

Indicadores para mejorar la gestión del riego en la empresa agroindustrial Ceballos

Rafael Miguel Pacheco Moya e-mail: rpacheco@uo.edu.cu
Dpto. de Ingeniería Hidráulica. Universidad de Oriente, Santiago de Cuba.

Pável Vargas Rodríguez e-mail: pavelvr@uo.edu.cu
Dpto. de Ingeniería Hidráulica. Universidad de Oriente, Santiago de Cuba.

Oscar Roper Árias e-mail: ep_inform@dcballos.co.cu
Jefe de Explotación. Empresa Agroindustrial Ceballos. Ciego de Ávila.

Pedro Enrique Torres Céspedes e-mail: pedroe.torres@nauta.cu
Adiestrado Empresa Agroindustrial Ceballos. Ciego de Ávila.

RESUMEN

Los recursos hídricos influyen en la producción de alimentos agrícolas y constituyen un factor determinante en la vulnerabilidad a la inseguridad alimentaria que enfrenta el país, sin embargo estos recursos están seriamente amenazados como consecuencia del Cambio Climático. La baja eficiencia en el uso del agua de riego en la agricultura, conlleva a la disminución de las producciones y de la rentabilidad de los procesos asociados. Una herramienta utilizada para aumentar la eficacia en estos procesos son los Indicadores de Gestión. En el presente artículo, se exponen indicadores de rendimiento, con el propósito de contribuir a optimizar el manejo del agua en los procesos agrícolas productivos de la UEB "Producción de Vegetales", perteneciente a la Empresa Agroindustrial Ceballos provincia de Ciego de Ávila.

Palabras clave: eficiencia de riego, Empresa Agroindustrial Ceballos, indicadores de gestión, manejo del agua.

Indicators to improve irrigation management in the Ceballos Agroindustrial Company

ABSTRACT

Water resources influence the production of agricultural food and constitute a determining factor in the vulnerability to food insecurity that the country faces, however these resources are seriously threatened as a consequence of Climate Change. The low efficiency in the use of irrigation water in agriculture leads to a decrease in production and the profitability of associated processes. A tool used to increase efficiency in these processes are Management Indicators. As a result of the investigation, a performance indicators are set out, with the purpose of contributing to optimize water management in the productive agricultural processes of the UEB "Vegetable Production", belonging to the Empresa Agroindustrial Ceballos, in the Ciego de Ávila province.

Keywords: Irrigation efficiency, Empresa Agroindustrial Ceballos, management indicators, water management.

INTRODUCCIÓN

El uso racional y eficiente del agua en la agricultura de regadíos exige indicadores de eficiencia adecuados que propicien el incremento de la productividad, así como la preservación de los recursos naturales implicados en el proceso productivo. Montoya (2017), haciendo referencia a Pulido et al. (2007) señala que la mejora del manejo del agua en una zona regable requiere un análisis de las demandas hídricas para determinar de qué modo pueden ser modificadas y racionalizadas para establecer políticas de manejo más eficientes. Para ello, es importante disponer de información relativa a dichas demandas y tener un conocimiento del complejo agua suelo planta clima (A-S-P-C) de la zona regable, esto permitirá tener una referencia para el diseño, modernización y explotación de los sistemas de distribución del agua para riego (Kadra et al. 2006) citado por (Torres 2019).

Las primeras metodologías para determinar si el aporte de agua se adapta a las necesidades de los cultivos se realizaron mediante el uso de índices de eficiencia (Wolters et al. 1990) para evaluar el manejo del agua de riego y la productividad derivada del mismo. Desde entonces, se han empleado indicadores de gestión, algunos de los cuales tienen en cuenta diferentes parámetros que definen la eficiencia en el riego. Sin embargo, debido a la amplia variedad de indicadores desarrollados, diversos autores han sugerido distintas clasificaciones, atendiendo a la utilidad de cada uno de ellos.

De este modo, los indicadores usados para relacionar el aporte de agua con las demandas del cultivo se agruparon dentro de la categoría de indicadores de adecuación o de rendimiento (Gorantiwar et al. 2005), estos miden la capacidad del sistema para aportar la cantidad de agua requerida por los cultivos y permite analizar cuál es la productividad del agua en una parcela. Existen múltiples formas de presentar y aplicar estos indicadores, por lo que es conveniente adaptarlos a las condiciones que se presentan en cada caso particular.

La gestión sostenible de sus recursos hídricos constituye para Cuba el principal desafío ambiental para garantizar su desarrollo, lo que solo será posible mediante, sobre la base de la eficiencia, el ahorro y su protección (Díaz 2018). El incremento de la producción de alimentos a partir de una agricultura eficiente y sostenible, así como, la sustitución de las importaciones de alimentos transita por la gestión sostenible de los recursos hídricos. Las precipitaciones durante el período seco no son suficientes para obtener un desarrollo adecuado de la mayor parte de los cultivos, de manera que el riego es imprescindible para la obtención de rendimientos agrícolas apropiados. Este período coincide con los ciclos completos de muchos cultivos, por esa razón, la agricultura de regadío es imprescindible para mantener la seguridad alimentaria de la población, su impacto ambiental es negativo si se aplica de forma ignorante e indiscriminada y positivo si se realiza de manera sabia y equilibrada. Una inadecuada explotación de las técnicas de riego ocasiona pérdidas millonarias al país y provoca daños irreparables al medio ambiente como la salinización de los suelos, contaminación de los acuíferos o la degradación de los suelos (Díaz 2018).

La administración de los sistemas de riego se afecta debido al bajo nivel organizativo y técnico que existe en muchos niveles. González et al. (2004) plantea, que la baja eficiencia en la operación de los sistemas de riego constituye uno de los problemas más agudos que afectan a las áreas bajo riego en Cuba, por tal razón, la optimización en el aprovechamiento de los recursos hídricos y energéticos y a la preservación del medio ambiente, adquiere un valor considerable para las zonas irrigadas, así como, el desarrollo de herramientas que contribuyan a la mejora de la eficiencia en el uso de los recursos hídricos y que establezcan con prioridad la utilización de los indicadores con el propósito de lograr un aumento de la productividad.

Para las condiciones de suelo y clima de Cuba no existen publicados indicadores de gestión del agua utilizada en la producción agrícola, que permitan evaluar si los rendimientos obtenidos están en correspondencia con la cantidad de agua utilizada en el riego, cuestión de vital importancia en el contexto actual de cambios en la política económica del país, donde el balance de agua constituye un indicador de peso en la economía. En este sentido, el objetivo del trabajo es caracterizar las áreas de riego de la Unidad Empresarial de Base “Producción de Vegetales” por medio de indicadores de rendimiento, que permitan realizar un diagnóstico de la gestión del agua con el fin de propiciar el incremento de la productividad del agua en los procesos productivos que desarrolla la Empresa Agroindustrial Ceballos.

INDICADORES DE GESTIÓN EN LOS SISTEMAS DE RIEGO

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación (FAO) por sus siglas en inglés, junto a otros Organismos Internacionales, entre ellos el Banco Mundial, lideró la iniciativa para optimizar al máximo las inversiones para el desarrollo y mejora de los sistemas de regadíos en países del tercer mundo; sobre la base de establecer un sistema de indicadores de gestión para la comparación de zonas regables de cualquier parte del mundo y sentó las bases para la aplicación de un proceso de benchmarking a las zonas regables. Este sistema fue desarrollado por el Programa de Riego e Investigación Tecnológica en Riego y Drenaje (IPTRID en sus siglas en inglés) y es de aplicación universal, válido para las zonas regables de todo el mundo pese a las enormes diferencias que existen entre ellas.

El IPTRID propone un conjunto de indicadores de gestión que pretenden caracterizar el entorno y la infraestructura de riego existente. Estos indicadores se pueden dividir en dos grandes grupos (Malano et al. 2001):

- **Indicadores descriptores**, consideran datos relacionados con los siguientes temas: localización, institucionales, socio-económicos, fuente y disponibilidad de agua, tamaño medio de explotación, infraestructura de riego, infraestructura de drenaje, metodología para la aplicación y reparto del agua y sobre los cultivos.
- **Indicadores de gestión**, los cuales se dividen en cinco grupos: indicadores de rendimiento, financieros, de eficiencia en la producción, indicadores energéticos e indicadores ambientales.
 - ✓ **Indicadores de Rendimiento:** Relacionan la disponibilidad de agua con la superficie, necesidades de los cultivos y eficiencia de distribución.
 - ✓ **Indicadores Financieros:** Relacionan los diferentes costes con la superficie y el volumen de agua.
 - ✓ **Indicadores de Eficiencia de Producción:** Relacionan el valor de la producción agrícola con la superficie y el volumen de agua.
 - ✓ **Indicadores Energéticos:** Relacionan el consumo energético con la superficie y el volumen de agua.
 - ✓ **Indicadores Ambientales:** consideran la calidad del agua de riego y los impactos ambientales.

Un indicador de gestión es una magnitud que relaciona variables, y que permite sintetizar la información, de manera que simplifique el análisis y posterior comparación con el resto de zonas regables. Las variables que forman los indicadores están referidas a los factores que intervienen en el proceso de producción agrícola, como pueden ser la superficie regada, el volumen de agua aplicado o incluso aspectos financieros como podría ser el gasto en mantenimiento (Olmedo 2017). Los indicadores de gestión, persiguen optimizar al máximo el manejo de los sistemas de

riego con el objetivo de aumentar la productividad por unidad de superficie, reduciendo al máximo el consumo de agua. La interpretación de los valores obtenidos para cada indicador permite realizar el diagnóstico de una situación, a partir del cual se podrá realizar la toma de decisiones.

CARACTERIZACIÓN DE LA EMPRESA AGROINDUSTRIAL CEBALLOS

La Empresa Agroindustrial Ceballos se encuentra ubicada en la provincia Ciego de Ávila, en el poblado de Ceballos situado a 11 km al Norte de la ciudad Ciego de Ávila, cabecera municipal, en los $21^{\circ} 54' 25''$ de latitud Norte y $78^{\circ} 45' 30''$ de longitud Oeste, en la llanura de Júcaro - Morón, a 55 m de altitud sobre el nivel del mar. Su extensión territorial es de más de 116 km^2 . Limita al Norte, al Este y al Oeste con el municipio de Ciro Redondo, al Sur con los consejos populares Pedro Martínez Brito, Indalecio Montejo y Onelio Hernández, (figura 1).



Figura 1. Poblado Ceballos e Empresa Agroindustrial Ceballos

Al cierre de diciembre de 2018, la empresa contaba con un área bajo riego de 11 082 ha, de ellas 9 176,2 ha (83%) presentan valor de uso y 1 906,1 ha (17%) no poseen valor de uso. De las 9 176,2 ha con valor de uso, el 55,4% está dedicada a las viandas, vegetales y granos, el 23,2% a los frutales, el 8% a los cítricos, el 5,9% al plátano, el 2,7% al arroz, el 1,2% a los pastos y forrajes, el 0,7% al tabaco, el 2,4% a otros cultivos, el 0,3% tiene casas de cultivos, y el 0,1% tiene presencia de huertos y organopónicos.

Por otro lado, de las 9 176,2 ha con valor de uso, el 57% tiene riego por gravedad, el 24,7% tiene riego localizado por goteo, el 12% tiene riego por aspersión, el 3,6 % tiene pivotes eléctricos y el 2,7% tiene riego localizado por microaspersión.

Caracterización de la Unidad Empresarial de Base (UEB) Producción de Vegetales

Para comenzar el estudio de indicadores de gestión en la “Empresa Agroindustrial Ceballos” se seleccionó la Unidad Empresarial de Base (UEB) “Producción de Vegetales”, con el fin de realizar un diagnóstico a la gestión del agua de riego por solicitud de los directivos de la empresa. La UEB, se encuentra situada en la carretera de Ceballos km.12½ y pertenece al esquema de la empresa. La misma está organizada en 11 unidades de producción y una mini

industria. El área total es de 58,87 ha y cuenta con 310 casas de cultivo dedicadas a la producción de hortalizas y vegetales protegidos y siete casas de cultivo destinadas a la producción de posturas en cepellón cada una con un área de 0,38 ha.

Para la aplicación de los indicadores de gestión en la UEB, fueron seleccionadas tres unidades de producción (1, 2, 3), debido a la calidad de la información mensual de los registros para el análisis del riego y la energía de la empresa. La tabla 1 muestra una descripción de cada una de las unidades seleccionadas.

La figura 2 muestra la evolución de los cultivos en cada una de las unidades de producción durante las campañas de riego 2017 y 2018. Los cultivos con presencia en las tres unidades son el pepino y el tomate con una superficie regable de 1068.6 ha y 2651.1 ha respectivamente. El pimiento, la remolacha y el melón tienen presencia en dos unidades con una superficie regable de 1242,0 ha, 46,6 ha y 504,7 ha respectivamente. Los restantes cultivos tuvieron cosecha en una sola unidad.

En la unidad 1, el cultivo predominante en las dos campañas de riego fue el tomate, ocupando un 50,7% de la superficie regable; siguiendo en orden de importancia el pepino con un 27,9% y el pimiento con un 19,4%. Otros cultivos presentes en la unidad son el quimbombó con un 0,4%, la remolacha con un 0,25%, la habichuela con un 0,23% y la berenjena con un 1,14%.

Tabla 1. Descripción de cada una de las unidades de producción

Descripción	Unidad 1	Unidad 2	Unidad 3
Localización (Provincia, municipio)	Ciego de Ávila, Ceballos	Ciego de Ávila, Ceballos	Ciego de Ávila, Ceballos
Tipo de suelo predominante	Ferralítico rojo muy profundo	Ferralítico rojo muy profundo	Ferralítico rojo muy profundo
Técnica de riego	Localizado	Localizado	Localizado
Tamaño			
Superficie total (ha)	17,14	13,35	11,95
Áreas de las casas (ha)	5,09	5,35	4,67
Cantidad de casas	46	46	39
Fuente y disponibilidad del agua			
Fuente del agua	Subterránea	Subterránea	Subterránea
Disponibilidad de agua	Suficiente	Suficiente	Suficiente
Sector hidrológico	CA - I -5	CA - I -5	CA - I -5
Estación de bombeo (n° bombas)	2	1	1
No. equipos	RH: 247 y RH: 5002	RH: 5003	RH: 5030
Caudal (L/s)	42 y 25	15.5	5.5

En la unidad 2, el cultivo predominante en las dos campañas de riego fue el pimiento, ocupando un 36,7% de la superficie regable, siguiendo en orden de importancia el tomate con un 35,1%, el pepino con un 16,2 % y el melón con un 10,34%. Otro cultivo presente en la unidad es la remolacha con 1,6%. Con relación a la unidad 3, el cultivo predominante en las dos campañas de riego fue el ají picante, ocupando un 43,08% de la superficie regable, siguiendo en orden de importancia el tomate con un 38,6%, el pepino con un 10,6 % y el melón con un 7,7%.

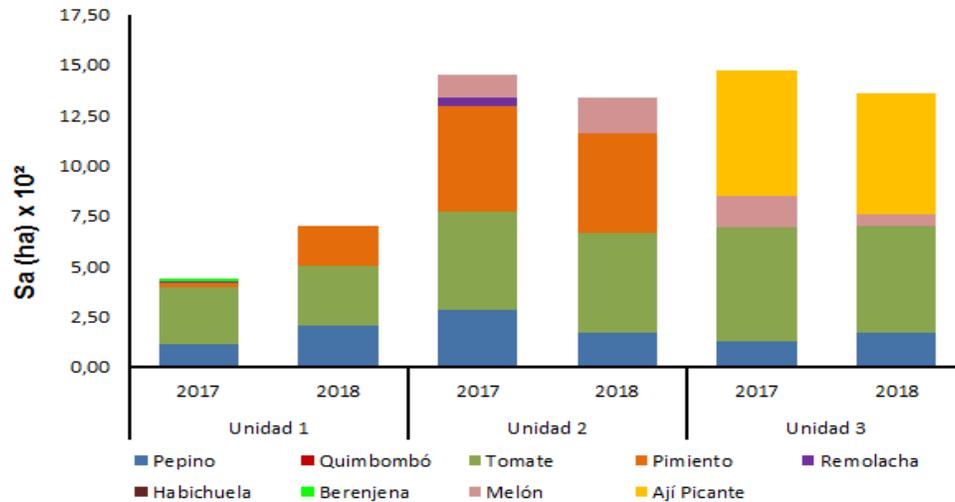


Figura 2. Evolución de los cultivos en las tres unidades

INDICADORES DE GESTIÓN UTILIZADOS EN LA EMPRESA AGROINDUSTRIAL CEBALLOS

Los indicadores de gestión empleados en el presente estudio, se adaptaron a los desarrollados por el IPTRID (Malano et al. 2001), con el objetivo de adecuarlos, de la mejor forma posible, a las unidades de riego de la UEB “Producción de vegetales”. De acuerdo a la información brindada por la empresa, solamente se obtendrán los indicadores de rendimiento que relaciona la disponibilidad de agua con la superficie, necesidades de los cultivos y la capacidad máxima de suministro de la red (tabla 2).

Tabla 2. Descripción y método de cálculo de los indicadores de gestión empleados

Nombre del indicador y acrónimo	Unidad	Clasificación	Descripción y cálculo
Volumen de agua que entra al sistema (V_T)	m^3	De rendimiento	Volumen de agua de riego que entra al sistema.
Volumen de agua suministrado (V_s)	m^3	De rendimiento	Volumen de agua de riego suministrado a las explotaciones agrícolas. Es el volumen facturado a los regantes en base a las lecturas de los contadores instalados.
Volumen de agua al que la zona tiene derechos (V_r)	m^3	De rendimiento	Volumen de agua sobre el que la zona tiene derechos (Demanda anual).
Garantía de suministro (S_g)	%	De rendimiento	(V_T/V_r) Relación entre la cantidad de agua que entra al sistema y el volumen sobre el que se tiene derecho.
Eficiencia de distribución (ED)	%	De rendimiento	(V_s/V_T) Representa las pérdidas de distribución de agua en el sistema.
Intensidad de cultivo (S_r/S_a)	%	De rendimiento	Representa en % la superficie que se está regando en la unidad de producción respecto a la superficie regable.
Suministro de agua por unidad de área regada (V_s/S_r)	$m^3 \text{ ha}$	De rendimiento	V_s/S_r
Suministro de agua por unidad de área regable (V_s/S_a)	$m^3 \text{ ha}$	De rendimiento	V_s/S_a
Suministro Relativo de Agua de Riego (RIS)	-	De rendimiento	$V_s/(ET_c - P_{ef})$

Obtención de las variables que intervienen en el cálculo de los indicadores de rendimiento. Superficie regable (S_a ; ha) y Superficie regada (S_r ; ha)

En el año 2018 la superficie regable (S_a) y regada (S_r) de la unidad 1 fue de 716,17 ha y 700,79 ha respectivamente, lo que representó un aumento entre un 41% y un 45% respecto al año anterior (tabla 3). Este incremento se debió al aumento de las áreas de algunos de los cultivos sembrados como el tomate, pepino y pimiento; y la incorporación de otros como habichuela, remolacha y berenjena. En ese mismo año, de la superficie regada el 0,4% estaba dedicado al cultivo de la remolacha, el 0,37% a la habichuela, el 29,32% al pepino, el 27,65% al pimiento, el 42,6% al tomate y el 1,8% a la berenjena (figura 3).

Tabla 3. Superficie regable y regada de cada unidad de producción

Variable	UM	Unidad 1		Unidad 2		Unidad 3	
		2017	2018	2017	2018	2017	2018
Superficie regable (S_a)	ha	420,82	716,17	1451,80	1329,95	1471,45	1355,75
Superficie regada (S_r)	ha	384,19	700,79	1380,46	1267,32	1393,77	1319,71

En la unidad 2, la superficie regable (S_a) y regada (S_r) en el 2018 descendió entre un 8.4% y un 8,2 % respectivamente con respecto al año anterior. Este descenso se debió a que disminuyó las áreas de algunos de los cultivos sembrados como el pepino y el pimiento, y no se sembró remolacha. En ese mismo año, de la superficie regada el 13,6% estaba dedicado al melón, el 12,7% al pepino, el 36,02% al pimiento y 37,6% al tomate (figura 3).

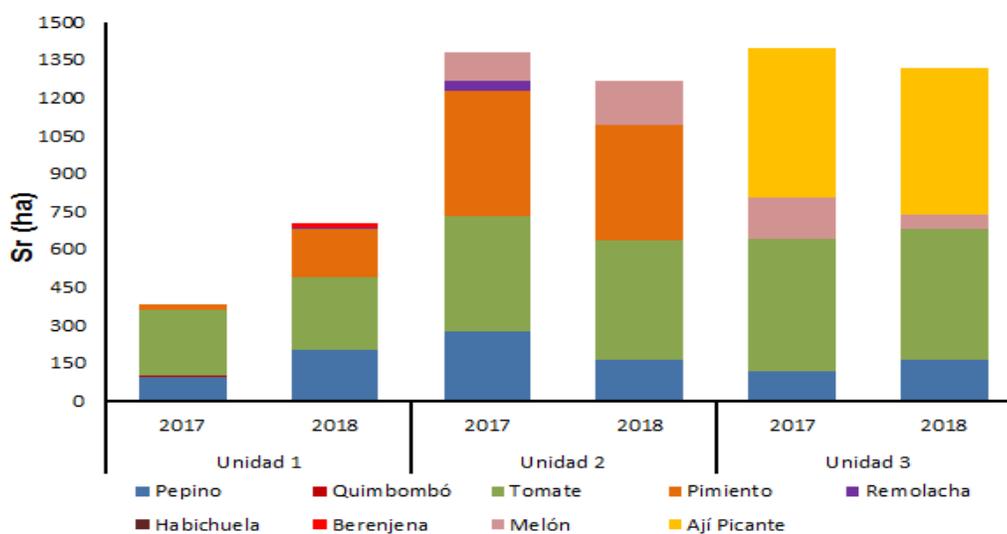


Figura 3. Evolución de la superficie regada en cada una de las unidades

Con relación a la unidad 3, la superficie regable (S_a) y regada (S_r) en el 2018 también descendió entre un 7,9% y un 5,3 % respectivamente con respecto al año anterior, debido a que disminuyó las áreas de algunos de los cultivos sembrados como el melón, el ají picante y el tomate. En ese mismo año, de la superficie regada el 4,3% estaba dedicado al melón, el 12,5% al pepino, el 44,2% al ají picante y 38,9% al tomate.

Evapotranspiración de los cultivos (ET_c).

Se empleó la metodología propuesta por el Comité de Consultores de la FAO en 1998. En el caso de los sistemas de riego por goteo para estimar ET_c , el valor de la evapotranspiración del cultivo de referencia se corrige por los coeficientes que se describen a continuación:

$$ET_c = ET_o * K_C * K_L * K_A * K_{VC} \quad (1)$$

Donde:

K_C : Coeficiente de cultivo.

K_L : Coeficiente de localización.

K_A : Coeficiente de advección.

K_{VC} : Coeficiente de variabilidad climática.

ET_o : Evapotranspiración del cultivo de referencia (mm). La tabla 4 muestra los valores promedio de ET_o , aportados por el Instituto de Meteorología en Ciego de Ávila.

Tabla 4. Valores promedio de la demanda evaporativa de los cultivos (mm/d)

Decenas	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic	Media
1	5,7	6,4	7,7	8,9	9,0	6,8	8,4	9,0	7,2	6,5	5,7	5,5	7,23
2	5,6	6,4	7,9	9,2	8,7	7,1	8,7	9,0	7,6	5,7	5,6	5,5	7,25
3	6,6	6,2	9,2	9,7	7,9	7,9	9,2	8,5	6,4	8,3	5,3	5,7	7,58
Medio	5,97	6,33	8,27	9,27	8,53	7,27	8,77	8,83	7,07	6,83	5,53	5,57	7,35

Para obtener el coeficiente de cultivo (K_c), fue necesario calcular tres valores de K_c a partir de las etapas de desarrollo fisiológico del cultivo; etapa inicial ($K_{c-*inic*}$), etapa media ($K_{c-*med*}$), y etapa final ($K_{c-*final*}$), de los tres valores se debe tomar el mayor obtenido para el cultivo más exigente. A continuación, se expone las ecuaciones para el cálculo del K_c por etapas.

$$K_{c_{inic}} = K_{c_{inic}}(fig4) + \left(\frac{DR-10}{40-10}\right) * (K_{c_{inic}}(fig 4a \text{ ó } 4b) - K_{c_{ini}}(fig 4)) \quad (2)$$

$$K_{c_{med}} = K_{c_{med}}(Tabla 5) + (0.04 * (V_v - 2) - 0.004 * (HR_{mín} - 45)) * (h / 3)^{0.3} \quad (3)$$

$$K_{c_{fin}} = K_{c_{fin}}(Tabla 5) + (0.04 * (V_v - 2) - 0.004 * (HR_{mín} - 45)) * (h / 3)^{0.3} \quad (4)$$

Donde:

DR : Dosis de riego (mm)

V_v : velocidad del viento (m/s)

$HR_{mín}$: Humedad relativa mínima (%)

h : altura del cultivo (m)

Para determinar el valor promedio de K_c en la etapa inicial con ayuda de las figuras 4 y 5 hay que relacionar el nivel de ET_o con el intervalo entre eventos de humedecimiento.

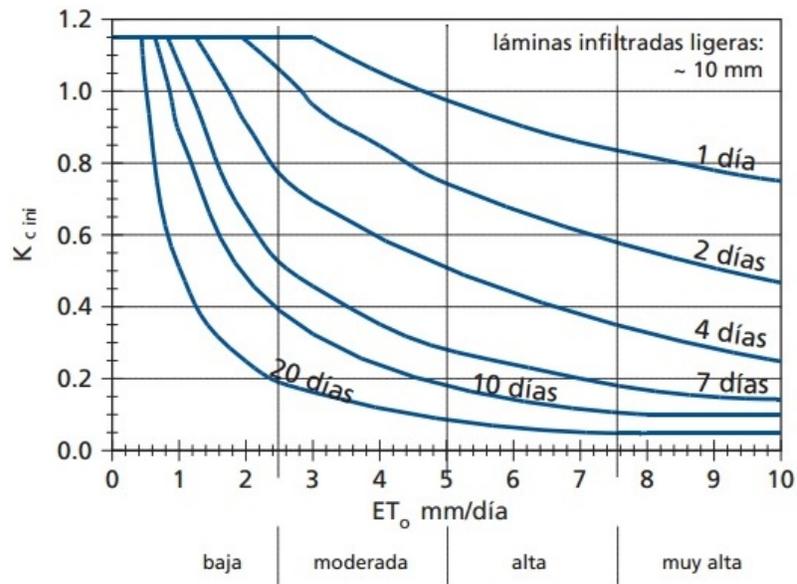


Figura 4. $K_{c\ ini}$ Para todo tipo de suelo con láminas de (3-10mm por evento). Allen et al. 1998.

Para la estimación del K_c inicial se debe partir de conocer un valor aproximado de la dosis de riego que se va a aplicar:

- Si $DR \leq 10$ mm el valor de K_c se obtiene directamente de la figura 4 independientemente de la textura del suelo.
- Si $DR \geq 40$ mm el valor de K_c se obtiene directamente de la figura 5 en función de la textura del suelo.
- Si $10 \text{ mm} < DR < 40$ mm, entonces el valor de K_c inicial se obtiene por interpolación por medio de (1,2)

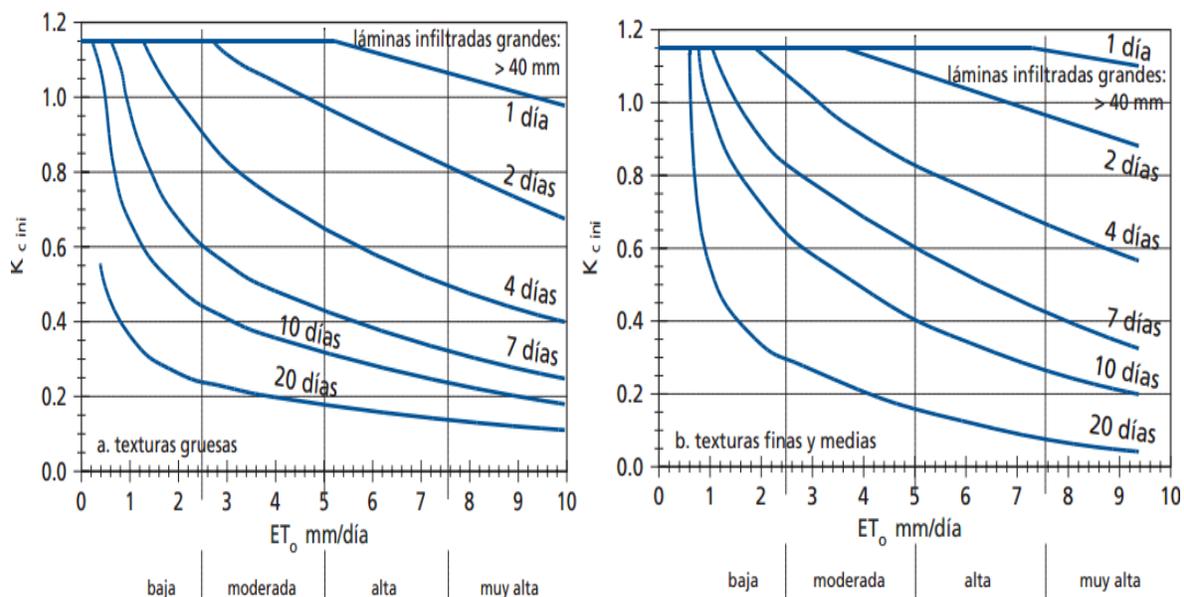


Figura 5. $K_{c\ ini}$ relacionado con el nivel de ET_0 y el intervalo entre riegos con láminas ≥ 40 mm. Allen et al. 1998.

Los valores de K_{cmed} , K_{cfin} y la altura del cultivo (h) son valores estándar para cultivos bien manejados en climas subhúmedos (humedad relativa mínima 45% y velocidad del viento 2 m/s) para ser usado en la ecuaciones 3 y 4 (tabla 5).

Tabla 5. Valores de K_{cmed} , K_{cfin} , y h .

Cultivo: Hortalizas Pequeñas	K_{cmed}	K_{cfin}	Altura máx. Cultivo(h) (m)
Zanahoria	1,05	0,95	0,3
Ajo	1,00	0,70	0,3
Cebolla	1,00	1,00	0,3
b. Hortalizas – Familia de las Solanáceas	1,5	0,8	
Berenjena	1,05	0,9	0,8
Pimiento	1,05	0,9	0,7
Tomate	1,05	0,7 – 0,9	0,6
c. Hortalizas – Familia de las Cucurbitáceas	1,00	0,8	
Melón	0,85	0,6	0,3
Pepino – cosechado fresco	1,00	0,75	0,3
Pepino – cosechado a Maquina	1,00	0,90	0,3
Melón dulce	1,05	0,75	0,4
Sandía	1,00	0,75	0,4
d. Raíces y tubérculos	1,10	0,95	
Remolacha	1,05	0,95	0,4
Yuca	0,80	0,30	1,00
Papa	1,15	0,74	0,6
Fuente: Allen et al. 1998.			

El coeficiente de localización del cultivo (K_L) se determina gráficamente como el cociente del área vital del cultivo y el área del marco de siembra, cuando se trata de cultivos extensivos los cuales no tienen copa definida, el riego se efectúa con cobertura total, esto infiere que se asuma ($K_L=1$) para no afectar las necesidades netas del cultivo.

De acuerdo con Pizarro (1990), el coeficiente de advección (K_a) depende del tamaño de la superficie irrigada y el tipo de cultivo, para las condiciones de estudio se asume $K_a = 1$ para no afectar las necesidades del cultivo ya que este factor tiene en cuenta que esa gran masa vegetativa hace variar la temperatura y las necesidades hídricas del cultivo. Keller (1990) proponen incrementar el valor de la ET_c entre el 15 y el 20% por concepto de variabilidad climática de la Evapotranspiración, se asume un valor de $K_{vc} = 1,15$.

VALORACIÓN DEL CÁLCULO DE LOS INDICADORES EN LAS TRES UNIDADES DE PRODUCCIÓN

Los indicadores obtenidos han permitido conocer el comportamiento en cuanto a la eficiencia en el uso de agua de las unidades de producción, y proporcionar información importante para corregir condiciones desfavorables que se hayan llevado a cabo durante las dos campañas de riego analizadas. En la valoración de cada una de las unidades de producción se tuvieron en cuenta 7 indicadores de rendimiento: Volumen de agua de riego suministrado (V_s), Volumen de agua al que la zona tiene derechos (V_r), Garantía de suministro (S_g), Intensidad de cultivo ($S_r S_a$), Suministro de agua por unidad de área regada ($V_s S_r$), Suministro de agua por unidad de área regable ($V_s S_a$) y Suministro Relativo de Agua de Riego (RIS).

La tabla 6 muestra los indicadores de rendimiento de las tres unidades analizadas de la UEB “Producción de Vegetales”. En el indicador (S_g), se evidencia un comportamiento inestable en

las tres unidades, no se logra alcanzar el 100% debido a la fuerte variación de los volúmenes de agua (V_s y V_r) de una campaña a otra y dentro de una misma campaña (figura 6). En la unidad 1 campaña 2017, el V_s decrece con relación al V_r un 77,5% (RH-247) y un 54,9% (RH-5002); en la campaña 2018, aumenta un 41,6% (RH-247) y un 60,2% (RH-5002). En la unidad 2, el V_s decrece en relación al V_r un 33,4% en la campaña 2017 y un 26,6% en la campaña 2018. En la unidad 3, el V_s se incrementa con respecto al V_r un 18,2% en la campaña 2017 y decrece un 5% en la campaña 2018. Esta irregularidad en el indicador, se debe a una mala gestión de los volúmenes de agua de riego.

Con respecto al indicador intensidad de cultivo ($S_r S_a$) se considera bajo en las tres unidades por ser menor del 100%. Sin embargo, se alcanzan valores entre el 95% y 98% en las tres unidades, debido a la poca variación de las áreas. Los valores más bajos se encuentran en la unidad 1, en el año 2017 debido a la disminución del área regada (RH-247: 9,8% y RH-5002: 6,0%).

Tabla 6. Principales indicadores de rendimiento de las tres unidades.

Indicadores de Rendimiento	Unidad 1				Unidad 2		Unidad 3	
	2017		2018		2017	2018	2017	2018
	RH 247	RH 5002	RH 247	RH 5002				
S_a (ha)	301,12	119,7	559,09	157,08	1451,80	1329,95	1471,45	1355,75
S_r (ha)	271,55	112,64	548,63	152,16	1380,46	1267,32	1393,77	1319,71
V_s (m ³)	17255,6	6390,2	63682,4	17323,0	66766,06	51515,62	81149,03	69805,94
V_r (m ³)	76586,0	14166,9	37177,3	6898,2	100258,2	70128,39	66408,27	73498,48
S_g (%)	23	45	171	251	67	73	122	95
$S_r S_a$ (%)	90	94	98	97	95	95	95	97
$V_s S_r$ (m ³ ha)	63,5	56,7	116,1	113,8	48,37	40,65	58,22	52,89
$V_s S_a$ (m ³ ha)	57,3	53,4	113,9	110,3	45,99	38,74	55,15	51,49
RIS	0,72	0,65	1,28	1,28	0,55	0,47	0,69	0,63

En el caso de los indicadores suministro de agua por unidad de área regada ($V_s S_r$) y área regable ($V_s S_a$), la mayor inestabilidad se presenta en la unidad 1, debido al incremento del volumen de agua suministrado de un año a otro (RH-247: 72,9% y RH-5002: 63,1%). En las restantes dos unidades los valores disminuyen de un año a otro debido a la reducción del V_s (unidad 2: 22,8% y unidad 3: 14%). Por otro lado, el RIS de las unidades 2 y 3 muestran valores inferiores a 0,9 en las dos campañas de riego analizadas, lo que indica que el $V_s S_r$ no cubre las necesidades hídricas de los cultivos, produciéndose por tanto un riego deficitario. En la unidad 1 el RIS muestra valores muy variables, en la campaña 2017 se produce riego deficitario; sin embargo en la campaña 2018 se produce riego en exceso, confirmando lo analizado en el indicador $V_s S_r$.

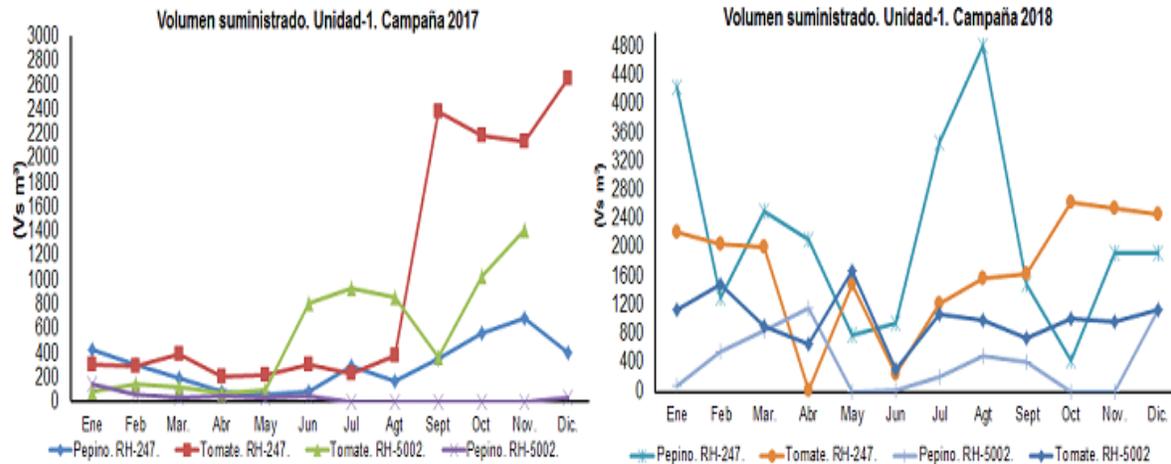


Figura 6. Volumen de agua suministrado a los cultivos de pepino y tomate, unidad 1.

CONCLUSIONES

Los indicadores de rendimiento estudiados permitieron caracterizar la red de riego existente, la superficie puesta en riego y la relación existente con el agua empleada, así como el manejo que la UEB realizan de los sistemas de riego y cómo se satisfacen las necesidades hídricas de los cultivos existentes.

Los análisis del comportamiento de la eficiencia en cuanto al uso del agua en las tres unidades de producción estudiadas evidencian una mala estrategia en la planificación del agua de riego, ya que existe una fuerte variación de los volúmenes de agua de riego en una misma campaña y de una campaña a otra.

Se produce riego deficitario en las unidades 2 y 3, debido a que el indicador RIS muestra valores inferiores a 0.9; lo cual indica que el V_s/S_r no cubre las necesidades hídricas de los cultivos. Sin embargo, en la unidad 1 el comportamiento es variable, en la campaña 2017 se produce riego deficitario y en la campaña 2018 se produce riego en exceso.

El conjunto de indicadores obtenidos proporciona información importante para que los directivos de la empresa corrijan las condiciones desfavorables que se han llevado a cabo durante las dos campañas de riego analizadas con el objetivo de tomar medidas para mejorar la eficiencia en campañas posteriores.

REFERENCIAS

- Allen R., Pereira L., Raes D. y Smith M. (1998). “Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos”. FAO 56. Roma, Italia. ISSN 0254-5293.
- Díaz J. (2018). “El agua en Cuba: Un desafío a la sostenibilidad”. Revista de Ingeniería Hidráulica y Ambiental, Volumen XXXIX, No. 2, p. 46-59. La Habana, Cuba. ISSN 1815–591X.
- González P., Cisneros E., Placeres Z. y Quintana E. (2004). La eficiencia institucional: factor de gran peso en la eficiencia global de los sistemas de riego y drenaje. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, Vol. 13, No. 4. La Habana, Cuba. ISSN: 1010-2760.
- Gorantiwar S. D. and Smouth I. K. (2005). “Performance assessment of irrigation water management of heterogeneous irrigation schemes: A framework for evaluation”. Irrigation and

- Drainage Systems 19(1), pp. 1-36. Publisher: Springer Netherlands Country: Netherlands. ISSN: 0168-6291
- Kadra R. and Lamaddalena N.** (2006). "A simulation model to generate the demand hydrographs in large-scale irrigation systems". Biosystems Engineering, 93 (3), pp. 335-346. United States. ISSN: 1537-5110.
- Keller J. and Bliesner R. D.** (1990). "Sprinkler and Trickle irrigation". AVI Book Van Nostrand Reinhold. New York. EE.UU. ISBN 978-1-4757-1427-2.
- Malano H. and Burton M.** (2001). "Guidelines for benchmarking performance in the irrigation and drainage sector". International Programme for Technology and Research in Irrigation and Drainage. FAO, Rome, Italy. ISBN: 92-5-104618-2.
- Montoya I.** (2017). Propuesta de indicadores para la gestión sostenible del agua de riego en la agricultura cubana. Tesis en opción al título de Ingeniera Hidráulica. Universidad de Oriente, Departamento de Ingeniería Hidráulica, Santiago de Cuba, Cuba.
- Olmedo V. M.** (2017). "Determinación de indicadores de gestión en los módulos del distrito de riego No. 041 río Yaqui (Sonora México)", Tesis doctoral. Universidad de Córdoba, Departamento de Agronomía, España.
- Pizarro F.** (1990). "Riego Localizado de Alta Frecuencia: Goteo, Microaspersión y Exudación". Ediciones. Agrícola, 2da Edición. Madrid. ISBN: 84-7114-171-X.
- Pulido C., Montesinos P., Roldán J. and Ruiz N.** (2007). "Linear regressions and neural approaches to water demand forecasting in irrigation districts with telemetry systems". Biosystems Engineering, 97(2), pp. 283-293. ISSN: 1537-5110.
- Torres P. E.** (2019). Propuesta de indicadores para mejorar la gestión del agua de riego en la Empresa Agroindustrial Ceballos. Tesis en opción al título de Ingeniero Hidráulico. Universidad de Oriente, Departamento de Ingeniería Hidráulica, Santiago de Cuba, Cuba.
- Wolters W. and Bos M.** (1990). "Irrigation performance assessment and irrigation efficiency". Annual report, International Institute for Land Reclamation and Improvement, Wageningen. Netherlands. ISBN 90-70260-875

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses.

Contribución de los autores

Rafael Miguel Pacheco Moya

<https://orcid.org/0000-0001-7053-3791>

Realizó la interpretación de los datos. Ejecutó el diseño de la investigación, obtuvo los indicadores de rendimiento, análisis de los resultados, en la revisión y redacción del informe final.

Pavel Vargas Rodríguez

<https://orcid.org/0000-0003-3316-0898>

Realizó la interpretación de los datos, análisis de los resultados, en la revisión y redacción del informe final.

Oscar Roper Árias

<https://orcid.org/0000-0002-0249-5612>

Confeccionó la base de datos necesaria para el cálculo de los indicadores de rendimiento, realizó la interpretación de los datos.

Pedro Enrique Torres Céspedes

<https://orcid.org/0000-0003-2763-7469>

Confeccionó la base de datos necesaria para el cálculo de los indicadores de rendimiento, obtuvo los indicadores de rendimiento, realizó la interpretación de los datos.