



Estimación de la huella hídrica del frijol cultivado en dos variantes de riego y aplicaciones foliares de un bioestimulante

Estimation of the water footprint of beans grown under two irrigation variants and foliar applications of bioestimulants

^{ID}José-Miguel Dell'Amico-Rodríguez*, ^{ID}Donaldo-Medardo Morales-Guevara, ^{ID}Yanitza Meriño-Hernández, ^{ID}Eduardo-Iván Jerez-Mompíe, ^{ID}Betty-Leidys González-Pérez

Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, Dpto. de Fisiología y Bioquímica Vegetal, San José de las Lajas. Mayabeque, Cuba. CP 32700

RESUMEN: La mayor producción de alimentos proviene de la agricultura de regadío por ello, es el mayor consumidor de agua. A medida que la escasez de agua aumenta, optimizar la eficiencia de este recurso, es primordial para la producción de alimentos. El frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) constituye la legumbre más importante a nivel mundial, especialmente en los trópicos. El riego es fundamental para incrementar su rendimiento, este permite el suministro de agua adecuado en cada fase del crecimiento. Por otra parte, la escasez de agua debido al cambio climático está reduciendo su disponibilidad. La huella hídrica (HH) de un producto se define como, la cantidad de agua empleada en todo el proceso productivo. Particularmente, en los productos del agro, la mayor cantidad se emplea mediante el riego en la etapa agrícola, por ello su cuantificación es importante para lograr mayor conciencia social de su uso y protección de los recursos hídricos disponibles. El uso de bioestimulantes en la agricultura ha aumentado, lo que se asocia a sus efectos beneficiosos en el crecimiento, productividad y protección de las plantas. Con el objetivo de estimar la HH del frijol cultivado en dos variantes de riego y aplicaciones foliares de un bioestimulante, se realizó un experimento en el INCA, con el cultivar Tomeguín 93. Los requerimientos de riego y precipitación efectiva (P. efec.) se obtuvieron mediante el programa CropWat 8. Los resultados manifestaron un efecto beneficioso del bioestimulante, tanto en el incremento del rendimiento, como en la reducción de la HH total cuando las plantas se cultivaron con el 50 % del riego.

Palabras clave: bioestimulantes, evapotranspiración, precipitación efectiva, rendimiento.

ABSTRACT: The most food production comes from irrigated agriculture, which is therefore the largest consumer of water. As water scarcity increases, optimizing the efficiency of this resource is paramount for food production. The common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) is the most important legume worldwide, especially in the tropics. Irrigation is essential to increase its yield, as it allows for the adequate supply of water at each stage of growth. On the other hand, water scarcity due to climate change is reducing water availability. The water footprint (WF) of a product is defined as the amount of water used throughout the entire production process. Particularly in agricultural products, the largest amount is used through irrigation during the growing stage; therefore, its quantification is important to raise public awareness of water use and the need to protect available water resources. The use of biostimulants in agriculture has increased, which is associated with their beneficial effects on plant growth, productivity, and protection. To estimate the water retention (WR) of beans grown under two irrigation conditions and with foliar applications of biostimulants, an experiment was conducted at INCA using the Tomeguín 93 cultivar. Irrigation and effective rainfall requirements were obtained using the CropWat 8 program. The results showed a beneficial effect of PectiMorf, both in increasing yield and in reducing total WR when the plants were grown with 50 % irrigation.

Key words: biostimulants, effective rainfall, evapotranspiration, yield.

*Author for correspondence: amico@inca.edu.cu

Recibido: 18/02/2026

Aceptado: 21/04/2026

Conflicto de intereses: Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Contribución de los autores: **Conceptualización:** José M. Dell'Amico, Donaldo Morales. **Investigación:** José M. Dell'Amico, Donaldo Morales, Eduardo Jerez y Betty Leydis González. **Supervisión:** Yanitza Meriño. **Escritura del Borrador:** José M. Dell'Amico. **Escritura y edición final:** José M. Dell'Amico y Yanitza Meriño. **Curación de datos:** Donaldo Morales y Betty Leydis González.

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/>



INTRODUCCIÓN

La escasez de agua es una preocupación mundial cada vez más incitada por el crecimiento de la población, la urbanización y los impactos crecientes y acelerados del cambio climático (1,2). Esta amenaza progresiva de escasez de agua dulce y la sequía persistente en los últimos años, han activado la investigación sobre diferentes estrategias de gestión del riego y la conservación del agua para producir más "cosecha por gota" (3,4).

El agua es esencial para la supervivencia de todos los organismos de la tierra y es vital para mantener la seguridad alimentaria, la estabilidad de los ecosistemas y la prosperidad socioeconómica (5). Por lo tanto, equilibrar la disponibilidad y la demanda de agua es crucial para lograr la sostenibilidad hídrica. Uno de los desafíos para mantener este equilibrio es que la disponibilidad de agua se ve amenazada por el cambio climático y los cambios en el uso del suelo (6).

En la actualidad, el déficit de agua es uno de los problemas globales más apremiantes y su importancia aumentará en el futuro. Más del 40 % de la producción mundial de alimentos proviene de la agricultura de regadío por ello, es el mayor consumidor de agua, representando el 70 % de todas las extracciones de agua dulce. A medida que la escasez de agua se agrava a nivel mundial, mejorar la eficacia de los recursos hídricos agrícolas se convierte en un objetivo primordial para incrementar la producción de alimentos (7).

El frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) constituye la legumbre alimenticia más importante a nivel mundial, especialmente en los trópicos, donde es la principal fuente de proteínas, carbohidratos y minerales, principalmente hierro y zinc (8). El riego es la mejor opción para incrementar el rendimiento en los cultivos, al permitir el suministro de agua en la cantidad adecuada para cada fase del ciclo de crecimiento (9). Sin embargo, la escasez de agua como consecuencia del cambio climático está reduciendo su disponibilidad para la agricultura (4).

El sector agrícola es uno de los más afectados por el crecimiento demográfico mundial. A medida que aumenta la demanda de alimentos, se incrementan las necesidades de agua para la agricultura, lo que repercute en la demanda general de agua en la agricultura (10). Por lo tanto, para mitigar estos impactos negativos, los métodos contemporáneos de conservación del agua en la agricultura emplean cada vez más evaluaciones de la huella hídrica y análisis virtuales de agua para productos agrícolas (11).

La huella hídrica mide el volumen de agua utilizada o contaminada en la producción de productos agrícolas, lo que refleja los recursos asignados a la agricultura (12,13). Generalmente se divide en tres componentes: agua azul, verde y gris (10). Comprender estos componentes y sus correlaciones es crucial para la gestión eficaz del agua y las estrategias de conservación.

Las necesidades hídricas agrícolas pueden calcularse mediante el programa CropWat, este es un modelo para Windows diseñado para calcular las necesidades de agua y riego de las plantas basándose en datos del suelo, el clima y los cultivos (14).

El riego deficitario (RD) representa una solución, en la que la aplicación de agua se reduce intencionalmente por debajo de los requerimientos de agua del cultivo (RAC), lo que resulta en una mayor productividad del agua (15). El RD genera un ahorro sustancial de agua, acompañado de una mínima reducción en el rendimiento, que puede compensarse fácilmente con la calidad superior de los productos y el ahorro de costos asociado con la reducción del uso de agua (16).

En las últimas décadas el uso de los bioestimulantes en la agricultura ha aumentado significativamente (17). La gran demanda de estos compuestos se asocia con sus efectos beneficiosos en el crecimiento, productividad y protección de las plantas (18).

Los bioestimulantes, tienen una gran importancia para Cuba desde el punto de vista económico y medio ambiental. Económico porque reduce costos en cuanto a importaciones de insumos para la agricultura ya que estos bioestimulantes pueden ser elaborados en territorio nacional con las propias materias primas con que cuenta el país (17) quienes además señalaron la importancia de aumentar la producción y extender a todo el país el empleo de bioestimulantes en la agricultura. Los aportes positivos de estos bioproductos a la soberanía y seguridad alimentaria del país es una realidad que no puede demorar, dado el contexto económico actual y la necesidad imperiosa de producir alimentos y reducir las importaciones.

Atendiendo a lo expuesto anteriormente, el objetivo del trabajo consistió en estimar la HH del frijol cultivado en dos variantes de riego y aplicaciones foliares de un bioestimulante

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se realizó en el área central del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA) ubicada geográficamente a 22°58'00"N y 82°09'00"O a 130 msnm, para ello, se sembraron en septiembre de 2024, 12 contenedores de hormigón de 2,60 m de largo por 0,60 m de ancho (1,56 m²) que contenían suelo Ferralítico Rojo lixiviado (19). En cada contenedor fueron sembradas 44 plantas de frijol negro (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivar "Tomeguín 93" dispuestas en dos hileras y con una separación entre ellas de 0,40 m. y un espaciamiento entre plantas de 0,11 m (28 plantas por m²). Este cultivar se caracteriza por presentar un ciclo de 80 días y un rendimiento potencial de 2,9 t ha⁻¹ (según el catálogo de variedades comerciales de granos. Arroz, frijol, maíz, soya, sorgo. Instituto de investigaciones de granos. 2021, Ciudad Habana, Cuba). Antes de la siembra, se realizó una fertilización de fondo con la fórmula de NPK (9-13-18) y una dosis de 50 kg ha⁻¹ y otra con urea (46-0-0) a la misma dosis, a los 35 días después de la emergencia (20).

Se utilizaron dos tratamientos de riego, en cada uno de ellos se realizaron dos aplicaciones del bioestimulante PectiMor® a razón de 150 mg ha⁻¹, la primera a los 20 días después de la siembra (DDS) y la segunda al inicio de la floración (35 DDS), así como, se contó con dos tratamientos en los que no se aplicó el producto, dando lugar a los siguientes cuatro tratamientos:

- T C, con riego al 100 % de la ETc (Evapotranspiración del cultivo en condiciones estándar) en todo el ciclo del cultivo. Designado como Control.
- T E, con riego al 50 % de la ETc. durante todo el ciclo del cultivo. Designado como Estrés.
- T C + P (con riego al 100 % de la ETc + dos aplicaciones foliares del bioestimulante).
- T E + P (con riego al 50 % de la ETc + dos aplicaciones foliares del bioestimulante).

Los tratamientos fueron distribuidos según un diseño experimental de bloques al azar con tres repeticiones (tres contenedores por tratamiento)

El riego se aplicó mediante un sistema de micro aspersión automatizada. Durante la primera semana de la siembra todos los tratamientos recibieron el 100 % de la ETc para garantizar una adecuada germinación y un crecimiento inicial uniforme, a partir de ese momento se regó atendiendo a los requerimientos de cada tratamiento.

La humedad del suelo (%) se evaluó en todos los tratamientos a los 25 y 40 días después de la siembra (cinco días posterior a las aplicaciones foliares del bioestimulante), mediante una sonda TDR (Reflectometría en Dominio del Tiempo) Field Scout TDR 100 System, Spectrum Technologies, Inc., se realizaron 30 mediciones (10 en cada contenedor) a 20 cm de profundidad.

El rendimiento y sus componentes, se evaluaron en 10 plantas cosechadas al azar en cada contenedor (30 plantas por tratamiento) a las que se les midió el número de vainas por planta, el número de granos por vaina, su masa fresca y la masa de 100 granos. Además, se evaluó el rendimiento total de cada contenedor (kg m^{-2}). Para estimar el rendimiento en Kg ha^{-1} se multiplicó el rendimiento en Kg m^{-2} por 10 000 = Kg ha^{-1}

El procesamiento de los datos y la comparación de medias se realizaron mediante el Programa estadístico IBM SPSS Statistics 19.

La estimación de las HH azul, verde, gris y total del cultivo se realizó siguiendo la metodología propuesta por (21).

Para el cálculo de las huellas azul y verde se empleó el modelo CROPWAT 8.0. Este permite determinar la evapotranspiración potencial y real, estimar las necesidades de riego para uno o varios cultivos en una zona determinada y facilitar la planificación del riego. CropWat ofrece ventajas para calcular las necesidades hídricas de los cultivos y programar el riego (14). También facilita el desarrollo de calendarios de riego para diferentes escenarios de gestión y

proporciona cálculos para esquemas de suministro de agua adaptados a diversos patrones de cultivo. Además, CropWat puede utilizarse para evaluar las prácticas de riego y el rendimiento de las plantas en relación con las necesidades hídricas y está basado en las metodologías descritas en los boletines 24, 33 y 56 de la serie FAO Riego y Drenaje.

Los riegos consistieron en la reposición de la ETc tres veces por semana (lunes, miércoles y viernes). La evapotranspiración de referencia ETo (mm), la ETc (mm) y los requerimientos de agua del cultivo (RAC) se obtuvieron mediante el Programa previsto, el que actualizó con una serie histórica de datos meteorológicos de 33 años (1990-2023) correspondientes a la Estación meteorológica de Tapaste que pertenece al Instituto Nacional de Meteorología (INSMET) y se encuentra ubicada, aproximadamente, a 500 m del sitio experimental y para el cálculo de ETo y ETc se utilizaron los valores medios mensuales de todas las variables que intervienen en el cálculo. Los coeficientes de cultivo (Kc) empleados fueron: Kc inicio = 0,15, Kc medio= 1,10 y Kc final= 0,35, propuestos para la región por FAO.

En CROPWAT 8.0 se trabajó con la opción RAC definiendo los cuatro de los cinco módulos que componen el modelo y que arroja las siguientes variables: ETc y P efec.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la [Tabla 1](#), se muestran las variaciones de los contenidos de humedad del suelo en cada uno de los tratamientos y fechas evaluadas, donde se puede apreciar que en los tratamientos de riego T C y T C+P a los 25 DDS, la humedad del suelo estuvo en el entorno del 100 % de la Capacidad de campo (C.c.) y a los 40 DDS en T C+P la humedad descendió a alrededor del 90 % de la C.c.

A los 25 DDS la humedad fue mayor en TE+P (80 % de la C. c.) con respecto a T E (70 % de la C.c.) y a los 40 DDS los valores de humedad fueron de 60 y 63 % de la C.c. en T E y T E+P, respectivamente.

Este comportamiento evidencia el efecto de los tratamientos de riego en las diferencias de humedad del suelo, así como, un ligero efecto beneficioso de las aplicaciones foliares del bioestimulante en cuanto a la economía del agua por las plantas, cuando estas se encuentran en condiciones de deficiencia hídrica del suelo.

Los resultados del efecto de los diferentes tratamientos de riego y las aplicaciones foliares del bioestimulante en el rendimiento de las plantas y sus componentes, se presentan en la [Tabla 2](#).

Tabla 1. Porcentajes de humedad del suelo a los 25 y 40 DDS en los diferentes tratamientos de riego con y sin aplicaciones del bioestimulante. (Error estándar de la media. $\alpha = 0,05$)

Tratamientos DDS	T C %	T C +P %	T E %	T E+P %	E.s. X
25	38,66 a	34,14 b	25,18 d	29,30 c	0,762 *
40	34,58 a	31,69 a	20,44 c	27, 61 b	0,661 *
Promedio	36,62	32,91	22,81	28,45	

T C con riego al 100 % de la ETc (Control), T C+P (control + aplicaciones foliares)
T E con riego al 50 % de la ETc (estrés) y TE+P (estrés + aplicaciones foliares)

Tabla 2. Componentes del rendimiento de plantas de frijol cultivadas con dos variantes de riego y aplicaciones foliares del bioestimulante. (Error estándar de la media. $\alpha = 0,05$)

Tratamientos Variables	T C	T E	T C+P	T E + P	E. e. X
N.º vainas por planta	7,7 a	4,7 c	6,4 b	5,9 b	0,171 *
N.º granos por vaina	4,6 a	3,4 b	3,7 b	4,2 a	0,112 *
Granos por planta	33,6 a	15,6 c	28,3 b	24,4 b	0,629 *
Masa de 100 granos	18,45	17,48	18,49	17,94	0,636 ns
Rendimiento en g m ⁻²	173,6	76,4	146,4	122,5	estimado
Rendimiento en Kg ha ⁻¹	1736	764	1464	1225	estimado

T C (con riego al 100 % de la ETc (Control), T C+P (control + aplicaciones foliares)

T E con riego al 50 % de la ETc (estrés) y TE+P (estrés + aplicaciones foliares)

En general, los valores mayores de las distintas variables que intervienen en el rendimiento, correspondieron a las plantas de los tratamientos TC y TC+P con diferencias entre ellas en el número de vainas, los granos por planta y el rendimiento en gramos por metro cuadrado.

Es de destacar que, en este tratamiento de riego las aplicaciones foliares del bioestimulante no tuvieron un efecto beneficioso manifiesto en el incremento de la magnitud de estas variables. Sin embargo, al comparar estos valores entre las plantas de TE + P y TE, si se apreció un considerable efecto del bioestimulante, con incrementos en todas las variables que intervienen en el rendimiento.

Indudablemente, la reducción del 50 % del agua aplicada mediante el riego provocó una reducción considerable del rendimiento en g m⁻² y Kg ha⁻¹ (56 %) entre las plantas de TC y TE y (16 %) entre las de TC+P y TE+P, evidenciándose el efecto beneficioso de las aplicaciones del bioestimulante. Es de señalar, que el valor del rendimiento estimado, tanto en las plantas de TC y TC+P se encuentran en el entorno de los rendimientos estudiados (22) que se trabajaron con esta especie en tres momentos de siembra (septiembre, noviembre y enero) y con los cultivares de grano negro "Cuba Cueto 25 N" (1695,8 Kg ha⁻¹) e "ICA PIJAO" (1550,9 Kg ha⁻¹) quienes además señalaron que los mayores rendimientos se obtuvieron en la siembra de septiembre, asociado a la ocurrencia de mayores precipitaciones y temperaturas, coincidiendo (23) que el número y peso de los granos por vaina y más específicamente el número de vainas por planta, son las características que más se afectan en el cultivo del frijol común ante condiciones de deficiencia hídrica del suelo.

En trabajo realizado con el cultivar de frijol negro "Triunfo 70", con el ahorro del 60 % del agua de riego encontraron afectaciones negativas en la respuesta fisiológica de las

plantas a la deficiencia de agua (24). Sin embargo, en cuanto al rendimiento, sólo hallaron disminución en el número de vainas por planta, lo que en este sentido coincide en gran medida con otros estudios (25) quienes trabajando con 100 ejemplares de la especie *Vicia faba* plantean que un estrés hídrico moderado afecta negativamente el número de vainas por planta sin reducir el tamaño de los granos y el número de estos por vaina.

Trabajos realizados en Irán, revelaron el efecto de cuatro tratamientos de riego (25, 50, 75 y 100 %) de los requerimientos de agua del cultivo (RAC) *Vigna radiata* y tres aplicaciones foliares (0-10 y 20) mili Moles (mM) de ácido ascórbico (26), encontraron que el mayor rendimiento (1228 Kg ha⁻¹) correspondió al tratamiento 75 % de RAC y 20 mM de ácido ascórbico.

La huella hídrica mide el volumen de agua utilizada o contaminada en la producción de productos agrícolas, lo que refleja los recursos asignados a la agricultura (12-13). Generalmente se divide en tres componentes: agua azul, verde y gris (11). Comprender estos componentes y sus correlaciones es crucial para la gestión eficaz del agua y las estrategias de conservación.

Los valores acumulados de ET verde y ET azul en los 80 días del ciclo del cultivo (Tabla 3), indican que independientemente de los tratamientos, la contribución del riego (ET azul) a la evapotranspiración del cultivo siempre fue mayor.

La componente gris de la huella hídrica se calculó, según la metodología propuesta y mediante la siguiente expresión:

$$HH_{gris} (m^3 t^{-1}) = \frac{N_{exceso}}{(C_{max} - C_{nat})} \left(\frac{m^3}{t} ha^{-1} \right)$$

Tabla 3. Valores acumulados de la contribución de la lluvia a la evapotranspiración (ET verde) y del riego (ET azul) por tratamientos

Tratamientos Variables	T C	T E	T C+P	T E + P
ET verde (mm)	134,4	134,4	134,4	134,4
	26 %	41 %	26 %	41 %
ET azul (mm)	384,9	192,4	384,9	192,4
	74 %	59 %	74 %	59 %

T C (con riego al 100 % de la ETc (Control), T C+P (control + aplicaciones foliares)

T E con riego al 50 % de la ETc (estrés) y TE+P (estrés + aplicaciones foliares)

Donde N exceso (Kg ha^{-1}) representa la cantidad de nitrógeno que escapa de la rizosfera del cultivo, se asumió como 0,10 atendiendo a diferentes normativas y directivas que coinciden en este valor para el caso del nitrógeno. (ej: EU Nitrates Directive, 91/676/EEC); (Resolução conama n° 357, de 17 de março de 2005). C max representa la concentración de N máxima permitida en la masa de agua receptora y su valor es de $50\text{mg NO}_3 \text{ L}^{-1}$ según la Norma Obligatoria Salvadoreña de Aguas Residuales Descargadas a un Cuerpo Receptor, CONACYT NSO:13.49.01:09, 2009 (27). C nat es la concentración de N existente en la masa de agua receptora antes de realizarse la actividad contaminante, considerada generalmente despreciable en muchos trabajos (=0).

El cálculo de la HH gris fue el siguiente:

$$\begin{aligned} HH \text{ gris} &= 27.5 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \times 0.10 \\ &= 2.75 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} / 50 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1} \\ &= 2.75 / 0.00005 \\ &= 55,000 \text{ L} \cdot \text{ha}^{-1} \quad 55,000 \text{ L} \cdot \text{ha}^{-1} / \\ &\quad (1736 - 764 - 1464 - 1226) \\ &= (31.7 - 72.0 - 37.5 - 44.9) \text{ L} \cdot \text{kg}^{-1} \\ &= (0.02 - 0.072 - 0.037 - 0.045) \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \end{aligned}$$

Lo valores de HH verde, azul, gris y total se presentan en la Tabla 4, donde se encontró que los valores de HH total en las plantas de los tratamientos TC y TC+P fueron muy similares con una diferencia solamente de $0,213 \text{ m}^3 \text{ Kg}^{-1}$, indicando que las aplicaciones foliares de PectiMorf tuvieron un efecto muy ligero en cuanto a la reducción de la HH total cuando las plantas se cultivaron en condiciones de buen abastecimiento hídrico, comportamiento que se corresponde con lo obtenido en el rendimiento.

Por otra parte, las diferencias entre las plantas de los tratamientos TE y TE + P fue de $1,64 \text{ m}^3 \text{ Kg}^{-1}$ demostrándose el efecto beneficioso de estas aplicaciones en cuanto a la reducción de la HH total cuando las plantas se encontraron con menor abastecimiento hídrico.

Resulta válido destacar que los valores menores de HH total correspondieron a las plantas que recibieron las aplicaciones del bioestimulante independientemente del tratamiento de riego, aun cuando presentaron los rendimientos más bajos. También, en este caso se constató que la mayor contribución a la HH total correspondió al aporte por el riego.

En trabajos realizados en el cultivo de habas (*Vicia faba*) (28) se estudiaron dos tratamientos de riego 25 y 50 % del agotamiento admisible por manejo (MAD por sus siglas en inglés) que influyen en la distribución de las HH verde y azul y dos patrones de siembra (hilera sencilla L1 y doble L2) y encontraron que la combinación de riego frecuente (25 % MAD) y una cubierta vegetal más densa (L2) optimizó la transpiración y redujo las pérdidas por evaporación, lo que contribuyó a una huella hídrica más baja ($\sim 0,638 \text{ m}^3 \text{ Kg}^{-1}$). Además, señalaron que una huella hídrica más baja no solo indica una mayor productividad hídrica, sino que también contribuye a prácticas agrícolas más sostenibles y resilientes al clima en regiones donde el agua es escasa.

CONCLUSIONES

- Al analizar el efecto de las dos variantes de riego estudiadas y las aplicaciones foliares del bioestimulante en el cultivo del frijol, se demostró que en condiciones de menor suministro hídrico las aplicaciones foliares del producto tuvieron un efecto beneficioso en cuanto al incremento del rendimiento con valores superiores de número de vainas, número de granos por vaina y granos por planta, variables que definieron el mayor rendimiento.
- Además, este efecto beneficioso se puso de manifiesto también en cuanto a la reducción de la HH total. También se constató que la mayor contribución a la Huella Hídrica total correspondió al riego. Se sugiere continuar las investigaciones en la aplicación en la agricultura de este tipo de productos, dada su importancia para la adaptación o tolerancia de los cultivos al cambio climático, así como, al ahorro de agua y energía.

BIBLIOGRAFÍA

- Shemer H, Wald S, Semiat R. Challenges and Solutions for Global Water Scarcity. *Membranes*. 2023, 13, 612. Available from: <https://doi.org/10.3390/membranes13060612>.
- Wang L, Yan C, Zhang W, Zhang Y. Water Footprint Assessment of Agricultural Crop Productions in the Dry Farming Region, Shanxi Province, Northern China. *Agronomy*. 2024, 14, 546. Available from: <https://doi.org/10.3390/agronomy14030546>.
- Li Z, Feng B, Wang W, Yang X, Wu P y Zhuo L. Spatial and Temporal Sensitivity of Water Footprint Assessment in Crop Production to Modeling Inputs and Parameters. *Agric. Water Manag.* 2022, 271 (1): 107805. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2022.107805>.

Tabla 4. Huella hídrica de plantas de frijol cultivadas en dos variantes de riego y aplicaciones foliares de PectiMorf

Tratamientos	T C	T E	T C+P	T E+ P
Variables				
HH verde ($\text{m}^3 \text{ Kg}^{-1}$)	0,77	1,76	0,92	1,10
HH azul ($\text{m}^3 \text{ Kg}^{-1}$)	2,22	2,52	2,63	1,57
HH gris ($\text{m}^3 \text{ Kg}^{-1}$)	0,02	0,072	0,037	0,045
HH total ($\text{m}^3 \text{ Kg}^{-1}$)	3,80	4,352	3,587	2,715

T C (con riego al 100 % de la ETc (Control), T C+P (control + aplicaciones foliares)
T E con riego al 50 % de la ETc (estrés) y TE+P (estrés + aplicaciones foliares)

4. Tesfaye T, Nayak D. Does participation in non-farm activities provide food security? Evidence from rural Ethiopia. *Cogent Soc Sci*. Tesfaye & Nayak, *Cogent Social Sciences*. 2022, 8: 2108230. Available from: <https://doi.org/10.1080/23311886.2022.2108230>.
5. Pandya A, y Sharma P. Energy and food security through water. *Irrigation and Drainage*, 2022, 71(1), 286-289. Available from: <https://doi.org/10.1002/ird.2691>.
6. Ding B, Zhang J, Zheng P, Li Z, Wang Y, Jia G, y Yu X. Water security assessment for effective water resource management based on multi-temporal blue and green water footprints. *Journal of Hydrology*. 2024, 632, 130761. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2024.130761>.
7. Bosco C, Raspati G S, Tefera K, Rishovd H, Ugarelli R. Protection of water distribution networks against cyber and physical threats: The STOP-IT Approach Demonstrated in a Case Study. *Water*. 2022, 14, 3895. Available from: <https://doi.org/10.3390/w14233895>.
8. Beebe S, Rao I M, Devi M, y Polania J. Common beans, biodiversity, and multiple stress: challenges of drought resistance in tropical soils. *Crop Pasture Sci*. 2014, 65, 667-675. Available from: <https://doi.org/10.1071/CP13303>.
9. Kang J, Hao X, Zhou H, Ding R. An integrated strategy for improving water use efficiency by understanding physiological mechanisms of crops responding to water deficit: Present and prospect. *Agricultural Water Management*. 2021, 255: 107008. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2023.108165>.
10. Zhang Q, Qian H, Xu P, Liu R, Ke X, Furman A, y Shang J. A numerical assessment and prediction for meeting the demand for agricultural water and sustainable development in irrigation area. *Remote Sensing*. 2023, 15 (3), 571. Available from: <https://doi.org/10.3390/rs15030571>.
11. Cao X, Bao Y, Li Y, Li J, y Wu M. Unravelling the effects of crop blue, green and grey virtual water flows on regional agricultural water footprint and scarcity. *Agricultural Water Management*. 2023, 278, 108165. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2023.108165>.
12. Cao X, Zeng W, Wu M, Li T, Chen S-Y, y Wang W. Water resources efficiency assessment in crop production from the perspective of water footprint. *Journal of Cleaner Production*, 2021, 309, 127371. Available from: <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2021.127371>.
13. Deepa R, Anandhi A, y Alhashim R. Volumetric and impact-oriented water footprint of agricultural crops: A review. *Ecological Indicators*. 2021, 130,108093. Available from: <https://doi.org/10.1016/J.ECOLIND.2021.108093>.
14. Champaneri D D, Desai K D, Ahlawat T R, Shrivastava A, y Pampaniya N K. Assessment of CROPWAT 8.0 model accuracy under deficit irrigation scheduling: A sustainable path toward smart water supply. *Water Supply*. 2024, 24 (10), 3423. Available from: <https://doi.org/10.2166/ws.2024.208>.
15. Li Z, Feng B, Wang W, Yang X, Wu P y Zhuo L. Spatial and Temporal Sensitivity of Water Footprint Assessment in Crop Production to Modeling Inputs and Parameters. *Agric. Water Manag.* 2022, 271(1):107805. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2022.107805>.
16. Mukherjee S, Dash P K, Das D, y Das S. Growth, yield and water productivity of tomato as influenced by deficit irrigation water management, *Environmental Processes*. 2023, 10 (1), 10. Available from: <https://doi.org/10.1007/s40710-023-00624-z>.
17. Lara D, Nápoles M C, y Falcón A B. Combinación de diferentes formas de aplicación de PectiMor® en plantas de *Phaseolus vulgaris* L. biofertilizadas. *Ingeniería Agrícola*. 2024, 14 (1). Available from: <https://revistas.unah.edu.cu/index.php/IAgric/article/view/1822>.
18. Rouphael Y, y Colla G. Biostimulants in agriculture. *Frontiers in plant science*. 2020, 11(40), 1-7, ISSN: 1664-462X. Available from: <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00040>.
19. Hernández A, Pérez J, Bosch D, y Castro N. Clasificación de los suelos de Cuba 2015, edit. Ediciones INCA, Mayabeque, Cuba, 2015, p. 93. Available from: https://ediciones.inca.edu.cu/files/libros/clasificacion-sueloscuba_%202015.pdf.
20. Calero-Hurtado A, Perez-Diaz Y, Hurtado YG-P, Olivera-Viciedo D, Pena-Calzada K, Castro Lizazo I, et al. Complementary application of two bioproducts increasing the productivity on common bean. [Internet] *Cultivos Tropicales* 2020, 41(3):e07 Available from: http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S025859362020000300007&script=sci_abstract&lng=en.
21. Hoekstra A Y, Chapagain A K, Aldaya M M, Mekonnen M M. The water footprint assessment manual: setting the global standard. London/Washington DC: Earthscan, 2011. Accessed on: Mar 20, 2021, Available at: https://waterfootprint.org/media/downloads/TheWaterFootprintAssessmentManual_2.pdf.
22. Lamz A, Robert M. Leyva R M, Ortiz R., Cárdenas R M, y Víctor D. Gil V D. 'Odile' nuevo cultivar de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.), rendimiento, adaptabilidad entre épocas y aceptabilidad campesina. *Cultivos Tropicales*. 2021, 42, no. 3, e09. ISSN impreso: 0258-5936. Available from: <https://ediciones.inca.edu.cu/index.php/ediciones>.
23. Dianatmanesh M, Kazemeini S A, Bahrani M J, Shakeri E, Alinia M, Amjad S F, Mansoor N, Pocazi P, Lalarukh I, Abbas M H H. et al. Yield and yield components of common bean as influenced by wheat residue and nitrogen rates under water deficit conditions. *Environ. Technol. Innov.* 2022, 28, 102549. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.eti.2022.102549>.
24. Gómez-Bellot M J, Guerrero L, Yuste J E, Vallejo F, Sánchez-Blanco M J. Identifying bioactive compounds in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) plants under water deficit conditions. *Horticulturae*. 2024, 10, 663. Available from: <https://doi.org/10.3390/horticulturae10070663>.
25. Balko C, Torres A M y Gutierrez N. Variability in drought stress response in a panel of 100 faba bean genotypes. *Front. Plant Sci*. 2023, 14:1236147. Available from: <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1236147>.
26. Jahanbakhshi M, Sadeghi M, Tohidi M, F. Fotouhi F, y Fazlzadeh S A. Efficacy of Ascorbic Acid as a Cofactor to Increase Irrigation Water-Use Efficiency (IWUE) and Mung Bean (*Vigna radiata* L.) Yield. *J. Agric. Sci. Technol*.

- 2024, 26 (3): 593-606. Available from: <https://doi.org/10.22034/JAST.26.3.593>.
27. Norma Obligatoria Salvadoreña de Aguas Residuales. Descargadas a un cuerpo receptor, CONACYT NSO:13.49.01:09, 2009. Available from: <https://osar-tec.gob.sv>
28. Aldulaimy S E, Mohammed H J, Aljoumani B, Salman A K. Water footprint and evapotranspiration partitioning in drip-irrigated Faba bean: Effects of Irrigation Regime and Planting Pattern. *Agronomy*. 2025, 15, 2282. Available from: <https://doi.org/10.3390/agronomy15102282>.