



Revista EIA
ISSN 1794-1237
e-ISSN 2463-0950
Año XVIII/ Volumen 18/ Edición N.36
Junio-Diciembre de 2021
Reia36001 pp. 1-17

Publicación científica semestral
Universidad EIA, Envigado, Colombia

PARA CITAR ESTE ARTÍCULO / TO REFERENCE THIS ARTICLE /

Viafara, C. A.; Sánchez, L. D.; Echeverri, A. F. (2021). Valoración de la sostenibilidad del sistema de riego localizado de alta frecuencia del minidistrito de riego ASOLABELLA, Municipio de Pereira. Revista EIA, 18(36), Reia36001. pp. 1-17.
<https://doi.org/10.24050/reia.v18i36.1456>

✉ Autor de correspondencia:

Viafara, C. A. (Christian Ariel):
Ingeniero Agrícola, Magister en Desarrollo Sustentable. Docente Corporación Universitaria de Comfacauca.
Correo electrónico:
cviafara@unicomfacauca.edu.co

Recibido: 23-11-2020
Aceptado: 15-05-2021
Disponible online: 01-06-2021

Valoración de la sostenibilidad del sistema de riego localizado de alta frecuencia del minidistrito de riego ASOLABELLA, Municipio de Pereira.

✉ CHRISTIAN A. VIAFARA¹
LUIS D. SÁNCHEZ²
ANDRÉS F. ECHEVERRI²

1. Corporación Universitaria de Comfacauca
2. Universidad del Valle

Resumen

En este estudio se valoraron los factores de sostenibilidad en el minidistrito de riego de la Bella del municipio de Pereira-Colombia que emplea el método de riego localizado de alta frecuencia (RLAF). El estudio se fundamentó en la identificación y la valoración de factores e indicadores que inciden en la sostenibilidad en sistemas RLAF a escala real. La valoración de los factores de la sostenibilidad se realizó por medio de un análisis multicriterio (AHP) y el proceso estadístico de agrupación de intervalos que permitió definir cinco niveles de valoración de la sostenibilidad de cada predio después del análisis multicriterio. Los resultados muestran que los factores que más contribuyen a la sostenibilidad de los sistemas que emplean RLAF, son la rentabilidad y la calidad del agua. Los factores limitantes para la sostenibilidad fueron la disponibilidad de agua y la operación del sistema RLAF, debido al conflicto entre la oferta y la demanda en épocas secas y la ausencia de conocimientos técnicos para establecer las reglas de operación para la aplicación de caudales y seguir una guía de operación y mantenimiento de los sistemas RLAF. El estudio permitió estimar un nivel de sostenibilidad moderado para los sistemas RLAF de ASOLABELLA.

Palabras Claves: Riego localizado de alta frecuencia, Indicadores, Factores, Análisis Multicriterio, Valoración de la Sostenibilidad.

Assessment of the sustainability of the high-frequency localized irrigation system of the ASOLABELLA- irrigation mini-district, Pereira Municipality.

Abstract

In this study, sustainability factors were assessed in the La Bella mini-irrigation district in the municipality of Pereira-Colombia that uses the high-frequency localized irrigation method (RLAF). The study was based on the identification and evaluation of factors and indicators that affect sustainability in RLAF systems on a real scale. The assessment of sustainability factors was carried out by means of a multi-criteria analysis (AHP) and the statistical process of grouping intervals that allowed defining five levels of sustainability assessment of each property after the multi-criteria analysis. The results show that the factors that contribute most to the sustainability of the systems that use RLAF are profitability and water quality. Limiting factors for sustainability were the availability of water and the operation of the RLAF system, due to the conflict between supply and demand in dry seasons and the lack of technical knowledge to establish the operating rules for the application of flows and to follow a RLAF systems operation and maintenance guide. The study allowed estimating a moderate level of sustainability for ASOLABELLA RLAF systems.

Key Words: *High Frequency Localized Irrigation, Indicators, Factors, Multicriteria Analysis, Sustainability Assessment.*

Introducción

La definición de sostenibilidad coincide con la necesidad de conservar el sistema de soporte de vida del planeta y, paralelamente, generar y mantener una sociedad más equitativa presente y futura, (Matera y López 2000). La sostenibilidad implica la necesidad de adoptar políticas y directrices institucionales, técnicos, ambientales y socioeconómicas, que tengan como base el uso y manejo razonable de los recursos naturales (Millar, 1993). El desarrollo sostenible en la agricultura promueve la conservación del suelo y del agua, no es degradante del ambiente, y debe ser técnicamente apropiado, económicamente viable y socialmente aceptable (FAO, 2005).

La ineficiencia en la infraestructura para riego y drenaje hacen de Colombia un país susceptible a riesgos en eventos de fenómenos como El Niño y La Niña y la variabilidad climática (IDEAM, 2014), que afectan la sostenibilidad de los minidistritos de riego existentes, poniendo en riesgo la soberanía alimentaria del país. El minidistrito de riego de la Bella de la ciudad de Pereira presenta ineficiencias en el uso del recurso hídrico y disminución de la demanda por escasez de agua en periodos de estiaje, hecho que limita rentabilidad, afecta su producción y pone en riesgo la sostenibilidad tal como lo indica Ramírez et al, (2007). Para mejorar la sostenibilidad y el equilibrio entre la demanda y la disponibilidad del agua en la agricultura, un factor determinante es aumentar la productividad y uno de los procesos con mayor impacto en la productividad es implementar tecnologías de riego eficientes en el recurso hídrico como los RLAF (CAF, 2013). Los RLAF permiten aplicar la dosis precisa de agua y nutrientes, hacer distribución uniforme y lograr una alta eficiencia de aplicación, ya que se aplica únicamente el agua necesaria (Pizarro, 1996, Noble, 2007 y López et al 1992).

Teniendo en cuenta que, el 87% del minidistrito es irrigado por sistemas de riego por aspersión con eficiencias cercanas al 53%, se identifica la necesidad de fortalecer y fomentar el uso de tecnologías de riego eficientes como los RLAF. Sin embargo, actualmente en el minidistrito se enfrentan múltiples problemas asociados al estado de la infraestructura y la operación y mantenimiento que ponen en riesgo su sostenibilidad (Euderink, Vollaers y Wesseling, 2017 y ASOLABELLA, 2016). Los factores de mayor incidencia en la sostenibilidad de los sistemas de riego son las condiciones de operación y mantenimiento de las redes, la disponibilidad del agua, la organización y la rentabilidad de los proyectos de irrigación, (Millar, 1993; Vichi, 2003; García, Gonzales y Pérez, 2003; FAO, 2008; Salazar, Saravia y Rafael, 2010 y Tiewtoy, 2011). Latorre, et al. (2003), destaca la incidencia de las condiciones de operación y mantenimiento en la sostenibilidad de infraestructuras asociadas a la conducción y distribución de agua.

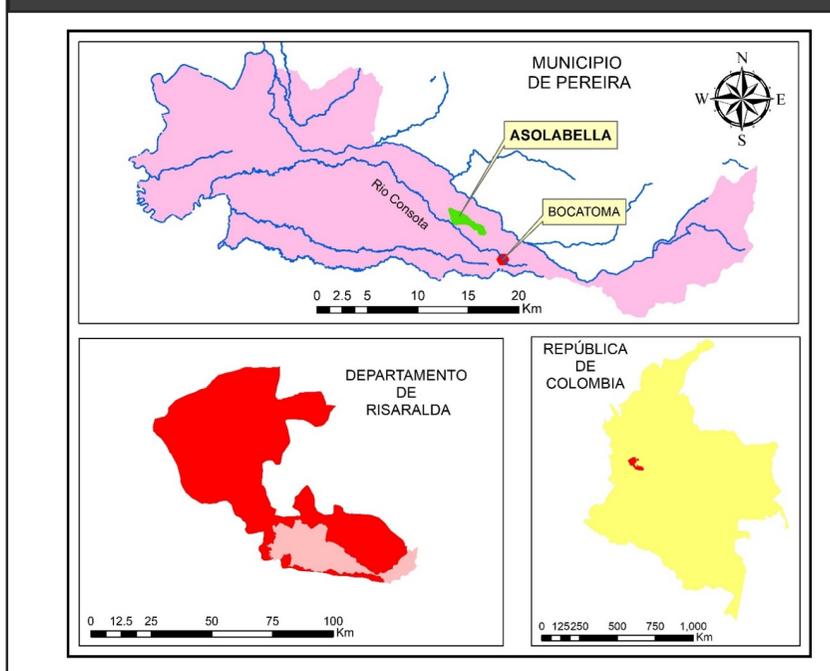
Este trabajo de investigación valoró los factores de mayor incidencia en la sostenibilidad de los métodos RLAF en el minidistrito de la Bella. Para ello, se identificaron y desarrollaron indicadores para determinar la incidencia de los factores en la sostenibilidad de los sistemas RLAF. Permitiendo identificar los problemas para su implementación, operación y mantenimiento y su conservación. Además de entender los procesos subyacentes y así de identificar estrategias para fortalecer su adopción o expansión a una mayor escala en La Bella.

Materiales y métodos

Contexto local

El estudio se desarrolló en el minidistrito de la Bella ubicado en la cuenca alta del río Consota en el corregimiento de la Bella del municipio de Pereira, Colombia. El minidistrito tiene un área estimada en 107 ha irrigadas que se distribuyen entre 76 usuarios, con 90 predios. Los principales cultivos incluyen cebolla, tomate, aguacate, frutales como lulo, granadilla, fresa, mora, y otros cultivos como pastos, plantas aromáticas y medicinales y hortalizas (ASOLABELLA 2016). El 87% de la zona esta irrigada con métodos de riego por aspersión asociado al cultivo de cebolla y solo el 9% utilizan sistemas RLAF principalmente en tomate y otras hortalizas. El 4% no tiene riego. La **Figura 1** presenta la ubicación del minidistrito de riego. El análisis de sostenibilidad se realizó sobre 8 predios que presentan métodos de riego localizado de alta frecuencia en ASOLABELLA.

Figura 1. Localización del área del estudio. Minidistrito de riego ASOLABELLA
Fuente. Autores



Descripción del proceso metodológico:

Se realizó una investigación a escala real en el minidistrito de riego de la Bella para valorar los factores, variables e indicadores que más inciden en su sostenibilidad. Los factores se clasificaron por medio de variables e indicadores y se estimaron por medio de la suma ponderada de sus indicadores. La sostenibilidad para cada predio se valoró a través de un análisis multicriterio que permitió cuantificar los factores en orden de impacto e importancia. Un proceso de agrupación de intervalos permitió definir 5 niveles de sostenibilidad y se interpretaron los valores obtenidos de un análisis multicriterio.

Identificación de factores e indicadores de sostenibilidad:

Para identificar los factores, variables e indicadores se consideró la integración de tres procesos: la revisión de literatura, el taller participativo y el trabajo de campo (encuesta estructurada, evaluación físico-técnica y observación). El taller participativo y la encuesta como parte del proceso de investigación acción participativa permitió el intercambio de conocimientos asociados a la sostenibilidad de los métodos de riego localizado con la administración del minidistrito y los agricultores que los operan y mantienen. La evaluación físico-técnica permitió determinar las condiciones técnicas actuales de los métodos RLAF e identificar la incidencia de factores de este tipo en la sostenibilidad y la operación y mantenimiento del sistema de riego en los predios. Los factores variables e indicadores definidos para la evaluación de la sostenibilidad del método RLAF se presentan en la **Tabla 1**.

Tabla 1. Factores, variables e indicadores definidos para el análisis de sostenibilidad en el Minidistrito de riego de ASOLABELLA. Fuente Autores

Factores	VARIABLES	Indicador
Calidad de Agua	Obstrucción por SST	Riesgo de obstrucción
Disponibilidad de Agua	Relación oferta(solo fuente de abastecimiento) /demanda	Nivel de presión de la oferta sobre la demanda
	Protección de la fuente	Coberturas naturales con capacidad de regulación hídrica conservadas (índice de vegetación remante)
		Fuentes alternas de abastecimiento Número de Programas de protección
Continuidad generacional en el sistema productivo	Transferencia de conocimientos	Número de hijos involucrados en el sistema
	Riesgo de abandono de la actividad agraria	Nivel de riesgo de abandono
Organización	Operatividad de la organización	Numero de Reuniones desarrolladas
		Existencia de roles administrativos y técnicos
		Acuerdos y reglas desarrolladas
	Participación organizacional	Nivel de participación del agricultor
Mantenimiento del sistema	Frecuencia de mantenimiento	Tipo de mantenimiento
	Red de distribución	Estado de la red
Operación del sistema	Capacidad de operación del agricultor (Nivel de formación)	Grado de escolaridad Número de Capacitaciones
	Eficiencia de aplicación predial por planta	(Caudal neto requerido por planta /caudal aplicado por planta)
	Planificación de la frecuencia de riego	Criterio de planificación de la frecuencia de riego
	Cuantificación de los requerimientos hídricos	Criterio de cuantificación de los requerimientos hídricos
Uniformidad de distribución	Variación de Caudales emitidos	Coefficiente de Uniformidad
	Variación de características del emisor	Coefficiente de variación del emisor
Rentabilidad económica	Margen Bruto de utilidad	Ingresos totales menos costos/ingresos totales
	Relación Beneficio/Costo	Ingresos por productividad del sistema/costos de operación y manejo
Presencia y/o apoyo institucional	Apoyo financiero institucional	Número de proyectos aprobados/No proyectos presentados
	Asistencia Técnica a los agricultores	No de capacitaciones programadas en uso eficiente y manejo de los RLAF

Medida de los indicadores.

Los indicadores se normalizaron para expresarlos en unidades homogéneas. En este estudio se empleó la normalización ‘min-Max’ (Fernández, Gómez y López 2010), para que el valor de todos los indicadores, una vez normalizados, oscilará en un rango adimensional entre 0 y 1. Donde [0,1], donde el 0 se corresponde al peor valor posible del indicador (la opción menos sostenible) y el 1 al mejor valor posible (opción más sostenible). La **Tabla 2** presenta las categoría y valores normalizados para los indicadores.

Las muestras de agua para determinar la calidad del agua fueron medidas a la entrada a cada predio y se determinó un periodo de muestreo de cuatro días con dos muestreos al día en época de altas precipitaciones, porque representa el mayor arrastre de sedimentos en la fuente de abastecimiento. Los datos obtenidos se evaluaron y clasificaron conforme a los métodos de Pizarro (1996) y Nakayama y Bucks (1986).

Tabla 2. Categorías y valores normalizados para los indicadores. Fuente Autores.

Indicador	Categorías de los indicadores	Valor Norm.
Riesgo de obstrucción	SST < 50 mg/l (Riesgo Bajo)	1
	SST entre 50 y 100 mg/l (Riesgo Medio)	0,5
	SST > 100 mg/l (Riesgo Alto)	0
Presión de la oferta sobre la demanda	Oferta > demanda (Presión despreciable)	1
	Demanda > oferta solo en periodos secos (presión baja de la demanda con respecto a la oferta de la fuente de abastecimiento)	0,66
	Demanda > oferta en periodos secos y en algunos otros periodos con condiciones climáticas diferentes (presión moderada)	0,33
	Demanda > oferta La presión de la demanda es alta con respecto a la oferta disponible	0
Coberturas naturales con capacidad de regulación hídrica conservadas (índice de vegetación remante)	IVR ≥ 70% no transformado	1
	70% > IVR > 30% Parcialmente transformado	0,66
	10% < IVR < 30% Muy transformado	0,33
	IVR < 10% Completamente transformado	0
Fuentes alternas de abastecimiento	Lluvia	1
	Pozo	1
	Drenaje secundario	1
	Ninguno	0
Programas de protección	Número de programas N ≥ 1	1
	Sin programas de protección	0
Número de hijos involucrados en el sistema	No tiene hijos o los que tiene no están involucrados en el sistema	0
	Tiene hijos pequeños que piensa involucrar en el sistema	0,33
	Tiene un hijo involucrado en el sistema	0,66
	Tiene dos o más hijos involucrados en el sistema	1
Riesgo de abandono	Propietario con edad superior a 55 años sin sucesor y rentabilidad por debajo de la media (Riesgo Alto)	0
	Propietario con edad inferior a 55 años o tiene sucesor y rentabilidad superior de la media (Riesgo Bajo)	1
	Otra condición de edad y rentabilidad (Riesgo Moderado)	0,5
Reuniones desarrolladas	Se hacen reuniones frecuentes	1
	No se realizan reuniones	0
Existencia de roles administrativos y técnicos	No hay roles administrativos ni técnicos	0
	Hay rotación de roles administrativos y técnicos	1
Acuerdos y reglas desarrolladas	No hay acuerdos ni reglas estipuladas	0
	Se desarrollan reglas y acuerdos entre usuarios	1
Gestión de proyectos	Sin proyectos gestionados en los últimos dos años	0
	Proyectos gestionados en los últimos dos años	1
Participación del agricultor	El agricultor asiste permanente a la reuniones, cumple los acuerdos, toma decisiones y tiene funciones asignadas y desarrolladas (alto)	1
	El agricultor asiste permanente a la reuniones, cumple los acuerdos y toma decisiones (moderado)	0,75
	El agricultor asiste a la reuniones y cumple los acuerdos (aceptable)	0,5
	Asiste a las reuniones (deficiente)	0,25
Tipo de mantenimiento	No se realiza mantenimiento (Deficiente)	0
	Realiza Mantenimiento Correctivo (ocasional) (Aceptable)	0,5
	Realiza mantenimiento preventivo (Bueno)	0,1
Estado de la red	(Valores entre 0-6,6) Mal Estado	0
	(Valores entre 6,7-13,4) Estado Aceptable	0,5
	(Valores entre 13,5-20,) Buen Estado	1
Grado de escolaridad	Primaria	0,33
	Secundaria y/o técnica	0,66
	Tecnológica y/o profesional	1
Capacitaciones	Ninguna	0
	Asistencia a capacitaciones técnicas sobre RLAF	0,75
	Asistencia a capacitaciones técnicas de RLAF y aplicación de todos los conocimientos adquiridos.	1
(Caudal neto requerido por planta /caudal aplicado por planta)	0,75 ≥ n o n ≥ 1,25 (Insuficiente)	0,25
	0,75 < n < 0,85 o 1,15 < n ≤ 1,25 (Aceptable)	0,5
	0,85 ≤ n < 0,95 o 1,05 < n ≤ 1,15 (Bueno)	0,75
	0,95 ≤ n < 1 o n entre 1 y 1,05 (Excelente)	1

Indicador	Categorías de los indicadores	Valor Norm.
Planificación del riego	Frecuencia definida empíricamente: fecha y número de riegos teniendo en cuenta la experiencia del agricultor: riego diario, semanal, etc.	0,33
	Frecuencia definida considerando al menos una de las siguientes características: estado de desarrollo del cultivo, observación directa de la humedad del suelo y el clima.	0,66
	Frecuencia definida a partir de la estimación de la demanda neta de agua requerida para el cultivo.	1
Criterio de cuantificación de los requerimientos hídricos	Utiliza la misma cantidad durante todo el cultivo	0,33
	Considera la etapa vegetativa del cultivo	0,66
	Considera las características de suelo, clima y cultivo (ETo, Kc, Pe) para su cuantificación.	1
Coeficiente de Uniformidad	CU > 94 %. Excelente	1
	CU entre 86 % y 94 %. Bueno	0,75
	CU entre 80 % y 86. Aceptable	0,5
	CU > 80 %. Pobre o insuficiente	0,25
Coeficiente de variación del emisor	CV < 10(Buenos)	1
	CV entre 10-20 (Normales)	0,66
	CV > 20 (Deficientes)	0
Ingresos totales menos costos/ingresos totales	0 ≤ n (No es Viable)	0
	0 < n ≤ 0,35 (Rentabilidad Baja)	0,33
	0,35 < n ≤ 0,45 (Rentabilidad media)	0,66
	n > 0,46 (Rentabilidad Alta)	1
Ingresos por productividad del sistema/costos de operación y manejo	n ≤ 1. (No es Viable)	0
	1 < n ≤ 1,5 (Rentabilidad Baja)	0,33
	1,5 < n ≤ 1,86 (Rentabilidad media)	0,66
	n ≥ 1,86 (Rentabilidad Alta)	1
Número de proyectos aprobados/No proyectos presentados	0 = n (no hay)	0
	1 < n ≤ 0,25 (Débil)	0,33
	0,25 < n ≤ 0,75 (moderado)	0,66
	0,75 < n ≤ 1 (Fuerte)	1
No de capacitaciones programadas en uso eficiente y manejo de los RLAF	No se programaron en los últimos dos años	0
	>1 por programa (uso eficiente o manejo de los RLAF).	1

Eto : Evapotranspiración ; Kc: Coeficiente del cultivo ; Pe: Precipitación efectiva; Cu: Coeficiente de uniformidad ; IVR: Índice de vegetación remanente; Norm: Normalizado

El índice de vegetación remante, corresponde al porcentaje de coberturas naturales con capacidad de regulación hídrica aun conservadas y los valores referencia se establecieron conforme a Márquez (2000). El indicador fuentes alternas de abastecimiento, valoró la existencia de fuentes alternas como captación de aguas lluvia, pozo o drenajes secundarios. El indicador programas de protección valoró la existencia de estos en el área de influencia de la cuenca en el minidistrito. El nivel de riesgo de abandono planteado por Gómez y Sánchez (2009), relacionó la rentabilidad con la edad del agricultor.

El Coeficiente de uniformidad se estimó siguiendo el criterio de evaluación propuesto por Pizarro (1996) y se interpretó de acuerdo a Vermeiren y Jobling (1986). El Coeficiente de variación se interpretó conforme a norma ASAE EP4.

Valoración de los factores

La información para valorar los indicadores se recopiló, a partir, de una encuesta estructurada, la evaluación físico-técnica, el dialogo con los agricultores y la observación en campo. El valor numérico obtenido en cada factor correspondió a la relación

entre la sumatoria de los valores obtenidos en sus indicadores y el número de indicadores, a partir de la **ecuación 1**.

$$F = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \text{ Ecuación 1.}$$

El análisis comparativo entre factores y la cualificación de su favorabilidad hacia la sostenibilidad en cada predio se realizó considerando una escala de sostenibilidad propuesta de 0 a 1 (adaptada a partir de los estudios de Daza et al, (2012); Latorre et al (2003); e Ibrahim (2017) con límites que determinan el estado de la sostenibilidad. Los límites definidos fueron los siguientes: $S \leq 0,40$ (Baja Sostenibilidad), $0,40 < S \leq 0,6$ (Sostenibilidad al Límite), $0,6 < S \leq 0,8$ (Sostenibilidad Moderada), $S > 0,8$ (Sistema Sostenible).

Una vez estimado el valor del factor y determinado su favorabilidad para la sostenibilidad en cada predio, los resultados se consolidaron empleando la **ecuación 1** (promedios de los factores en todos los predios) para determinar la favorabilidad hacia la sostenibilidad en el minidistrito.

Valoración de la sostenibilidad a nivel predial

Se estableció a partir de 5 niveles de sostenibilidad siguiendo el método de agrupación de intervalos de clases iguales referenciado por Tiewtoy (2011). Estos niveles de sostenibilidad se definieron en cada predio después de realizar el análisis multicriterio.

El método de agregación para el análisis multicriterio fue el análisis jerárquico de procesos (AHP) el cual fue propuesto por Saaty (2008). Esta herramienta puede integrar diferentes factores de una realidad en un solo marco de análisis (Falconí y Burbano, 2004; Figueira, Greco y Ehr Gott, 2005). El proceso implicó: a) la calificación de expertos (11 expertos) para los factores, teniendo en cuenta la escala de juicios; b) la determinación de pesos a cada factor; c) la valoración de consistencia de la matriz, y d) la valoración de un índice de sostenibilidad empleando una regla de agregación lineal ponderada aplicada sobre el conjunto de factores normalizados, por medio de la **ecuación 2**.

$$IS = (0,11 * F1) + (0,16 * F2) + (0,12 * F3) + (0,09 * F4) + (0,12 * F5) + (0,12 * F6) + (0,09 * F7) + (0,13 * F8) + (0,06 * F9)$$

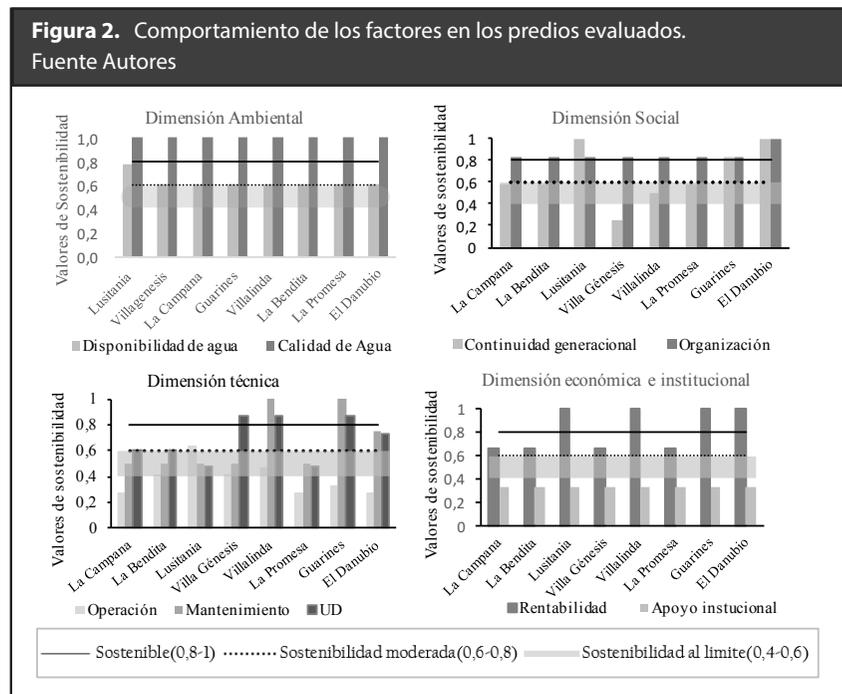
Ecuación 2.

Dónde: (índice de sostenibilidad) es la sumatoria del producto de los valores normalizados de cada factor por su respectivo peso.

Una vez obtenido el valor del índice de sostenibilidad para cada predio se procedió a realizar la estimación estadística respectiva siguiendo a Tiewtoy (2011)

Resultados y discusión

La favorabilidad a la sostenibilidad de los factores a nivel predial se analizó por dimensiones (ambientales, sociales, técnicas, económicas e institucionales), ver **Figura 2**. La franja horizontal gris representa el valor límite de referencia para que el sistema sea sostenible. Los valores que están por encima de la franja gris presentan condiciones que favorecen la sostenibilidad del sistema RLAF, mientras que, los valores que se ubican por debajo de ella son los que limitan o generan riesgo para la sostenibilidad. Cada una de las dimensiones vistas a través de cada uno de los factores se discute a continuación.



a. Dimensión ambiental

Los SST totales en el agua de riego de todos los predios no superaron los 12,6mg/l, lo que indica que el riesgo de obturación es bajo, en consecuencia, el factor calidad de agua contribuye a la sostenibilidad de los métodos RLAF como se evidencia en la **figura 2**. Para el factor disponibilidad de agua, la demanda total de agua del sistema es una limitante en época de estiaje (junio-agosto) donde la oferta no puede satisfacer las necesidades hídricas asociadas al minidistrito. Así mismo el índice de vegetación remante parcialmente transformado y la ausencia de fuentes alternas, son condiciones que no contribuyen a la sostenibilidad de los sistemas RLAF en los predios.

b. Dimensión social.

La transferencia de conocimientos es afectada por el desinterés de los hijos de los agricultores por involucrarse en los sistemas productivos familiares impactando negativamente el factor continuidad generacional, ya que se genera riesgo sobre la conservación de conocimientos asociados al manejo de los sistemas productivos. El vínculo familiar fortalece el factor continuidad generacional alrededor del sistema

productivo y en donde todos los hijos hacen parte de la actividad productiva, se contribuye a la sostenibilidad, tal es el caso del Danubio y Lusitania. Se logró evidenciar que una edad avanzada en la edad de los agricultores (> 55 años) y una alta rentabilidad (mayor que la media) reduce el riesgo de abandono de la actividad productiva generando mejores condiciones de sostenibilidad asociadas al factor continuidad generacional, como se evidencia en los predios Guarines, Lusitania y Danubio (**Figura 2**). Por su lado las reuniones frecuentes, la distribución y rotación de roles administrativos y técnicos, los acuerdos y normas desarrolladas y los proyectos gestionados y ejecutados en el último año indican que el minidistrito presenta una organización sostenible.

c. Dimensión Técnica.

El mantenimiento preventivo ejecutado de manera frecuente empleando un plan periódico favorece la sostenibilidad del RLAF ya que garantiza un funcionamiento adecuado de las redes de riego tal como lo recomienda Reche (2013), tal es el caso de Guarines y Villalinda. Por su lado el buen estado de las redes hace que las condiciones físicas y técnicas de cada uno de los elementos no afecten la funcionalidad del sistema de riego, ni la continuidad del sistema productivo, favoreciendo a la sostenibilidad en estos predios (Ver **figura 2**).

La ausencia de un método para medir la cantidad de caudal a aplicar en los predios afecta la eficiencia de aplicación ya que se aplica más o menos caudal del necesario como es el caso del predio de la Promesa y Villagenesis, condicionando la favorabilidad a la sostenibilidad del factor operación en estos predios. Las limitaciones técnicas pueden estar influenciadas por el bajo nivel de educación de los agricultores y la falta de asistencia técnica. Por su lado el bajo grado de escolaridad y la ausencia de capacitaciones técnicas para la operación de las redes de riego condicionan la productividad del cultivo y su rentabilidad y por consiguiente la favorabilidad del factor operación como se evidencia en los predios La Campana y El Danubio.

Por otro lado, las investigaciones de Charles y Burrt (2002), muestran que, cuanto más elevada sea la uniformidad del sistema al aplicar el agua, más uniforme será el crecimiento de los cultivos y proporcionará al final del ciclo altos rendimientos agrícolas, generando sostenibilidad para los sistemas productivos y métodos de riego asociados, tal es el caso de los predios, Guarines, Villalinda. Mientras que para CU bajos hay mayor riesgo en la producción y por la tanto en la sostenibilidad de los predios y sistemas de riego, como es el caso de Lusitania y La Promesa. En todos los predios las cintas emisoras y los emisores empleados presentan coeficientes de variación acorde a los valores sugeridos por la norma ASAE-EP405, lo cual sugiere que los problemas de uniformidad encontrados en las redes de riego afectan el factor operación no están relacionados con el diseño del emisor, ni con los materiales utilizados en su fabricación

d. Dimensión económica e institucional.

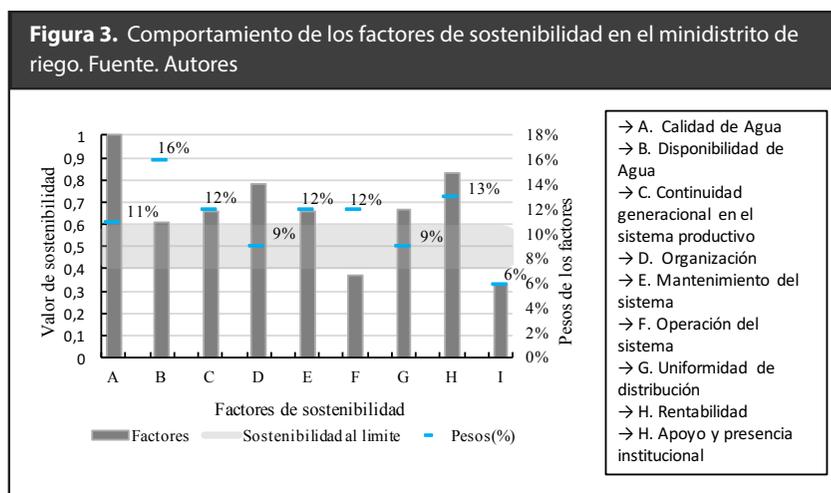
Los predios son rentables ya que la relación beneficio/costo en todos es mayor a 1, y existen beneficios económicos en la producción de todos. El margen bruto de utilidad superior a 0 también en todos los predios indica beneficios económicos, estando en armonía con los resultados de la relación beneficio/costo. Los predios donde los márgenes de utilidad respecto a los ingresos totales fueron superiores al 46% (Lusitania, El Danubio, Villalinda y Guarines) se definieron como los de mejor rentabilidad

ya que sobrepasaron el rango promedio esperado por los campesinos del minidistrito (38-46%). Por consiguiente, en los predios de mejor rentabilidad se refleja una mayor favorabilidad a la sostenibilidad del factor económico, (ver figura 2).

En los predios evaluados se identificaron un total siete de proyectos productivos aprobados por instituciones. Así mismo a nivel distrital se conoció que está en proceso de aprobación el Programa de Uso Eficiente y Ahorro del Agua, PUEA construido por la comunidad. Tres proyectos estaban relacionados con los métodos RLAF y el uso eficiente del recurso hídrico. Estos resultados permiten cualificar el apoyo económico como moderado, sin embargo, aunque existe apoyo económico para los agricultores, este debe fortalecerse para mejorar las condiciones socioeconómicas de las familias productoras y por consiguiente su sostenibilidad.

Comportamiento consolidado de los factores de sostenibilidad.

La **Figura 3** presenta los valores obtenidos para cada uno de los nueve factores analizados de manera consolidada. Se presentan los pesos para cada factor asignado acorde al juicio de expertos de la forma: calidad del agua (11%), disponibilidad de agua (16%), continuidad generacional (12%), organización (12%), mantenimiento (9%), operación (12%), uniformidad de distribución (9%), rentabilidad (13%), y apoyo institucional (6%). La **Figura 3** permite visualizar que factor debe ser prioritario de abordar para que no se genere efecto domino sobre la sostenibilidad de los sistemas si estos no son atendidos prioritariamente.



La óptima calidad del agua y el peso porcentual asignado favorece considerablemente la sostenibilidad de los RLAF en el minidistrito como se evidencia en la **figura 3**. Al respecto Bojórquez (2008) menciona que la calidad del agua es un factor importante en la estabilidad de los sistemas productivos bajo riego, ya que de esta dependen las obstrucciones y por consiguiente la uniformidad en la producción y su rentabilidad. Así mismo, el agua de riego puede contener contaminantes en suspensión que se acumulan en el suelo y el cultivo afectando su rendimiento.

El peso porcentual (13%) obtenido en el AHP por el factor rentabilidad indica que es el uno de los de mayor relevancia para la sostenibilidad de los RLAF. La relación de su favorabilidad y su peso porcentual (**figura 3**) indican un nivel de contribución actual a la sostenibilidad similar a la calidad del agua. Mientras se generen

márgenes de utilidad que satisfagan las necesidades de los agricultores y se obtenga una relación beneficio/Costo positivo, el proceso productivo se sostiene y por consiguiente sus métodos de irrigación, así lo indican Stockle. et al. (1994), y MAF (1997) quienes referencian los ingresos netos como un indicador relevante para la sostenibilidad de los predios y sus prácticas agrícolas.

El factor disponibilidad de agua fue definido como el de mayor peso o relevancia (Ver **figura 3**) para la sostenibilidad de los RLAF. Al respecto Bojórquez (2008), lo ubica como uno de los factores más importantes para la sostenibilidad de los sistemas productivos junto con la calidad del agua. La relación entre su peso y su favorabilidad indican que es uno de los factores que necesitan ser fortalecidos dado que su condición actual, la cual se ubica cercano en el rango de Sostenibilidad al Límite, no favorece los procesos productivos actuales en ASOLABELLA.

El factor operación se identificó como el de mayor necesidad de crecimiento y de mayor impacto en el minidistrito, dada la relación existente entre su valor porcentual y las condiciones actuales evidenciadas por sus indicadores que lo ubican por debajo del rango de valores límite. Respecto a la capacidad de operación, Elgilany, Faki y Elobeid (2007) y Santhi y Pundarikanthan (1996) mencionan que la ausencia de conocimientos técnicos y la capacitación de los agricultores, impacta considerablemente la eficiencia en la operación de los sistemas de riego y en el largo plazo la rentabilidad en el sistema productivo.

Las labores correctivas y el estado aceptable de las redes de riego en 6 de los predios son las condiciones que generan que el factor mantenimiento de manera consolidada en el distrito se acerque al valor de sostenibilidad al límite. Es recomendable por lo tanto dado su alto valor porcentual, y su relación con la capacidad de operación del agricultor, que los mayores esfuerzos en el minidistrito se centren en la gestión para la capacitación técnica que permitan mejorar las condiciones de mantenimiento actual en estos predios y por consiguiente mejorar el estado de las redes

Dado el alto peso porcentual en el factor continuidad generacional, es claro que debe motivarse la participación de todos los jóvenes en el sistema productivo, ya que el estudio evidenció que no todos ven el sistema productivo familiar como una oportunidad de subsistencia, y piensan en emigrar a las ciudades, impactando negativamente en la sostenibilidad de sus cultivos y en los métodos de irrigación en sus predios

La **grafica 4** evidencia un factor organización fuerte, el cual se fortalece por la reglamentación establecida para la operatividad, la personería jurídica y el nivel de participación de los usuarios, los cuales, son aspectos que facilitan la dinamización de las actividades de gestión. Su peso porcentual es uno de los más bajos, por lo cual no tiene mayor relevancia en la sostenibilidad en el minidistrito.

La uniformidad de riego al igual que el factor organización a nivel del minidistrito dado el valor porcentual asignado no son los de mayor relevancia para la sostenibilidad, sin embargo, el CU debe mejorarse en predios, donde se presentan coeficientes de uniformidad pobres para no afectar su rentabilidad. Dado el bajo riesgo de obstrucción por SST y los coeficientes variación normales, las estrategias para fortalecer el factor, deben ligarse a las planteadas para mejorar el estado de las redes y la capacidad de operación de los RLAF

Se encontró débil apoyo institucional y deficiente asistencia técnica y apoyo en la gestión por ello el factor se ubicó en el rango de sostenibilidad baja. De acuerdo al análisis multicriterio es el factor que menos aporta a la sostenibilidad en el ASOLABELLA. Su débil gobernabilidad dificulta mejorar sus condiciones para fortalecer la sostenibilidad de los de los sistemas productivos y sus métodos de irrigación.

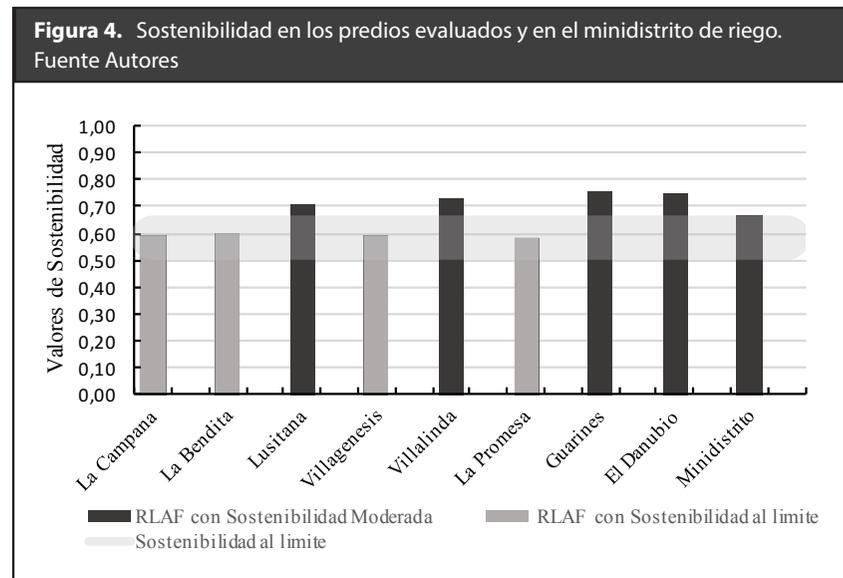
Valoración de la sostenibilidad para cada predio.

La valoración de la sostenibilidad para cada predio se realizó por medio del análisis multicriterio. Para la valoración de la sostenibilidad se tuvo en cuenta el juicio de expertos, la definición de los pesos para cada factor y la verificación de la consistencia de la matriz. Los cálculos se realizaron con la ecuación 2. La **Figura 4** presenta los valores de sostenibilidad de los RLAF obtenidos para cada predio.

La valoración de la sostenibilidad se realizó teniendo en cuenta las siguientes clasificaciones: $S \leq 0,49$ baja sostenibilidad; 0,50-0,66 sostenibilidad al Límite; 0,67-0,83 sostenibilidad moderada; $S > 0,83$ sistema sostenible, valores obtenidos conforme al método establecido por Tiewtoy (2011).

Los resultados muestran una valoración de la sostenibilidad para cada predio entre moderada y en el límite. El valor más bajo correspondió al predio La Promesa con 0,58, mientras que el máximo valor correspondió al predio Guarines con 0,76 La valoración media de la sostenibilidad alcanzó un valor de 0,67 indicando Sostenibilidad Moderada en el minidistrito tendiendo a los valores de Sostenibilidad al Límite.

La alta rentabilidad, la calidad del agua, la organización, y el mantenimiento son los factores que más contribuyen para que en los predios Guarines, Villalinda, Lusitana y el Danubio alcancen una Sostenibilidad Moderada. En estas últimas se destacan también la continuidad generacional, y el apoyo institucional.



Conclusiones

Este trabajo de investigación valoró los factores de mayor incidencia en la sostenibilidad de los métodos RLAF en el minidistrito de la Bella. La metodología de trabajo se basó en el proceso analítico jerárquico (AHP), siendo una herramienta eficaz para el análisis de la sostenibilidad en minidistritos de riego

Los factores que inciden en la sostenibilidad del método de riego localizado en ASOLABELLA son la rentabilidad, la operación, la calidad del agua y la disponibilidad del agua. Los que más favorecen la sostenibilidad son la rentabilidad y la calidad del agua con pesos asignados del 13% y 11% respectivamente. Los márgenes de utilidad hallados en los predios fueron superiores al 38%. Se evidenció bajo riesgo de obstrucción de los RLAF como resultado de la baja concentración de sólidos suspendidos totales en el agua de riego.

Se encontró una valoración de la sostenibilidad Moderada para los métodos RLAF en ASOLABELLA, sin embargo, deben focalizar las acciones en los factores operación y disponibilidad de agua, ya que se definen como los más limitantes para la sostenibilidad

El conflicto entre la oferta y la demanda en épocas secas y la ausencia de conocimientos técnicos para establecer las reglas de operación para la aplicación de caudales y el mantenimiento de los RLAF son las condiciones que requieren ser fortalecidas en los factores de sostenibilidad operación y disponibilidad de agua en el minidistrito.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la organización del minidistrito ASOLABELLA (usuarios y administradores), a la maestría en Desarrollo sustentable, al instituto CINARA y los grupos de investigación REGAR e IREHISA de la Universidad del Valle, por el apoyo en el desarrollo de la investigación.

Referencias

- Elgilany A., Faki H. y Elobeid H (2007). Assessment of on farm water use efficiency in the public irrigated schemes in the river Nile state of Sudan. Paper presented at the International Agricultural Research for Development, 9–11 October:Witzenhausen, Germany. doi: 10.1080 / 19443994.2013.808785
- ASOLABELLA, (2016). Informe Técnico. Programa de Uso Eficiente y Ahorro del Agua. Convenio interadministrativo. No. 402 – 16 de 2016.
- ASAE EP405.1. (2003). Engineering Practice EP405.1, FEB03, Design and Installation of Microirrigation Systems. ASAE, St. Joseph, Michigan. Pp 901-905.
- Bojórquez, F. (2008). Parámetros de agua de riego. Productores de Hortalizas. Available at: <http://www.hortalizas.com/irrigacion/parametros-de-agua-de-riego/>. (Accessed: el 2 de julio de 2020).
- CAF (Banco de Desarrollo de América Latina), (2013). La irrigación eficiente fortalece la agricultura ecológica. [En línea]. Available at: <https://www.caf.com/es/actualidad/noti->

cias/2013/10/la-irrigacion-eficiente-fortalece-la-agricultura-ecologica/?parent=26408. (Accessed: 13 de junio de 2019).

- Charles, M y P. Burt. (2002). Riego por goteo y por micro aspersión para árboles, vides y cultivos anuales, *Vida Rural*, 1: 744-760.
- Daza, M., Reyes-Trujillo, A., Loaiza-Cerón, W., y Fajardo-Vásquez, M.P. (2012) Índice de sostenibilidad del recurso hídrico agrícola para la definición de estrategias sostenibles y competitivas en la Microcuenca Centella Dagua – Valle del Cauca. *Gest. Ambient.*, Volumen 15, Número 2, p. 47-58. Doi:10.15446/ga
- Euderink J., Vollaers V y Wesseling (2017). Informe Tecnico. Problems Obstructing Efficient Water Use In Colombia. Delf
- FAO, (2005). Uso del agua en la agricultura. Enfoques. Available at; <http://www.fao.org/ag/esp/revista/0511sp2.htm>. (Accessed: el 3 de junio de 2017).
- FAO, (2008). El desarrollo del microrriego en américa central. Oportunidades, Limitaciones y Desafíos Cap. IV Factores que se deben considerar para seleccionar el sistema de riego más adecuado. Available at: <http://www.fao.org/3/a-aj470s.pdf>. (Accessed: el 4 de junio de 2018).
- Falconi, F y Burbano R. (2004). Instrumentos económicos para la gestión ambiental: decisiones monocriteriales versus decisiones multicriteriales. *Revista Iberoamericana de Economía Ecológica*. Vol. 1: 11-20
- Fernández, G; Gómez, G y López, J. (2010). Análisis de la sostenibilidad agraria mediante indicadores sintéticos. *Sociedad Brasileira de economía, administración y economía rural*. Tesis (Doctoral). Available at: <https://issuu.com/toribioroman/docs/analisis.ds.indic.sinteticos>. (Accessed el 22 de octubre de 2018).
- Figueira, J., Greco, S. and Ehr Gott, M. (2005) 'Multiple Criteria Decision Analysis, State of the Art Surveys', *Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys*, 78. doi: 10.1007/b100605.
- García C, baucells P, Pérez Leira R, Rodés R. (2003). Organización: Aspecto Clave en la Sostenibilidad de los Sistemas de Riego y en la Eficiencia del Uso del Agua. *Rev Ciencias Técnicas Agropecuarias*;12. Available at: <https://www.researchgate.net/publication/303381703>. (Accessed el 3 de Julio de 2018).
- Gomez-Limon J, Sanchez-Fernandez G.(2009). Empirical evaluation of agricultural sustainability using composite indicators. *Ecol Econ*. 2010;69:1062-1075. doi:10.1016/j.ecolecon.2009.11.027
- H. Ibrahim S. Sustainability Assessment and Identification of Determinants in Community-Based Water Supply Projects using Partial Least Squares Path Model. *J Sustain Dev Energy, Water Environ Syst*. 2017;5:345-358. doi:10.13044/j.sdewes.d5.0153
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM], (2014). Estudio Nacional del Agua 2014. 496 páginas Bogotá, D. C. Available at: http://www.andi.com.co/Uploads/ENA_2014.pdf. (Accessed el 25 de agosto de 2018).

- Latorre J; Sánchez L; Fernández J; Rojas J; Bastidas S y Vargas S, (2003). Análisis de la sostenibilidad en sistemas de agua y saneamiento. 43 proyectos en la zona rural de Nicaragua. IRC-Cinara.
- López, Hernández, Pérez y Gonzales, (1992). Riego localizado, ediciones Multi-Prensa, pp 19-37.
- Ministry of Agriculture and Forestry New Zealand (MAF) (1997). Indicators of sustainable irrigated agriculture. Technical Paper No. 00/03: Manukau, New Zealand.
- Márquez G, (2000). Vegetación, población y huella ecológica como indicadores de sostenibilidad en Colombia. Gestión y ambiente 5. Universidad nacional de Colombia. Available at: <http://www.idea.unal.edu.co/publica/docs/veg-pob-huella-eco.pdf>. (Accessed el 13 de agosto de 2018).
- Masera, O. y López-Riadura. (2000). El Marco MESMIS. En Sustentabilidad y Sistema Campesinos. México, D. F: Mundiprensa
- Millar, A. (1993). Ambiente y sostenibilidad de la agricultura bajo riego en Brasil. Instituto iberoamericano de cooperación para la agricultura. Programa de generación y transferencia de tecnología. Serie de documentos IICA. No. 37. P.77. San José, CR:
- Nakayama F y Bucks, D. (1986). Trickle irrigation for crop production-Desing operation and managment. Edit. Elsevier Science Publishers B. V. Amsterdam. 383 p.
- Noble, N. (2007). Practical answers technical information online. Micro-Irrigation. Available at: http://practicalaction.org/practicalanswers/product_info.php?cPath=24_78&products_id=56. (Accessed el 13 de agosto de 2018).
- Pizarro, C. (1996). Riego localizado de alta frecuencia: Calidad de agua para riego. España: Ediciones Mundi-Prensa, 137 p.
- Ramírez-Jaramillo G., Cano-González A., Tun Dzul J., Sánchez-Cohen I y Lomas-Barrie C. (2007). Diagnóstico y evaluación de sistemas de riego en el minidistrito 048 Ticul, Yucatán Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas.2011.5-18. Available at: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=263120987001>. [Consultado el 2 de junio de 2018]. (Accessed el 19 de noviembre de 2019).
- Reche, (1993). Limpieza y mantenimiento de las instalaciones de riego por goteo. Hojas Divulgadoras Nro. 8-9/93 HD 63 pp. Available at https://www.mapama.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1993_08-09.pdf. (Accessed el 12 de octubre de 2019).
- Saaty T.(2008). Decision making with the Analytic Hierarchy Process. Int J Serv Sci Int J Serv Sci. 2008;1:83-98. doi:10.1504/IJSSCI.2008.017590
- Salazar L, Saravia R, Rafael R. (2010). Sustentabilidad y Autogestión de Sistemas de Riego. Programa de Desarrollo Agropecuario Sustentable PROAGRO. Cochabamba. Bolivia. 67 pp. [En línea]. Available at: <https://wocatpedia.net/images/temp/2/2f/20130121114029!phpjyLpiN.pdf>. (Accessed el 13 de agosto de 2019).
- Santhi C., Pundarikanthan NV. (1996). Irrigation Scheduling in a Developing Country: Experiences from Tamil Nadu, India. Irrigation Scheduling: From Theory to Practice-Proceedings. Water Report 8. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO):

Rome, Italy. Available at: <http://www.fao.org/3/w4367e/w4367e17.htm>. Consultado el 28 de noviembre de 2018. (Accessed el 18 de noviembre de 2019).

Stockle CO, Papendick RI, Saxton KE, Campbell GS. (1994.) A framework for evaluating the sustainability of agricultural production system. *American Journal of Alternative Agriculture* 9(1&2): 45-51. <https://doi.org/10.1017/S0889189300005555>

Tiewtoy S, Clemente R, Perret S, Babel M, Weesakul S. (2011). Irrigation sustainability assessment of selected projects in the Chin Basin, Thailand. *Irrig Drain*. 2011;60:296-307. doi:10.1002/ird.583

Vichi-Flores, (2013). Adopción de tecnología de riego para el uso sustentable del recurso hídrico en México. *Trayectorias*. 2013; 15 (36): 65-82. ISSN: 2007-1205. Available at. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=607/60727448004>. (Accessed el 15 de noviembre de 2019).

Vermeiren, L. y Jobling, G. (1986). Riego localizado. Serie Riego y Drenaje, N° 36. Roma: FAO, 203 p.