

## INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD PARA EL USO DEL AGUA EN SISTEMAS DE RIEGO

## SUSTAINABILITY INDICATORS FOR THE USE OF WATER IN IRRIGATION SYSTEMS

**Autores:** Isaí Álvarez Sevilla<sup>1</sup>

Oscar Brown Manrique<sup>2</sup>

Erika Paola del Cid Colindres<sup>3</sup>

**Institución:** <sup>1</sup>Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE), Guatemala

<sup>2</sup>Universidad de Ciego de Ávila Máximo Gómez Báez, Cuba

<sup>3</sup>Ecosoluciones Integrales S.A., Guatemala

**Correo electrónico:** [aisaithomas2002@gmail.com](mailto:aisaithomas2002@gmail.com)

[obrown@unica.cu](mailto:obrown@unica.cu)

[epdelcid@gmail.com](mailto:epdelcid@gmail.com)

### RESUMEN

Los indicadores ayudan a los investigadores a tomar decisiones acertadas para reducir la incertidumbre sobre los fenómenos que se evalúan y favorecen al bienestar de la naturaleza, la sociedad y el medio ambiente; en tal sentido, se desarrolló una investigación en la cuenca del río Suchiate en la parte correspondiente a Guatemala, con el objetivo de determinar los indicadores relacionados con la sostenibilidad en el uso del agua en el riego de los cultivos de maíz y frijol. Los resultados alcanzados demostraron que, bajo las condiciones de suelo y clima de la zona estudiada, los indicadores Suministro Relativo de Agua por Precipitaciones, Suministro Relativo de Agua y Suministro Relativo de Agua de Riego revelan que la gestión del agua es excesiva; sin embargo, la precipitación pluvial contribuye a la gestión sostenible del agua en la cuenca.

**Palabras claves:** Gestión del agua, Precipitación efectiva, Productividad del agua.

### ABSTRACT

Indicators help researchers to make sound decisions to reduce uncertainty about the phenomena that are evaluated and favor the well-being of nature, society and the environment; In this sense, an investigation was carried out in the Suchiate river basin in the part corresponding to Guatemala, with the objective of determining the indicators related to the sustainability of the use of water in the irrigation of corn and

bean crops. The results achieved showed that, under the soil and climate conditions of the studied area, the Relative Water Supply by Precipitation, Relative Water Supply and Relative Irrigation Water Supply indicators reveal that water management is excessive; however, rainfall contributes to sustainable water management in the basin.

**Keywords:** Effective precipitation, Water management, Water productivity.

## INTRODUCCIÓN

Los indicadores son herramientas que ayudan a simplificar, cuantificar, analizar y comunicar información a los diferentes niveles de la sociedad sobre fenómenos complejos, con el propósito de reducir el nivel de incertidumbre en la elaboración de estrategias y acciones referentes al desarrollo y al medio ambiente; lo que permite una mejor definición de las prioridades y urgencias (Adriaanse, 1993).

Dentro de los indicadores de riego se pueden mencionar los tres siguientes: el Suministro Relativo de Agua; el Suministro Relativo de Agua de Riego y el Suministro Relativo de Agua por Precipitaciones. Estos indicadores permiten evaluar la gestión agronómica en la zona regable a partir de las necesidades hídricas de los cultivos con datos climáticos que provienen de la estación meteorológica ubicada dentro de la zona regable (Roldán et al., 2010).

El indicador Suministro Relativo de Agua muestra la relación entre el agua que entra en el sistema (precipitación y riego) y el agua requerida (evapotranspiración y necesidades de lavado) y se calcula como el cociente entre la cantidad de agua disponible o utilizada y la cantidad de agua necesaria para la producción (Levine, 1982). El análisis de este parámetro permite conocer si la cantidad total de agua (riego y precipitaciones) con la que ha contado el cultivo durante su ciclo de crecimiento ha sido excesiva, suficiente o escasa (Rodríguez, 2002). Este sirve de base para un estudio comparativo y de análisis en zonas regables de diferentes regiones con distintas características.

El indicador Suministro Relativo de Agua de Riego relaciona el volumen de agua distribuido para riego a los usuarios durante la campaña agrícola, con el volumen de agua de riego necesario por el cultivo a lo largo de su ciclo de vida (Perry, 1996) e informa sobre la calidad del riego aplicado al relacionar la cantidad de agua demandada con las necesidades netas de agua, ya que evidencia si el agricultor ha

tenido en cuenta la evapotranspiración del cultivo y los requerimientos de lixiviación al usar un determinado volumen de agua.

Los indicadores Suministro Relativo de Agua y Suministro Relativo de Agua de Riego aportan información sobre la condición de escasez o exceso de agua y de cómo se ajusta el agua aplicada con la demandada (Molden et al., 1998). El indicador más importante es el Suministro Relativo de Agua de Riego ya que es el que permite interpretar el manejo del riego que realiza el agricultor. A partir de lo anteriormente expuesto, el objetivo de este trabajo consiste en determinar los indicadores relacionados con la sostenibilidad en el uso del agua en sistemas de riego.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en la cuenca del río Suchiate en la parte correspondiente a Guatemala. Se seleccionó la subcuenca “Confluencia Negros-Sin Nombre1”, en la cual el área destinada para la actividad agrícola ocupa una superficie total de 18,41 km<sup>2</sup> y predominan los cultivos destinados a los cultivos de café (85 %), hule (10 %), pastos cultivados (2 %), maíz (2,7 %) y frijol (1,3 %); pero el riego sólo se realiza en estos dos últimos cultivos y se emplea el riego por gravedad con una eficiencia de 40 % según Avendaño, (2007).

En la subcuenca el suelo predominante es el de la serie Suchitepéquez (Sx) que ocupa el 67 % del área. Este tipo se correlaciona con un Alisol de la WRB (IUSS, 2007). Sus propiedades hidrofísicas fundamentales son las informadas por Álvarez (2019) según estudios realizados en esa área.

Los indicadores de sostenibilidad para el uso del agua en la irrigación: Suministro Relativo de Agua por Precipitaciones; Suministro Relativo de Agua y Suministro Relativo de Agua de Riego se estimaron según Roldán et al. (2010) como:

$$SRP = \frac{P}{ET_c} \quad (1)$$

$$SRA = \frac{L_b + P}{ET_c} \quad (2)$$

$$SRR = \frac{L_b}{ET_c - P} \quad (3)$$

Donde SRP es el indicador Suministro Relativo de Agua por Precipitaciones; SRA el

indicador Suministro Relativo de Agua; SRR el indicador Suministro Relativo de Agua de Riego;  $L_b$  la lámina de riego bruta (mm);  $P$  la precipitación (mm);  $ET_c$  la evapotranspiración del cultivo (mm). La lámina de riego bruta y la evapotranspiración del cultivo se calcularon según Álvarez et al. (2021). La gestión del riego a partir de estos indicadores se clasificó según Roldán et al. (2010) para cada cultivo en tres categorías: deficitaria ( $> 0,80$ ), adecuada ( $0,80 - 1,0$ ) y en exceso ( $> 1,0$ ).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El aprovechamiento sostenible de los recursos hídricos en una cuenca hidrográfica constituye un aspecto estratégico para alcanzar la viabilidad de los proyectos de irrigación, para ello en este trabajo se estudiaron diferentes indicadores para evaluar la gestión del agua en las actividades de riego agrícola.

En las Figuras 1, 2 y 3 se muestran los resultados de los indicadores de sostenibilidad para el uso del agua en el riego del cultivo del maíz. En la Figura 1 se observa que el indicador Suministro Relativo de Agua por Precipitaciones (SRP) contribuye mediante la precipitación pluvial a la gestión sostenible del agua en la cuenca; pues en los meses de febrero y marzo se cubre el 70 % de los requerimientos hídricos del cultivo y en los meses de abril y mayo el aporte de las lluvias cubre el 100 % de las necesidades de agua y se produce un exceso de 1,3 y 4,8 veces respecto a la demanda del cultivo.

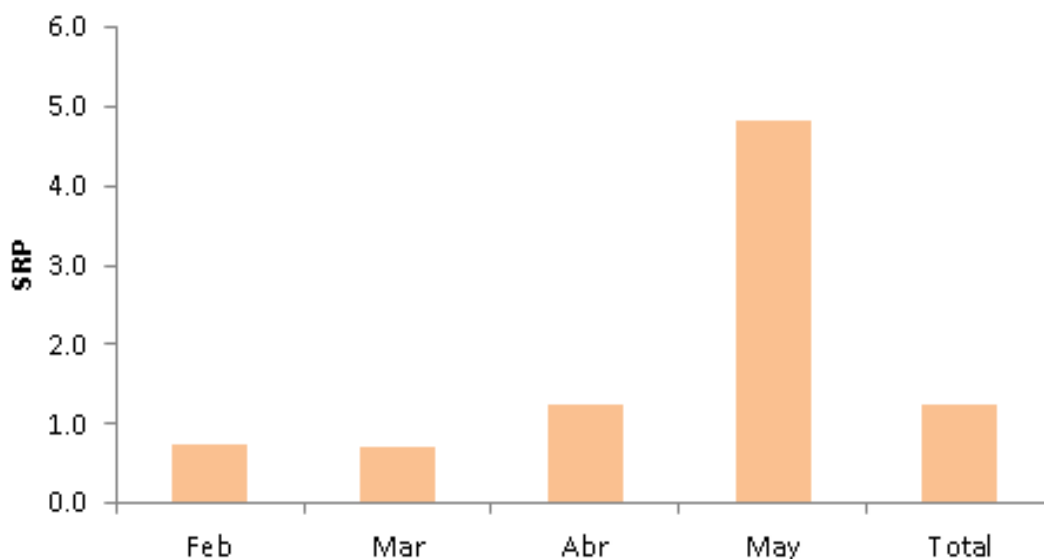
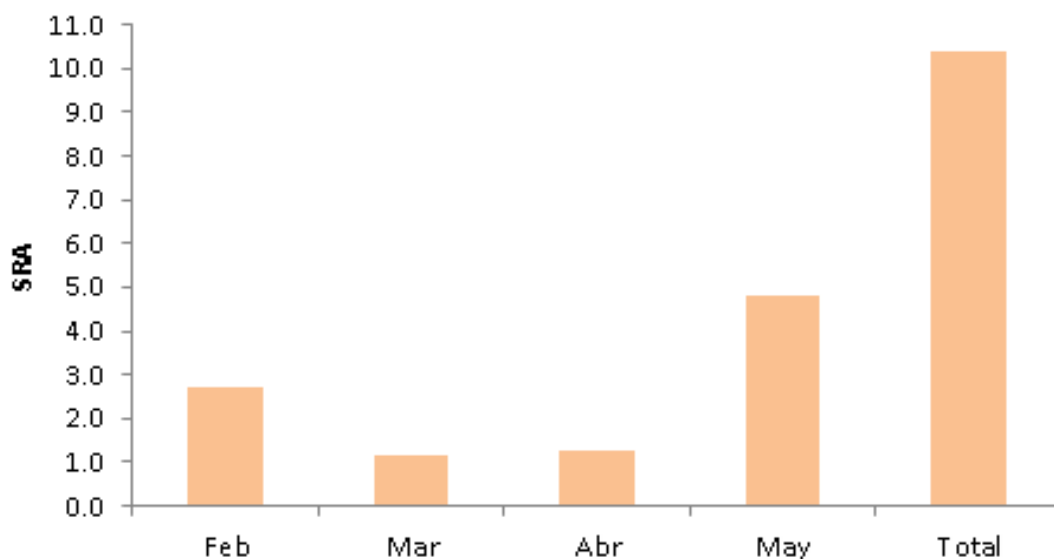


Figura 1. Indicador SRP en el cultivo del maíz.

El análisis del indicador para el ciclo vegetativo del cultivo expresa una gestión en exceso, lo que se corresponde con lo expresado por Pérez *et al.* (2005) en relación

con la importancia de este indicador en el conocimiento de la satisfacción de las necesidades hídricas del cultivo de forma natural.

En la Figura 2 se presentan los resultados del índice Suministro Relativo de Agua (SRA) el cual varió de 1,2 a 4,8 entre los meses de febrero a mayo, con un valor general de 10,4 para todo el ciclo vegetativo del cultivo. Estos valores superan la unidad, por lo que la gestión del agua se clasifica como excesiva. Si se relacionan los valores de este indicador con el *SRP* reflejado en el gráfico anterior, se puede explicar que la causa del exceso de agua en los meses de febrero y marzo es el riego deficiente que contribuye a que se aporten de 2,0 a 0,5 veces más agua que la requerida por el cultivo respectivamente.



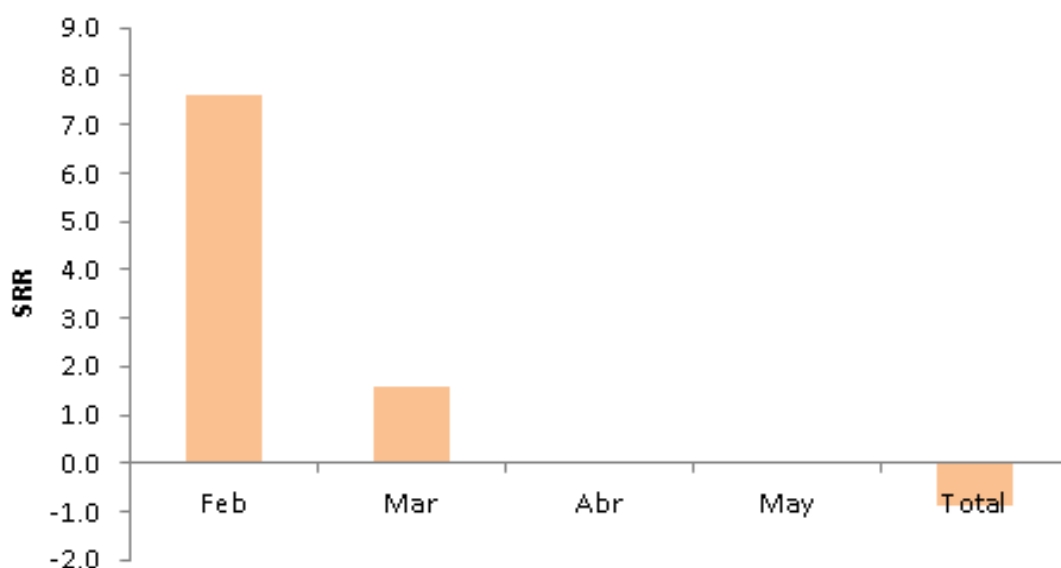
**Figura 2. Indicador SRA en el cultivo del maíz.**

En los meses de abril y mayo no es necesaria la aplicación de riegos, debido a que las precipitaciones son elevadas con valores de 195,3 mm y 447,8 mm respectivamente; por lo que la gestión en exceso se debe absolutamente a la magnitud del aporte pluvial. Pérez *et al.* (2009) demostraron en investigaciones realizadas en España, que el indicador *SRA* es útil para conocer la forma en que se adecuan los aportes de agua a las necesidades de los cultivos en un período diario, mensual y estacional acorde con la duración del ciclo de crecimiento y desarrollo del cultivo.

En la Figura 3 se exponen los resultados del índice Suministro Relativo de Agua de Riego (*SRR*) para el cultivo del maíz. Se observan valores superiores a la unidad en

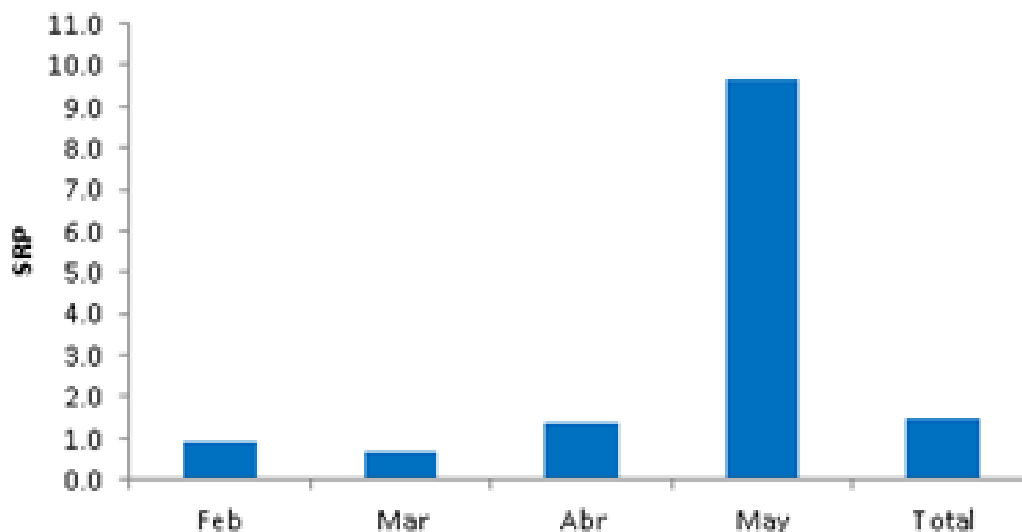
los meses de febrero y marzo, lo cual indica una gestión del riego en exceso debido a los valores relativamente altos de las láminas de riego como consecuencia de la baja eficiencia del sistema. En los meses de abril y mayo los valores del indicador *SRR* se hacen cero; porque las lluvias satisfacen plenamente la demanda hídrica del cultivo y no es necesaria la aplicación de agua al cultivo mediante la irrigación.

El valor general del indicador *SRR* en todo el ciclo del cultivo es negativo debido a que la diferencia entre *ETc* y *P* presenta también este signo; lo que indica que las precipitaciones son superiores a las demandas evapotranspirativas del cultivo. Según Roldán *et al.* (2010) el indicador más importante es el *SRR* ya que permite interpretar el manejo del riego que realiza el agricultor; pero sólo sirve cuando hay riegos y las precipitaciones no son abundantes; de lo contrario los valores obtenidos son erróneos.



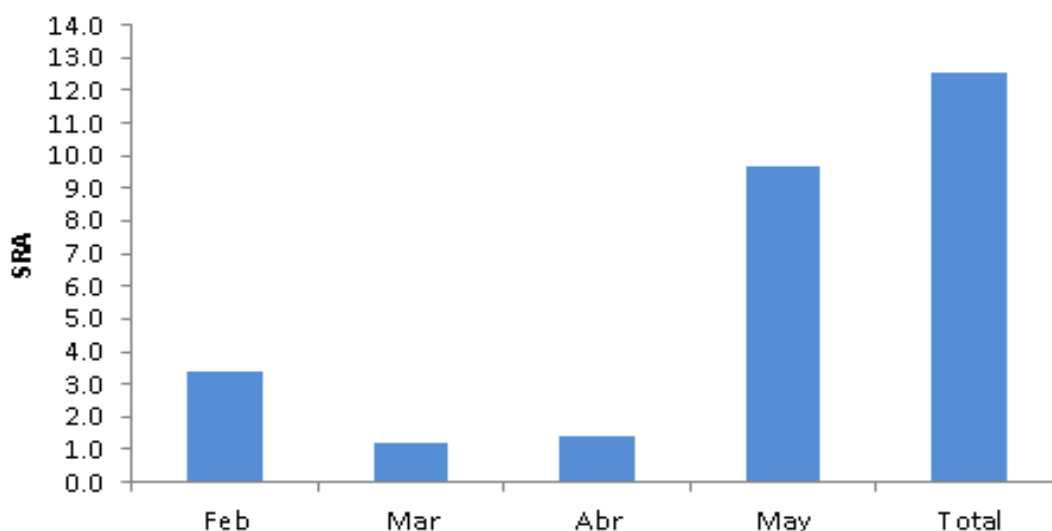
**Figura 3. Indicador *SRR* en el cultivo del maíz.**

En las Figuras 4, 5 y 6 se presentan los resultados de los indicadores de sostenibilidad para el uso del agua en el riego del cultivo del frijol. De forma similar al caso anterior, se observa en la Figura 4 que el indicador Suministro Relativo de Agua por Precipitaciones (*SRP*) aporta una cantidad notable de agua en los meses de febrero y marzo para garantizar entre el 70 y el 90 % de las necesidades de agua de los cultivos y el 100 % en los meses de abril y mayo con un exceso de 1,2 a 3,4 veces la demanda del cultivo. Este indicador presenta una gestión en exceso para el cultivo del frijol.



**Figura 4. Indicador SRP en el cultivo del frijol.**

En la Figura 5 se muestran los resultados del índice Suministro Relativo de Agua (SRA) el cual alcanza valores entre 1,2 a 9,7 en los meses comprendidos de febrero a mayo, con un valor total de 12,5 correspondiente al ciclo vegetativo del cultivo. En este caso la gestión del agua es excesiva por tener el indicador valores superiores a la unidad. Este comportamiento se debe al riego deficiente de los cultivos que obliga a los regadores a suministrar láminas adicionales superiores a la requerida por el cultivo. En los meses de abril y mayo las precipitaciones son aún más elevadas por lo que la gestión del agua para riego es también en exceso, pero utilizándose solo el agua de lluvia.



**Figura 5. Indicador SRA en el cultivo del frijol.**

En la Figura 6 se observa que el indicador Suministro Relativo de Agua de Riego (SRR) para el cultivo del frijol rebasa la unidad en los meses de febrero y marzo, lo

cual indica una gestión del riego en exceso debido a que las láminas de riego aplicadas son mayores que las necesarias para suplir las necesidades de agua del cultivo. En los meses de abril y mayo no hay suministro de agua de riego, por lo que el indicador *SRR* vale cero. El valor general del indicador *SRR* en todo el ciclo del cultivo es también negativo a causa del valor elevado de las precipitaciones durante el ciclo vegetativo del cultivo.

La determinación de estos indicadores permitió evaluar la gestión del agua y la utilización que hacen los agricultores de este recurso en el riego de los cultivos; pues en la medida en que su valor se aproxime a la unidad se estará contribuyendo a la sostenibilidad; mientras que valores por debajo o por encima indican que la gestión es deficitaria o en exceso respectivamente.

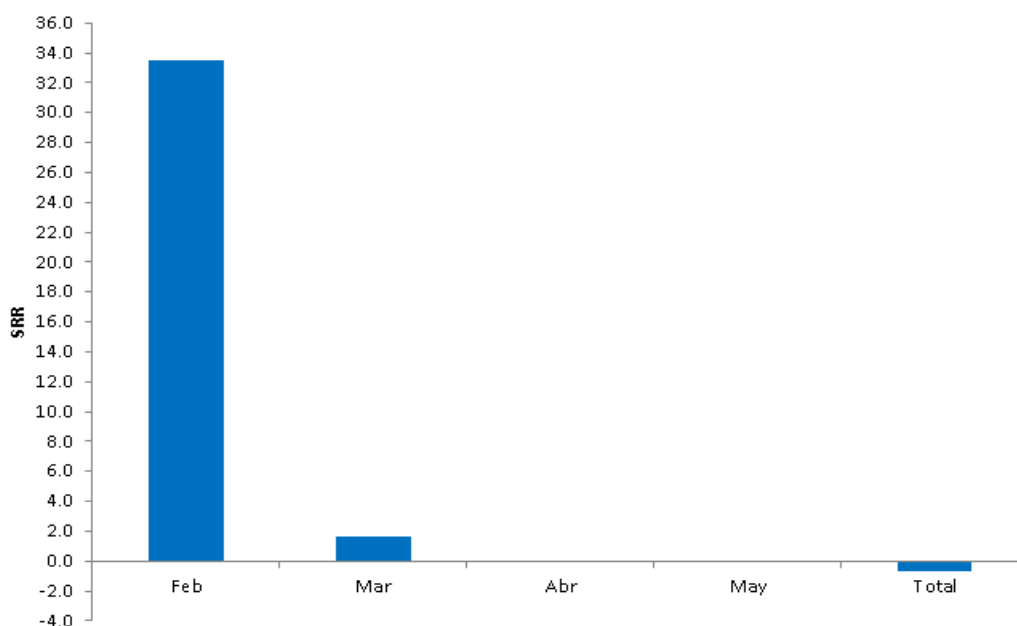


Figura 6. Indicador *SRR* en el cultivo del frijol.

## CONCLUSIONES

Los indicadores determinados para la evaluación de la sostenibilidad del agua en la actividad de riego: Suministro Relativo de Agua por Precipitaciones (SRP), Suministro Relativo de Agua (SRA) y Suministro Relativo de Agua de Riego (SRR) alcanzaron valores superiores a la unidad; por lo que la gestión del agua se clasifica como excesiva; sin embargo, se demuestra la contribución de la precipitación pluvial a la gestión sostenible del agua en la cuenca con fines de producción agrícola en los



cultivos de maíz y frijol.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADRIAANSE, A. (1993). *Environmental Policy Performance Indicators*. The Hague, The Netherlands: Ed. Ministry of Housing, 35 p.
- ÁLVAREZ, I. (2019). *Metodología para el uso sostenible del agua con fines hidroenergéticos y agrícolas en la cuenca del río Suchiate de Guatemala*. Tesis de Doctorado. Ciego de Ávila, Cuba: Ed. Editorial Universitaria del Ministerio de Educación Superior de la República de Cuba, 105 p.
- ÁLVAREZ, I., BROWN, O., y CID, E. P. (2021). Modelos matemáticos para la estimación de variables hidroagrícolas en el diseño de sistemas de riego. Ciego de Ávila, Cuba. *Revista Universidad & Ciencia*, Vol.10, No.3, p.99-112.
- AVENDAÑO, C. (2007). *Conservación de los recursos naturales con un enfoque comunitario en Chelemhá, Alta Verapaz, Guatemala*. Proyecto FODECYT No.11-2003. Guatemala: Ed. Universidad de San Carlos de Guatemala, 43 p.
- IUSS. (2007). *Base Referencial Mundial del Recurso Suelo. Informes sobre Recursos Mundiales de Suelos. Primera actualización. No.103*. Roma: Ed. Grupo de Trabajo WRB, 134 p.
- LEVINE, G. (1982). *Relative Water Supply: An explanatory variable for irrigation systems. Technical Report, N° 6*. New York, USA: Ed. Cornell University Ithaca, 22 p.
- MOLDEN, D. ...[et al.] (1998). *Indicators for comparing performance of irrigated agricultural systems*. Research report 20. Colombo, Sri Lanka: Ed. International Water Management Institute, 64 p.
- PÉREZ, L. ...[et al.] (2005). *Análisis estacional y espacial del uso del agua en una zona regable*. España: Ed. Elche, p.241-246.
- PÉREZ, L. ...[et al.] (2009). *Gestión sostenible del agua de riego*. X Premio Unicaja de Investigación Agraria. Analistas Económicos de Andalucía. Málaga, España: Ed. Unicaja, 129 p.
- PERRY, C. J. (1996). *Quantification and measurement of a minimum set of indicators of the performance of irrigation systems*. Colombo, Sri Lanka: Ed. International Irrigation Management Institute, 173 p.
- RODRÍGUEZ, J. R. (2002). *Caracterización de la demanda de agua de riego en la*

zona regable del Genil-Cabra (sectores II-III y IV-VII). Trabajo profesional fin de carrera. España: Ed. Universidad de Córdoba, 124 p.

ROLDÁN, J. ...[et al.] (2010). Mejora de la gestión del agua de riego mediante el uso de indicadores de riego. *Revista de la FCA UNCuyo*, Vol.42, No.1, p.107-124.