durante el periodo 1991- 2020 y un escenario severo de cambio climático, a partir de los que se calculó la productividad agronómica del agua de riego, así como el efecto del uso de la cobertura sobre ella. Se concluyó que el uso de acolchado tiene un gran potencial como buena práctica agrícola para el incremento de la productividad agronómica del agua de riego, especialmente en los momentos actuales y en dependencia del cultivo y el lugar.
Palabras clave: uso del agua, rendimiento, clima.

ABSTRACT: Vegetation cover has been used as a soil moisture control measure, and its application is reflected in water use efficiency in irrigated areas. To estimate the effectiveness of vegetation cover as a climate change adaptation measure on the agronomic productivity of irrigation water, a simulation study was conducted on maize and tomato crops under two production scenarios characteristic of the Camagüey province, corresponding to agricultural units located in the north and center of the province. Using simulations with the AquaCrop 6.0 model, yields and the amount of water applied were estimated under rainfed conditions or potential irrigated conditions, with or without mulch, climate behavior during the period 1991-2020, and a severe climate change scenario. Based on these simulations, the agronomic productivity of irrigation water was calculated, as well as the effect of vegetation cover on it. It was concluded that the use of mulch has great potential as a good agricultural practice for increasing the agronomic productivity of irrigation water, especially in the current climate and depending on the crop and location.
Keywords: water use, yield, climate.

INTRODUCCIÓN

La Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) expresa que el Cambio Climático es considerado hoy el mayor desafío que la supervivencia de la humanidad enfrenta (CEPAL, 2015, citado por Bonet-Pérez et al., 2023).

El agua dulce es un recurso cada día más escaso. La pérdida de su calidad, así como la creciente competencia de los sectores urbano e industrial, determinan una marcada disminución de su disponibilidad. Para el año 2030 se estima que la demanda de agua para el riego agrícola ascenderá a un 40% y el 46% de las áreas cultivables en el mundo necesitarán ser irrigadas debido a factores relacionados con el cambio climático y con las condiciones meteorológicas en general (Betancourt, 2017, citado por Rodríguez-Correa et al., 2022).

El cambio climático y la desertificación están íntimamente ligados debido no sólo al impacto directo de los cambios de las variables meteorológicas sobre los ecosistemas, sino también a los efectos indirectos entre la degradación de los suelos y las precipitaciones, todo lo cual podría agudizar la desertificación mediante la alteración de la distribución espacial y temporal de la temperatura, las lluvias, la radiación solar y los vientos, según la Organización Meteorológica Mundial (OMM, 2013, citada por Bonet-Pérez et al., 2023).

Recibido: 31/01/2026
Aceptado: 03/07/2026
Conflicto de interés: Los autores de este trabajo declaran no presentar conflicto de intereses.
Contribuciones de autor: Conceptualización, Curación de datos, Análisis formal, Investigación, Metodología, Supervisión, Validación, Visualización, Redacción-borrador original, Redacción-revisión y edición: Zoltan Igor Rivero Jaspe. **Curación de datos, Análisis formal, Investigación, Validación, Redacción-borrador original:** Ayamir Agramonte Almanza. **Curación de datos, Análisis formal, Investigación, Validación, Redacción-revisión y edición:** Camilo Bonet Pérez. **Curación de datos, Análisis formal, Investigación, Validación:** Mirna Vento Pérez.
La mención de marcas comerciales de equipos, instrumentos o materiales específicos obedece a fines de identificación, no existe ningún compromiso promocional relacionado con los mismos, ni para los autores ni para el editor.

Este artículo se encuentra bajo los términos de la licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial (CC BY-NC 4.0).
https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/

En la agricultura cubana el riego es un factor potenciador de los rendimientos, ya que la distribución no homogénea de las precipitaciones impone un periodo poco lluvioso en el año (de noviembre a abril) donde sólo ocurre como media el 20% de la precipitación anual, y coincide con el óptimo para el crecimiento y desarrollo de la mayoría de los cultivos agrícolas (Cisneros *et al*., 2015, citados por Rodríguez-Correa et al., 2022).

Para lograr un mejor uso económico y social del agua se requiere evaluar su productividad, a fin de tomar mejores decisiones en cuanto a políticas y estrategias de utilización de manera sostenible (Osuna & Esquivel, 1996).

Bajo el término productividad agronómica del agua se analiza la relación productiva existente entre el rendimiento del cultivo y el agua total aplicada como riego, esta relación es muy dependiente del comportamiento de las lluvias dentro de la temporada de riego y resulta difícil, al realizar los experimentos a campo abierto, especificar el aporte de las lluvias a la satisfacción de las necesidades de agua de los cultivos, razón por la cual es importante diferenciar la productividad del agua aplicada por el riego de la productividad del agua en su concepción general (González et al., 2014).

Según la FAO (2003), el término productividad del agua es relativo a la escala estudiada en relación al volumen de agua utilizado. A nivel de cuenca, la elección debería ser entre el agua desviada de su fuente y esta menos el agua reintegrada, mientras que a nivel de campo se deberían considerar la lluvia útil, el agua de riego y el riego suplementario.

Consideran Bonet-Pérez et al. (2019) que las opciones para mejorar la productividad del agua a nivel agroecológico o de cuenca hídrica se encuentran, por ejemplo, en una mejor planificación del uso de la tierra, un mejor uso de los pronósticos meteorológicos a mediano plazo, un mejor programa de riego de acuerdo con la variabilidad de las lluvias y el manejo conjunto de varias fuentes de agua, incluyendo las de aguas de menor calidad, y resaltan que, al valorar la productividad del agua a nivel de campo, se debe diferenciar la agricultura de riego y la de secano.

Según estos autores, el incremento de la productividad del agua en las áreas bajo riego puede estar asociado a:

- incrementar los rendimientos comercializables de los cultivos
- prácticas de manejo del agua dirigidas a reducir las pérdidas

Expresan Agramonte-Almanza et al. (2022) que los problemas relacionados con el agua en la agricultura de secano a menudo están relacionados con la gran variabilidad espacial y temporal de las lluvias, antes que con los bajos volúmenes de acumulación de la misma. Los resultados generales de la impredecibilidad de las lluvias son un alto riesgo para las sequías meteorológicas y los períodos secos inter estacionales. El hecho de cubrir los déficits de agua durante los períodos secos cortos con riego suplementario estabiliza la producción e incrementa tanto la producción como la productividad del agua, siempre que ésta sea aplicada en los momentos más sensibles del crecimiento de las plantas.

El aumento sostenible de la productividad del agua puede obtenerse solamente por medio de una combinación de capacitación de los agricultores, conservación de aguas, riego suplementario, mejor selección de los cultivos, prácticas agronómicas mejoradas e intervenciones políticas e institucionales (Bonet-Pérez et al., 2023).

Con el objetivo de estimar la eficacia del empleo de la cobertura vegetal como medida de adaptación al cambio climático sobre la productividad agronómica del agua de riego se realiza un estudio mediante simulación en los cultivos maíz y tomate y dos escenarios productivos característicos de la provincia Camagüey.

Fundamentación

Se ha demostrado que los cultivos de cobertura reducen o eliminan casi por completo la erosión de los campos agrícolas, aumentan la infiltración de las aguas provenientes de las precipitaciones en la capa del suelo, mantienen los nutrientes como el nitrógeno y el fósforo y aumentan la materia orgánica del suelo; sin embargo, los beneficios de esta práctica agrícola no se suelen vincular al incremento potencial de la productividad del agua (Pérez *et al.* 2013, citados por Rivero et al., 2021).

Las medidas de enfrentamiento a la sequía y la mayor tolerancia a la misma son estrategias importantes para aumentar la productividad del agua (Huerta-Olague et al., 2018). Todas las prácticas culturales y agronómicas que reducen las pérdidas, tales como la aplicación de cobertura al suelo, contribuirán a mejorar la productividad del agua.

El significado del mejoramiento del suelo en el fortalecimiento de la productividad del agua es a menudo ignorado. Cuando el suelo está sano y puede retener más agua, los cultivos son más resistentes a los factores de estrés abióticos; cuanto menos estrés sufran los cultivos, mayor será la probabilidad de que mejoren su potencial de rendimiento. Las prácticas de manejo integrado de cultivos y recursos pueden incrementar la productividad del agua elevando proporcionalmente el rendimiento de los cultivos más de lo que aumenta la evapotranspiración (Abril et al., 2017).

La solución más efectiva para evitar las pérdidas causadas por la alta evaporación de agua del suelo es la cobertura con residuos de las plantas sobre la superficie del suelo (Denoia et al., 2023). Las prácticas agronómicas que aumentan la sombra sobre la superficie del suelo y las estructuras físicas que concentran el agua de lluvia favoreciendo la percolación a las capas más profundas también reducen las pérdidas por evaporación (Bonet-Pérez et al., 2023).

Ha expresado Pedroza (2007), citado por Abril et al. (2017) que el desperdicio causado por las pérdidas de la transpiración puede ser el resultado de una excesiva transpiración de las malezas o del cultivo cuando hay vientos cálidos y puede ser controlado por prácticas adecuadas de control de malezas o por la construcción de rompevientos, respectivamente.

Los residuos sobre la superficie del suelo reducen las pérdidas de agua por evaporación actuando como una capa aisladora, esto disminuye la temperatura de la superficie del suelo y el efecto del viento. El calor del sol es transmitido lentamente al suelo desde la superficie de los residuos y a través del aire atrapado entre los mismos, consecuentemente, la superficie del suelo permanece más fresca y la tasa de evaporación del agua del suelo reduce su intensidad. Cuanto más espesa es la capa del aire atrapado entre los residuos, mayor será el efecto aislante; la cantidad de residuos requeridos para reducir las pérdidas por evaporación es considerablemente mayor que la cantidad necesaria para asegurar que la mayor parte del agua de lluvia se infiltre en el suelo.

Este autor considera que, en las épocas calurosas y con alta frecuencia de vientos notables, la tasa de pérdida de agua por la transpiración de las plantas puede ser muy alta y dar lugar a un agotamiento anticipado de las reservas de agua del suelo; esto, a su vez, puede provocar un fuerte estrés hídrico en las plantas, tanto malezas como cultivos, antes de que su ciclo de crecimiento y madurez haya sido completado.

Exponen Capurro & Montico (2020) que la pérdida de agua del suelo a través de la transpiración de las malezas puede reducir sensiblemente la cantidad de agua disponible para los cultivos; la presencia de una espesa capa de residuos sobre la superficie es una forma efectiva de controlar las malezas. Cuando es necesario tomar medidas de control de malezas, desde el punto de vista de la agricultura conservacionista, es preferible hacer rotaciones de cultivos adecuadas antes de proceder al control mecánico, salvo si éste es efectuado sin disturbio del suelo. Los herbicidas de postemergencia dejan los residuos de las malezas en la superficie del suelo como una cobertura protectiva mientras que la labranza deja el suelo expuesto al impacto de las gotas de lluvia y al sol, acelera el secado superficial del suelo y tiende a desorganizar y destruir la porosidad del suelo por frotación y compactación.

Las medidas encaminadas a reducir el efecto del viento contribuyen a reducir la evapotranspiración. Reportan Bonet-Pérez et al. (2024) que cuando los cultivos están expuestos a fuertes vientos en un ambiente seco, el agua que ha sido transpirada es rápidamente eliminada de la superficie de las hojas hacia la atmósfera; esto favorece un movimiento más rápido del agua a través del cultivo y una mayor absorción de agua del suelo. Los vientos fuertes pueden, por lo tanto, causar una excesiva transpiración del cultivo y una innecesaria pérdida de agua. Las cortinas rompevientos por lo general se establecen como medida de control del efecto del viento sobre la evapotranspiración, en las áreas en que los bosques son talados para favorecer el desarrollo agrícola, algunas filas de árboles nativos pueden ser conservadas como rompevientos naturales.

Según Rodríguez-Correa et al. (2022) uno de los métodos usados en el campo para aumentar la productividad del agua es el riego deficitario controlado, en el cual se aplica deliberadamente menos agua que la necesaria para satisfacer totalmente la demanda de agua de los cultivos.

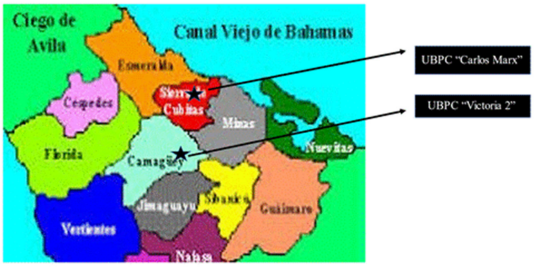


Figura 1. Ubicación de las unidades productivas seleccionadas para el estudio.

El riego deficitario debería reflejarse en una pequeña reducción del rendimiento que puede ser menor que la reducción de transpiración; esto causa, por lo tanto, una ganancia de la productividad de agua por unidad de agua transpirada.

La sombra artificial o natural contribuye a reducir la pérdida de humedad del suelo, puede ser proporcionada por múltiples materiales ya sean artificiales como redes, telas, láminas de plástico u otros o derivados de las plantas, tales como ramas cortadas, pasto cortado colocado en redes o árboles vivos que proporcionan sombra desde lo alto y en forma muy amplia. La sombra es necesaria en los viveros de plantas en las regiones cálidas para proteger las plántulas y otras plantas con raíces superficiales de condiciones de excesivo calor y limitar pérdidas indeseables de humedad del suelo; debe usarse con precaución, pues puede ser tan densa como para limitar la energía solar sobre la superficie de las hojas y reducir la fotosíntesis y la tasa de crecimiento (Molgora, 2013).

MATERIALES Y MÉTODOS

Para el estudio fueron seleccionadas las unidades productivas UBPC "Carlos Marx" perteneciente a la empresa Agropecuaria Citrícola Sola y la UBPC "Victoria II" perteneciente a la Empresa Municipal Agroindustrial Camagüey, situadas al norte y centro de la provincia, respectivamente (Figura 1), las cuales poseen diferentes condiciones de suelos y clima, por lo cual resultan representativas de diferentes condiciones edafoclimáticas.

Según el Instituto de Suelos (IS), en estas unidades los suelos predominantes son Ferrítico rojo típico y Pardo sin carbonato respectivamente (IS-Cuba, 2020), cuyas características físicas vinculadas a la capacidad de retención de humedad se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Propiedades físicas de los suelos predominantes en las áreas de estudio

Suelo	Capacidad de campo (% bss)	Densidad aparente (g/cm^3)
Ferrítico rojo típico	26,49	1,49
Pardo sin carbonato	32,00	1,31

Se estudiaron los cultivos de maíz (UBPC "Carlos Marx") y tomate (UBPC "Victoria 2"). Se utilizaron cinco climoperíodos (Tabla 2), con un alto grado de solapamiento entre los cuatro últimos, el clima base fue el obtenido por Rivero et al. (2021), correspondiente al período 1976-2005.

En este trabajo se utilizaron cinco climoperíodos (Tabla 1), con un alto grado de solapamiento entre los cuatro últimos, el clima base fue el obtenido por Rivero et al. (2021), correspondiente al período 1976-2005. Por su parte, el 2066-2095 es el más representivo de un posible clima extremo, ya que el calentamiento global, de no ser mitigado por la acción humana a gran escala, debe evolucionar de forma creciente durante el siglo.

Tabla 2. Climoperíodos utilizados

No. Orden	Año inicial	Año final
1	1976	2005
2	2021	2050
3	2036	2065
4	2051	2080
5	2066	2095

Primeramente, se creó un conjunto de datos climáticos diarios correspondientes al período normal 1976-2005 de las seis estaciones meteorológicas de primer orden ubicadas en la provincia de Camagüey, a saber, las de Florida, Santa Cruz del Sur, Esmeralda, Nuevitas, Palo Seco, y Camagüey. Las variables seleccionadas fueron temperaturas mínima, media y máxima, humedades relativas del aire mínima, media y máxima, precipitación, y velocidad del viento.

La radiación solar global fue estimada en todos los casos por la fórmula de Hargreaves (Allen *et al.*, 1998, citados por Rivero et al. 2018). La evapotranspiración potencial fue calculada según el procedimiento de Penman-Monteith (Rivero 2000, citado por Rivero et al. 2021), a partir de la temperatura media, la radiación global, la velocidad media del viento, y las humedades relativas.

Se planificó una base de datos cuyas tablas principales consistieron en las medias multianuales de variables de desempeño del ciclo de cultivo, para cada combinación de un lugar o zona de estudio, un climoperíodo, un régimen de riego, una fecha de siembra, un cultivo, y un efecto de la cubierta del suelo sobre la evaporación (iBV). Los tratamientos de iBV utilizados fueron tres: iBV = 0 cuando no se utilizaba cubierta, iBV = 1 cuando se usaba una cubierta que reducía el 50 % de la evaporación directamente a partir del suelo, e iBV = 2 cuando la reducción era del 100%. Estos valores cubren todo el espectro de posibilidades, se trate de la aplicación de material vegetal o sintético.

La herramienta central y modelo biofísico de cultivo utilizado fue el AquaCrop 6.0 (FAO, 2017, citado por Rodríguez-Correa et al. 2022), el cual tiene la capacidad de simular el crecimiento y desarrollo de los cultivos durante todo su ciclo tomando en cuenta el efecto de fertilización por dióxido de carbono y el ciclo hidrológico aire - suelo - planta de cultivo.

Debido a la gran cantidad de corridas necesarias para generar tantos registros fue necesario automatizar las corridas desde un *software* programado en QB64.

Los escenarios climáticos futuros fueron creados mediante la metodología tradicional utilizada en estudios anteriores (INSMET-Cuba, 2001), concretándose en este caso como la modificación de los valores diarios de las variables meteorológicas de los años reales transcurridos en un cambio dependiente del climoperíodo futuro de que se tratara. Dicho cambio correspondió a un ajuste de escala realizado mediante PRECIS según el RCP8.5 y el HadCM3 como modelo climático global. Con los datos así obtenidos se elaboraron los ficheros de datos meteorológicos de entrada correspondientes que utiliza el AquaCrop 6.0. El RCP8.5, que en este contexto funciona como un escenario de concentración de gases de efecto invernadero y aerosoles, se escogió por ser, dentro de la familia RCP, la trayectoria más extrema del calentamiento global, y la más representativa de un devenir histórico en que no se tomen medidas fuertes para mitigar el cambio climático (Jubb et al., 2012).

Considerando estudios previos de Rivero et al. (2021), donde los regímenes de riego fueron agrupados en cuatro grupos (Tabla 3), se seleccionaron los dos más típicos, esto es, el de secano (es decir, limitado sólo por las condiciones edafometeorológicas) y el potencial, representado en la tabla por los grupos 2 al 4.

Tabla 3. Regímenes de riego considerados

Grupo	Características
1	Secano
2	Regímenes para los cuales se riega hasta la capacidad de campo siempre que se alcanza un déficit de humedad del suelo en la capa de raíces determinado
3	Cultivos maíz y tomate. Norma y frecuencia fija, establecidos como 25 mm y 18 mm respectivamente, con frecuencia cada 7 días en ambos casos
4	Cultivos maíz y tomate. Régimen de riego que se practica habitualmente en las Unidades Productivas seleccionadas

Para estimar la eficacia del uso de cobertura como medida de adaptación se aplicó la siguiente ecuación:

$$E_{cb} = 100\% \frac{A_{cf} - A_f}{|A_a - A_f|} \quad (1)$$

donde:

E_{cb} es la eficacia del uso de cobertura como medida de adaptación:

A_{cf} es la magnitud que se evalúa en el futuro con cobertura aplicada:

A_f es la magnitud en el futuro sin cobertura

A_a es la magnitud en el clima base sin cobertura

La magnitud considerada es la productividad agronómica del agua de riego, en una formulación equivalente a la de la productividad agronómica del agua aplicada en González et al. (2014), pero en este caso calculada sobre la base del rendimiento expresado en materia seca.

E_{cb} vale 100% cuando la magnitud obtenida en el futuro bajo cobertura tiene el mismo valor que en el clima base sin cobertura, caso en el cual se revierte completamente el impacto (A_f-A_a). En caso de alcanzar un valor negativo, significa que el uso de cobertura resulta peor que su no utilización.

Las fechas de siembra utilizadas correspondieron al día 15 de cada mes del calendario gregoriano, para cubrir razonablemente todo el rango posible.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Garantizar el régimen de riego requiere aplicar una cantidad de agua que no es fija, sino que depende de la evapotranspiración potencial, el régimen de lluvias, las necesidades hídricas del cultivo y la duración del ciclo de cultivo, entre otros factores.

Para valorar la eficacia del uso de la cobertura vegetal como medida de adaptación respecto al uso de agua, el mejor punto de partida es tener en cuenta su influencia en el gasto de agua de riego en régimen potencial y, en particular, en su productividad agronómica, razón por la cual se escogió este enfoque.

Debido a que el régimen de riego potencial aseguraba el agua requerida para cubrir las necesidades de los cultivos, pero no tenía en cuenta la ocurrencia de lluvias después de cada aplicación, en las simulaciones aparecieron muchos casos en que los rendimientos con cobertura eran menores que aquellos donde no se aplicaba, dado que dificultaba la pérdida de agua de los suelos saturados y con ello aumentaba la escasez de oxígeno para las raíces, pero la productividad agronómica del agua depende no sólo del rendimiento del cultivo, sino también de la norma total de riego, por lo que aun así podría ser positivo el efecto del acolchado sobre dicha productividad, como en efecto lo fue. Se trata de algo similar a lo descrito por Rodríguez-Correa et al. (2022) para el riego deficitario controlado, en que también se saca provecho del ahorro de agua a pesar de una disminución relativamente menor del rendimiento, aunque en el caso presente no se trata de esa técnica, sino más bien de un riego con incompleto control del exceso de agua debido a limitaciones de drenaje y de previsión meteorológica, aunque susceptible de cierta optimización climática.

Como resultado, en el maíz de la UBPC Carlos Marx (Fig. 2), la influencia del efecto de la cobertura sobre la evaporación habría sido muy elevada en la productividad agronómica para el clima base, especialmente para un 100% de la reducción de evaporación y entre las siembras de abril a octubre, aumentándola entre dos y seis veces, de 1,9 kg/m^3 a 11,5 kg/m^3 en la de agosto. Para finales de siglo en un escenario de cambio climático severo la influencia sería también positiva, aunque en medida notablemente menor, destacándose en este caso el mes de mayo y el período septiembre-octubre por recibir la mayor influencia, con aumentos de hasta algo más de dos veces, pasando para la siembra de septiembre de 2,4 kg/m^3 a 5,4 kg/m^3.

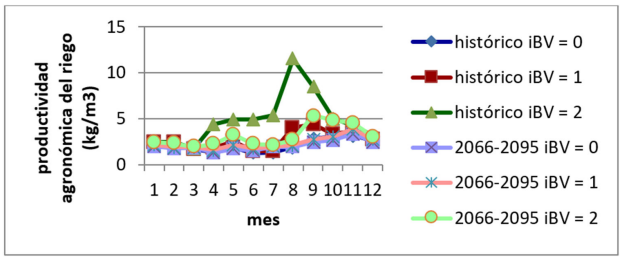


Figura 2. Productividad agronómica del agua de riego para el maíz por defecto en la UBPC "Carlos Marx" y régimen potencial, para el clima base (líneas oscuras) y el climoperíodo 2066-2095 (líneas claras), ante tres variantes de influencia de la cobertura sobre la evaporación.

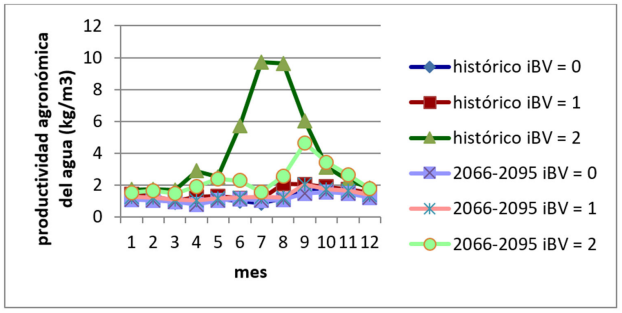
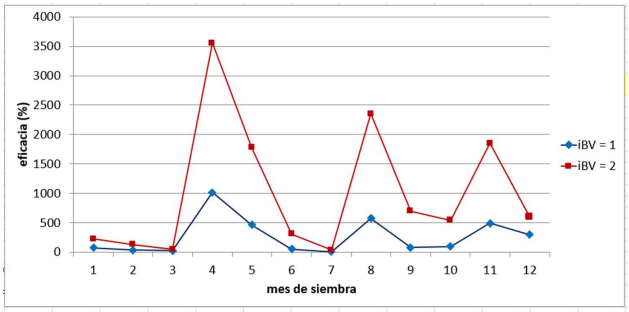


Figura 3. Productividad agronómica del agua de riego para el tomate en la UBPC "Victoria 2" y régimen potencial, para el clima base (líneas oscuras) y el climoperíodo 2066-2095 (líneas claras), ante tres variantes de influencia de la cobertura sobre la evaporación.

En el tomate de la UBPC "Victoria 2" en régimen potencial, la productividad agronómica del agua de riego simulada en el clima base (0,85 kg/m^3 para la siembra de julio a 1,66 kg/m^3 para la de octubre) resultó menor que la equivalente a la reportada por González Robaina et al. (2014) sobre la base de mediciones de campo, que fue de 22,2 kg/m^3 en peso fresco, y por tanto de 3,33 kg/m^3 en peso seco, suponiendo una proporción de agua del 85%, aunque dentro de la parte inferior del rango mostrado por los mismos autores en 2014. Estas diferencias no son raras, pues, como se señala en ese trabajo, los valores de productividad agronómica del agua aplicada varían mucho en dependencia del régimen de lluvias, a lo que se puede agregar las características del suelo y otros factores. La influencia del efecto de la cobertura sobre la evaporación revistió rasgos similares a los del maíz de la UBPC "Carlos Marx", aunque resulta menos notable para una reducción de la evaporación del 50% (fig. 3).

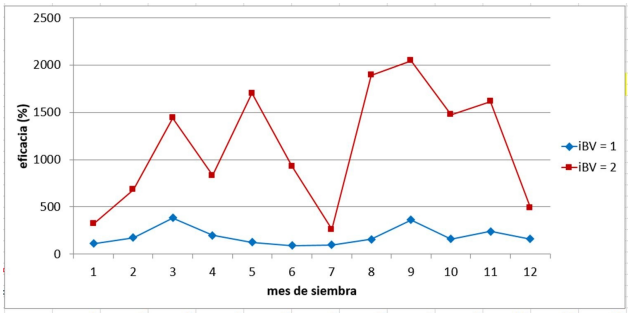
Tal como han demostrado estudios que cuantifican el efecto de la cobertura en la reducción de la evaporación directa del suelo, pero con el valor agregado de considerarla como medida de adaptación, las Figuras 4 y 5 muestran la eficacia del efecto de la cobertura sobre la evaporación como medida de adaptación al cambio climático en cuanto a la productividad agronómica del agua en régimen potencial;

el resultado siempre es positivo, por lo que su aplicación sería útil en todos los casos, y suele presentar valores muy altos que revierten el impacto del cambio climático sobre la productividad agronómica del agua. Así, para el maíz se podría revertir totalmente el impacto desde abril hasta junio y desde septiembre hasta enero, pues la eficacia supera el 100%, según el mes y el efecto de la cobertura sobre la evaporación, mientras que para el tomate sólo en junio y julio y para el efecto moderado de la cobertura sobre la evaporación el impacto no se revertiría de forma completa.



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
iBV = 1	76	33	22	1015	464	52	4	573	79	96	491	295
iBV = 2	222	127	45	3556	1780	307	32	2353	697	543	1848	595

Figura 4. Eficacia del efecto de la cobertura sobre la evaporación como medida de adaptación al cambio climático en cuanto a la productividad agronómica del agua de riego en régimen potencial para el maíz por defecto de la UBPC "Carlos Marx" y el climoperíodo 2066-2095.



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
iBV = 1	110	173	384	198	124	91	97	155	362	161	239	161
iBV = 2	319	684	1441	832	1702	931	262	1893	2046	1477	1614	491

Figura 5. Eficacia del efecto de la cobertura sobre la evaporación como medida de adaptación al cambio climático en cuanto a la productividad agronómica del agua de riego en régimen potencial para el tomate de la UBPC "Victoria 2" y el climoperíodo 2066-2095.

El hecho de que la eficacia supere el límite del 100% hasta en unas 35 veces obedece a que la influencia de la cobertura sobre la productividad agronómica del agua resulta mucho mayor que el impacto del cambio climático sobre esta magnitud, a menudo por ser éste muy pequeño.

Lo dicho implica también que, de poder contarse con tantas tierras de riego como se quiera y de ser los recursos hidráulicos el factor limitante, se podrían obtener en las próximas décadas las mismas producciones para las fechas de siembra en que el impacto se revierte con igual o menor gasto de agua que la actual si se aplica cobertura donde ahora no se hace. Estos resultados revisten gran importancia, toda vez que el uso de regadío es una de las medidas de adaptación más valoradas para un escenario severo de cambio climático, pero éste, al mismo tiempo, haría disminuir el agua disponible en una proporción mayor que la disminución de las precipitaciones (Rivero, 2001, Rivero y Rivero 2005, Planos et al. 1999, citados por Rivero et al. 2021).

CONCLUSIONES

- Los resultados alcanzados demuestran que el uso de la cobertura vegetal tiene un gran potencial como medida de adaptación al cambio climático para el ahorro de agua en condiciones de agricultura de regadío.
- La eficacia del uso de la cobertura en cuanto a la productividad agronómica del agua dependerá del climoperíodo, el cultivo, y el lugar.

AGRADECIMIENTOS

La investigación que da origen a los resultados presentados en la presente publicación recibió fondos de la Oficina de Gestión de Fondos y Proyectos Internacionales bajo el código PN211LH009-010.

RERERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abril, R. V., López Torres, A. C., & Reyes Mera, J. J. (2017). Influencia del dosel y sotobosque en pérdida de suelo por escorrentía en bosque de realce. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, *38*(2), 17-28, ISSN: 1680-0338.

Agramonte-Almanza, A. M., Pérez-Abraham, Y., Fonseca-Pérez, R., Vidal-Blanco, Y. R., Urquía-Lardue, A., Bonet-Pérez, C., Rodríguez-Correa, D., & Mola-Fines, B. (2022). Comportamiento de la sequía agrícola en el municipio de Jimaguayú. *Revista Ingeniería Agrícola*, *12*(4), ISSN: 2306-1545, Publisher: Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola.

Bonet-Pérez, C., Moreno, H., Guerrero, P., Vidal, R., Rodríguez, D., Fernández, E., Mola, B., & Puente, F. R. (2019). Eficiencia de conducción de sistemas de riego en empresas arroceras. *Ingeniería Agrícola*, 9(4), 13-17, ISSN: 2306-1545, Publisher: Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola.

Bonet-Pérez, C., Agramonte Almanza, A., Mola Fines, B., Rodríguez Correa, D., Guerrero Posada, P., & Morales Avilés, Y. (2023). Pérdidas por evaporación y arrastre en diferentes técnicas de riego por aspersión. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, *32*(1), ISSN: 2071-0054, Publisher: Universidad Agraria de La Habana.

Bonet-Pérez, C., Agramonte-Almanza, A. M., Mola-Fines, B., Rodríguez-Correa, D., & Guerrero-Posada, P. A. (2023). Adaptación de la producción agrícola al Cambio Climático. Estudio de caso. *Ingeniería Agrícola*, *13*(4), ISSN: 2227-8761.

Bonet-Pérez, C., Mola-Fines, B., Rodríguez-Correa, D., Guerrero-Posada, P., Machado-Pérez, F., & Zamora-Martín, T. (2024). Efecto de la dirección del viento en la calidad del riego en máquinas de pivote central. *Ingeniería Agrícola*, *14*(2), ISSN: 2227-8761.

Capurro, J. E., & Montico, S. (2020). Efecto de los cultivos de cobertura sobre las pérdidas de agua y suelo por erosión hídrica. *Cuadernos del CURIHAM*, *26*, 41-47, ISSN: 1514-2906, Publisher: Centro Universitario Rosario de Investigaciones Hidroambientales.

Denoia, J., Bonel, B., & Di Leo, N. (2023). Efecto de la cobertura y del relieve sobre las pérdidas de suelo en la cuenca del Arroyo Ludueña, Santa Fe. *Revista FAVE. Sección Ciencias veterinarias*, *22*, 12-12, issn: 2362-5589, Publisher: SciELO Argentina.

FAO. (2003). *Descubrir el potencial de agua para la agricultura* [Servicio de Gestión de las Publicaciones de la Dirección de Información de la FAO]. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) Roma, Italia.

González, F., Herrera, J., López, T., & Cid, G. (2014). Productividad del agua en algunos cultivos agrícolas en Cuba. *Revista Ciencias técnicas agropecuarias*, *23*(4), 21-27, issn: 2071-0054, Publisher: Universidad Agraria de La Habana.

Huerta-Olague, J. de J., Oropeza Mota, J. L., Guevara Gutiérrez, R. D., Ríos Berber, J. D., Martínez Menes, M. R., Barreto García, O. A., Olguín López, J. L., & Mancilla Villa, O. R. (2018). Efecto de la cobertura vegetal de cuatro cultivos sobre la erosión del suelo. *Idesia (Arica)*, *36*(2), 153-162, ISSN: 0718-3429, Publisher: SciELO Chile.

INSMET-Cuba. (2001). *Primera Comunicación Nacional a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático* (pp. 97-119). Grupo Nacional de Cambio Climático, Instituto de Meteorología, La Habana, Cuba.

IS-Cuba. (2020). *Caracterización de suelos de las unidades productivas incluidas en el proyecto: "Efectividad del empleo de la cobertura vegetal como medida de adaptación al cambio climático* [Informe de proyecto]. Ministerio de la Agricultura, Isntituto de Cuelos, La Habana, Cuba.

Jubb, I., Canadell, P., & Dix, M. (2012). *Representative Concentration Pathways (RCPs)*. CSIRO, Australia. https://www.cawcr.gov.au/projects/Climate-change/wp-content/uploads/2016/11/ACCSP_RCP.pdf

Molgora, T. A. (2013). *Efecto del manejo de la cobertura vegetal sobre la erosión hídrica en cafetales de sombra en Veracruz* [Tesis presentada en opción al Grado de Máster en Ciencias]. Universidad de Xalapa, Veracruz, México.

Osuna, E. S., & Esquivel, F. (1996).). Cobertura vegetal y erosión del suelo en Aguascalientes. *Agrlc. Téc. Méx.*, *22*(2), jul.-dic.

Rivero, R. E., Rivero, Z. I., & Fumero, M. (2021). *Estimación y caracterización de los rendimientos agrícolas en diferentes condiciones hídricas y según balance hídrico del sistema suelo-planta-atmósfera de cultivos seleccionados bajo condiciones de los nuevos escenarios* (p. 51) [Informe Científico Técnico].

Rivero, Z., Rivero, R., Rivero, R., & Pomares, I. (2018). *Escenarios climáticos para Camagüey como consecuencia de un conflicto nuclear de baja intensidad.* 17, ISBN: 959-300-034-038.

Rodríguez-Correa, D., Bonet-Pérez, C., Mola-Fines, B., Guerrero-Posada, P. A., Martínez-Der, C., & Machado-Carballo, M. (2022). Estrategias de riego deficitario controlado para el cultivo del frijol. *Ingeniería Agrícola*, *12*(1), ISSN: 2306-1545, Publisher: Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola.