

Dossier: Gobernanza y gestión sostenible

## **Sostenibilidad en la gestión del riego en seis empresas agroexportadoras de *Carica papaya L* en el departamento de Petén, Guatemala**

*Sustainability in irrigation management in six agro-exporting companies of Carica papaya L in the department of Petén, Guatemala*

 Marco Antonio Martínez-Cuestas <sup>a</sup>

 Nicolás González-Cortés <sup>b</sup>

 Ana Laura Luna-Jiménez <sup>b</sup>

<sup>a</sup> Universidad de San Carlos de Guatemala (USAC)

<sup>b</sup> Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT), México

**Cómo citar:** Martínez-Cuestas, M. A., González-Cortés, N., & Luna-Jiménez, A. (2024). Sostenibilidad en la gestión del riego en seis empresas agroexportadoras de "Carica papaya L" en el departamento de Petén, Guatemala. Revista Kawsaypacha: Sociedad Y Medio Ambiente, (14), D-012. <https://doi.org/10.18800/kawsaypacha.202402.D012>



**Resumen:** En el departamento de Petén, en Guatemala, se ubican empresas agroexportadoras de papaya (*Carica papaya L.*) con requerimientos hídricos para su producción. Sin embargo, su extracción puede ocasionar a mediano plazo el agotamiento de los mantos subterráneos y superficiales. Por ello, el objetivo de la presente investigación fue evaluar la sostenibilidad de los sistemas de riego en seis empresas agroexportadoras de papaya (*Carica papaya L.*) del departamento de Petén, Guatemala. Para el análisis de la sostenibilidad en las empresas objeto de estudio se utilizó estadística descriptiva e inferencial, aplicando medidas de dispersión, variabilidad, asimetría y pruebas de normalidad de datos. Con esta información fue posible la propuesta de un modelo para evaluar la gestión sostenible del recurso hídrico. Como instrumento de recolección de datos se utilizó la observación, un cuestionario estructurado y otro no estructurado, además de una cédula de registro conformada por indicadores a nivel experimental que permitieron proponer el modelo con un índice para evaluar la sostenibilidad. A partir de la aplicación del modelo se obtuvo el Índice de Impacto Sostenible del Riego con una valoración de 0.64, lo cual localiza a los sistemas de riego de

las empresas bajo estudio en la categoría poco sostenible. Por esto, se recomienda implementar sistemas de gestión basados en planes de restauración vegetal en zonas de recarga hídrica, estudios de calidad de aguas superficiales y subterráneas, así como de impacto ambiental, y generar una cultura de educación sostenible y de uso eficiente del agua para riego.

**Palabras clave:** Agotamiento. Índice. Impacto. Gestión. Recurso hídrico. Petén, Guatemala.

**Abstract:** In the department of Petén, Guatemala, there are agro-exporting companies producing papaya (*Carica papaya* L.) with significant water requirements. However, the extraction of water can potentially lead to the depletion of groundwater and surface water sources in the medium term. Therefore, the objective of this research was to evaluate the sustainability of irrigation systems in six agro-exporting papaya (*Carica papaya* L.) companies in the department of Petén, Guatemala. For the analysis of sustainability in the studied companies, descriptive and inferential statistics were used, applying measures of dispersion, variability, skewness, and normality tests of data. With this information, a model for evaluating the sustainable management of water resources was proposed. Data collection instruments included observation, a structured questionnaire, an unstructured questionnaire, and a registration form with experimental indicators that allowed for the proposal of a model with an index to assess sustainability. The application of the model resulted in the Irrigation Sustainable Impact Index with a rating of 0.64, which places the irrigation systems of the studied companies in the category of low sustainability. Therefore, it is recommended to implement management systems based on plans for vegetative restoration in water recharge areas, studies of surface and groundwater quality, as well as environmental impact assessments, and to foster a culture of sustainable education and efficient water use for irrigation.

**Keywords:** Car use. Attitudes. Climate change awareness. Socioeconomic factors. México.

## 1. Introducción

Según datos de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación (FAO, 2015), se estima que para el año 2050 la agricultura tendrá que producir 60% más de alimentos a nivel mundial y un 100% en los países emergentes. En diversas regiones del mundo, el cambio climático se traducirá en sequías, por lo que menos lluvia creará necesidades mayores de irrigación (Bourzac, 2013). Para mitigar la situación de baja producción de alimento a causa de las sequías, se presenta como alternativa la producción sostenible en las empresas agrícolas, que permite implementar una gestión adecuada en el uso de los recursos.

Existen elementos que asocian la crisis mundial del agua con la inseguridad alimentaria y la pobreza. En el informe presentado por el Foro Económico Mundial (2015), la crisis del

agua se clasificó como el factor número uno en términos de impacto en la sociedad, por encima de las enfermedades infecciosas, las armas de destrucción masiva y las crisis fiscales (Vollmer et al., 2016).

Regiones como Oriente Medio y Norte de África han alcanzado el límite de aprovechamiento del agua, lo que las ha llevado a sobreexplotar los recursos hidráulicos superficiales y subterráneos, creando un impacto negativo en el ambiente. En países que dependen del agua subterránea para uso en el riego, el exceso de extracción está provocando que los niveles freáticos de agua dulce desciendan a un ritmo alarmante (Salazar et al., 2014).

Por otro lado, el crecimiento de la población, urbanización, industrialización y el aumento de la producción y consumo, ocasiona una demanda de agua dulce cada vez mayor. El sector agrícola representa aproximadamente el 70% de todas las extracciones de agua dulce a nivel mundial, y más del 90% en la mayoría de los países menos desarrollados (UNESCO, 2014).

En el caso de Guatemala, se cuenta con una oferta anual de agua adecuada para satisfacer la demanda del recurso, pero con una gestión integrada incipiente. Ante esta situación, el cambio climático presenta un riesgo adicional debido a la reducción, disponibilidad y calidad del recurso hídrico que podría afectar el acceso de la población a cantidades adecuadas y a los medios de subsistencia, así como al desarrollo socioeconómico y preservación de los ecosistemas (Basterrechea & Guerra, 2019). Esto conlleva a la búsqueda de sistemas de riego que permitan un manejo eficiente del agua, pues la mayor parte de las zonas agrícolas cuentan con tecnología de riego inadecuada que genera pérdidas significativas (Flores et al., 2014).

El objetivo de la presente investigación es evaluar la sostenibilidad de los sistemas de riego en seis empresas agroexportadoras de papaya (*Carica papaya* L.) en el departamento de Petén, Guatemala, mediante el diseño de un modelo de indicadores que permita contribuir a la gestión del recurso hídrico a partir de características de modelos y marcos de evaluación relevantes en aspectos de sostenibilidad, debido a la necesidad de contribuir para la reducción del agotamiento de las fuentes de agua.

Asimismo, con este estudio se ha logrado generar indicadores vinculantes para la formulación de propuestas de protección y conservación de las fuentes de agua superficial y subterránea, con un enfoque económico, pero sin olvidar la responsabilidad social y ambiental de las empresas, que permite contribuir a la búsqueda de soluciones para esta problemática en el departamento de Petén, Guatemala.

Por otro lado, se logra desarrollar un enfoque de clasificación para las variables basado en el modelo Presión-Estado-Respuesta (PER), pero con una carga porcentual igual para los factores ambientales y socioeconómicos, que consideran componentes sobre

indicadores de tipo inversión y educación que presentan los modelos de sostenibilidad empresarial, triple cuenta de resultados y cuatro pilares de la sostenibilidad.

## **2. Metodología**

### **2.1 Tipo de investigación**

La investigación posee un enfoque mixto con un alcance descriptivo. El proyecto se realizó durante dos ciclos climáticos completos (época de lluvia y seca) pertinentes para el cultivo analizado. Con ello se aseguró la representatividad de los datos para las variables estudiadas según las variaciones climáticas. Asimismo, el alcance de la investigación permitió especificar las propiedades y características del objeto de estudio mediante la medición simultánea de las variables, siguiendo los lineamientos metodológicos expuestos por Hernández et al. (2014).

Por otro lado, se seleccionaron indicadores que incluyen variables de sostenibilidad ambiental, bienestar social y prosperidad económica para determinar la sostenibilidad de los sistemas de riego en las empresas agroexportadoras de papaya (*Carica papaya* L.) localizadas en el departamento de Petén, integrándolo en un modelo basado en el Índice de Impacto Sostenible del Riego (IISR).

### **2.2 Método**

El método utilizado en la investigación es el hipotético-deductivo, el cual permitió observar, ordenar, clasificar, crear hipótesis y sistematizar las variables generales involucradas en el estudio para llegar a conclusiones específicas.

### **2.3 Análisis estadístico**

Para la evaluación y el análisis de la sostenibilidad y el desarrollo del Índice de Impacto Sostenible del Riego (IISR) en las seis empresas agroexportadoras de papaya seleccionadas, se utilizó estadística descriptiva e inferencial, aplicando medidas de dispersión, variabilidad, asimetría y pruebas de normalidad de datos, con esta información fue posible obtener resúmenes de los resultados mediante tablas de contingencia, gráficas dinámicas y el modelo IISR propuesto.

El procesamiento de la información obtenida se realizó en una base de datos utilizando el programa Microsoft Office Excel © 2019 y posteriormente se analizó mediante el software estadístico de IBM SPSS Statistics Versión 25.

### **2.4 Definición de población y muestra**

La población de estudio fueron las seis empresas agrícolas productoras de papaya (*Carica papaya* L.), localizadas en el departamento de Petén, orientadas al mercado de

exportación, principalmente a los países de Estados Unidos de Norte América y El Salvador. Para el estudio se consideró la utilización de la población en su totalidad.

Para llevar a cabo el estudio se contó con la autorización previa de las empresas, para ser citadas con la razón de inscripción social civil que las acredita en la Gremial de Productores y Exportadores de Papaya de Guatemala (GREPAPAYA).

## **2.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

Todos los instrumentos de recolección de datos fueron aplicados a 65 informantes calificados y previamente seleccionados, logrando incluir a gerentes, administradores, profesionales, operativos y personal de campo, con esta información se logró realizar una triangulación de datos.

- **Entrevista no estructurada**

La entrevista no estructurada es aquella que no presenta un patrón fijo, sino una serie de temas con posibles cuestiones que pueden plantearse a la persona entrevistada. Así, dependiendo hacia dónde sea dirigida la entrevista, es necesario hacer uso de los diferentes temas trabajados, con ello, la entrevista se construye simultáneamente a partir de las respuestas de los entrevistados (Folgueiras, 2016).

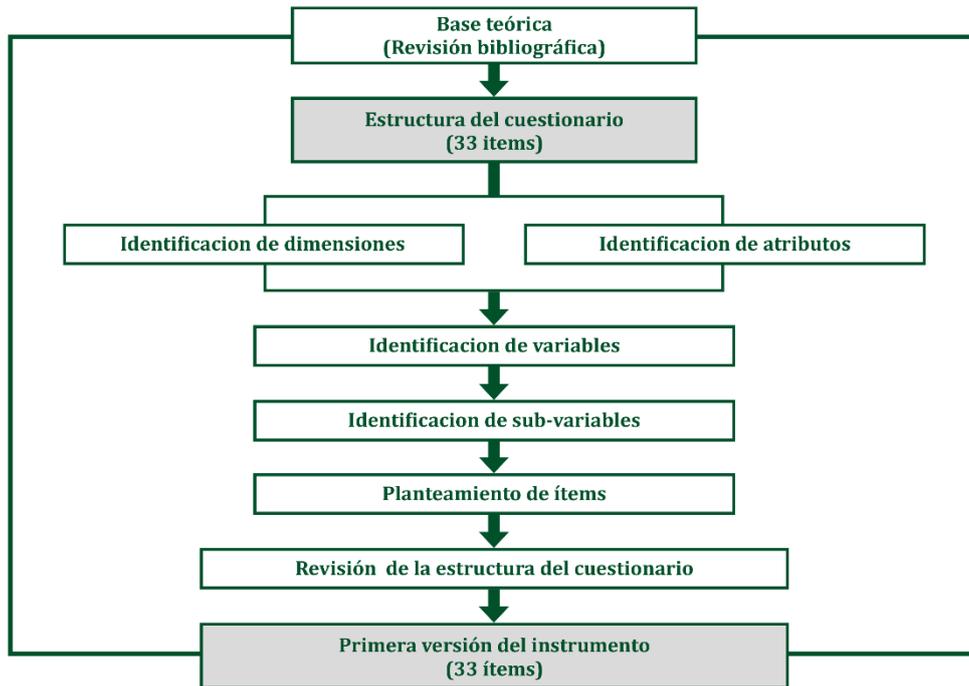
Este instrumento permitió obtener información complementaria al cuestionario, con la finalidad de utilizar algunos argumentos necesarios, para tener un panorama amplio que permita el desarrollo y construcción de los resultados, así como emitir conclusiones y recomendaciones sólidas y confiables.

- **Cuestionario**

El cuestionario se construyó con una serie de preguntas cerradas y clasificadas por una escala de medición tipo Likert para las variables, estructurada por diferentes modelos y marcos de medición de la sostenibilidad a nivel empresarial y de agrosistemas, con un enfoque Presión-Estado-Respuesta (PER) establecido por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) en el año 1993 (Martínez et al., 2021).

Asimismo, y como señalan Hernández et al. (2014), todo instrumento de recolección de datos debe reunir tres requisitos esenciales: confiabilidad, validez y objetividad. En la Figura 1 se observa el diagrama contextual y sistematizado que se realizó en el diseño del instrumento en la Fase I. En esta fase se desarrolló la versión inicial del instrumento, que contempla 33 ítems estructurados mediante la base teórica bibliográfica consultada y definida para su efecto.

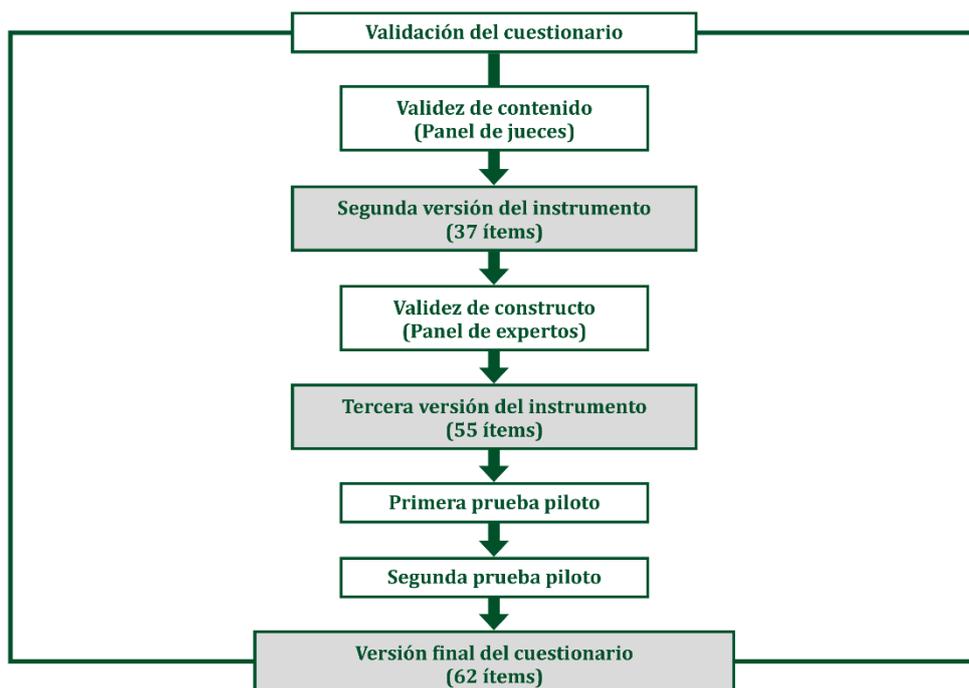
**Figura 1. Estructura inicial del cuestionario (Fase I)**



Fuente: Elaboración propia basada en Martínez et al. (2021).

El instrumento con las variables seleccionadas para los indicadores se validó mediante un proceso sistemático, detallado y riguroso a partir de la revisión bibliográfica, argumentación de jueces y expertos en el área de desarrollo sostenible y ciencias agrícolas, y la realización de dos pruebas piloto espaciadas temporalmente. En la Figura 2 se muestra la segunda fase donde se realizó la validación del instrumento.

**Figura 2. Proceso de validación del cuestionario (Fase II)**



Fuente: Elaboración propia basada en Martínez et al. (2021).

Esta metodología permitió el desarrollo de elementos vinculantes mediante 9 subvariables, con 58 indicadores que reúnen 26 aspectos relevantes: costo, protección, tecnología, mantenimiento, regulaciones, nutrición vegetal, rendimiento, rentabilidad, exportación, uso del riego, precipitación, abastecimiento hidrográfico, importancia del agua, combustible, fertilizante, biocidas, desechos sólidos, educación, restauración vegetal, calidad de agua, conflictos por agua, empleo, trato laboral, igualdad, equidad y discriminación.

El modelo PER brinda una categorización y sistematización de la sostenibilidad en los sistemas de riego de las seis empresas agroexportadoras de papaya (*Carica papaya* L.) seleccionadas para el estudio. La selección del enfoque de PER permite identificar aquellos factores que ejercen presión sobre los recursos y pueden conducir a su deterioro. Según Herrera et al. (1996) y Fajardo (2016), este modelo teórico posibilita un análisis integral capaz de diagnosticar problemáticas y proponer acciones correctivas orientadas a la sostenibilidad.

Aunque este estudio se enfoca en el uso del recurso hídrico durante dos ciclos climáticos completos, la adopción del modelo PER permitió formular un indicador útil para medir y comparar la sostenibilidad del riego en diferentes cultivos. Al centrarse solamente en el factor temporal climático, es posible aplicar el mismo indicador a otros cultivos de manera comparable, brindando insumos para la toma de decisiones en el uso del recurso hídrico en la agricultura.

- **Fuentes de información y estrategia de la investigación**

La información primaria se obtuvo de manera directa de las seis empresas agroexportadoras de papaya localizadas en el departamento de Petén, mediante técnicas e instrumentos de recolección descritos anteriormente. Con estos recursos, fue posible recopilar datos confiables y originales que permitieron desarrollar los respectivos análisis e interpretación de los resultados de una manera sintetizada y organizada, para valorizar la sostenibilidad de los sistemas de riego de esas seis empresas agroexportadoras de papaya.

Por otro lado, las fuentes secundarias permitieron obtener información de soporte para la realización de la investigación. Estas fueron libros, investigaciones, tesis doctorales, revistas científicas indexadas, páginas web e instituciones relacionadas con las empresas agroexportadoras, como el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA), el Programa Integral de Protección Ambiental y Agrícola (PIPAA) y la Gremial de Productores y Exportadores de Papaya de Guatemala (GREPAPAYA), quienes poseen información sobre estadísticas de exportación y otros aspectos de carácter económico, social y ambiental de importancia para el estudio.

- **Conceptualización y operación de indicadores**

Para la evaluación, se desarrolló un modelo estructurado por aspectos sobresalientes de otros modelos teóricos, marcos de evaluación y enfoques sistemáticos, en función de 18 indicadores para la variable prosperidad económica, 23 indicadores para la variable sostenibilidad ambiental y 17 indicadores para la variable bienestar social. En la Tabla 1 se muestran las subvariables que representan la prosperidad económica con sus respectivos indicadores e instrumento de medición.

**Tabla 1. Operacionalización de la variable prosperidad económica**

PER	Indicador	Unidad de medida	Instrumento de medición
Presión	Absorción de elementos por las plantas en el riego	N, P, K (%)	Análisis de planta (Laboratorio)
Presión	Rendimiento del riego	Kg/m <sup>3</sup>	(Hussain et al., 2007)
Presión	Costo de producción de cultivo	Q.	Cuestionario
Presión	Rendimiento del cultivo	Q.	Cuestionario
Presión	Rentabilidad del cultivo	Q.	Cuestionario
Presión	Relación B/C del cultivo	Q.	Cuestionario
Presión	Fruto destinado para exportación	%	Cuestionario
Estado	Proporción del costo de riego en el proceso productivo	%	Cuestionario
Estado	Costo de agua	Q./hm <sup>3</sup>	Cuestionario
Estado	Costo de inversión para obtener la fuente de agua	Q.	Cuestionario
Estado	Costo de instalación del sistema de riego	Q.	Cuestionario
Respuesta	Inversión en protección del agua	Q.	Cuestionario
Respuesta	Tecnología en sistema de riego	Categoría	Cuestionario
Respuesta	Cambio de los emisores de riego	Tiempo	Cuestionario
Respuesta	Mantenimiento de los emisores de riego	Tiempo	Cuestionario
Respuesta	Causas más frecuentes de falta de agua para riego	Escala	Cuestionario
Respuesta	Regulación para el uso del agua	Documento	Cuestionario
Respuesta	Rendimiento diferencial sin riego	%	Cuestionario

Fuente: Elaboración propia.

Al clasificar los indicadores para prosperidad económica mediante el enfoque PER, se observa la estructura formada por 7 indicadores de presión, 4 de estado y 7 de respuesta. En la Tabla 2 se muestra la operacionalización de los indicadores de sostenibilidad ambiental.

**Tabla 2. Operacionalización de la variable sostenibilidad ambiental**

PER	Indicador	Unidad de medida	Instrumento de medición
Presión	Huella hídrica máxima	m <sup>3</sup> /Ha/día	Cuestionario
Presión	Uniformidad de caudal	%	Análisis de campo (Modelo de Merriam & Keller, 1978)
Presión	Uniformidad de presión	%	Análisis de campo (Modelo de Merriam & Keller, 1978)
Presión	Consumo de combustible en riego	lt/Ha	Cuestionario
Presión	Tipo de combustible utilizado para riego	Categoría	Cuestionario
Presión	Eficiencia de conducción	%	Modelo (Sandoval, 1989)
Presión	Tipo de fertilizantes utilizados en fertirriego	Categoría	Cuestionario
Presión	Biocidas aplicados en el riego	Categoría	Cuestionario
Presión	Cambio de uso de suelo para riego	Categoría	Cuestionario
Estado	Precipitación pluvial	Milímetros/año	Estación meteorológica
Estado	Fuentes de agua utilizadas	Categoría	Cuestionario
Estado	Abastecimiento hidrográfico	Cuenca	Mapeo
Estado	Abastecimiento hidrográfico	Subcuenca	Mapeo
Estado	Importancia del agua	%	Cuestionario
Respuesta	Calidad química del agua de riego	Partes por millón de elementos	Análisis de agua (Laboratorio)
Respuesta	Manejo de desechos de sistemas de riego	Categoría	Cuestionario
Respuesta	Educación sostenible del riego	Capacitaciones/año	Cuestionario
Respuesta	Educación sobre uso eficiente del agua	Capacitaciones/año	Cuestionario
Respuesta	Tipo de análisis de agua para riego	Categoría	Cuestionario
Respuesta	Estudio de aguas subterráneas	Capacitaciones/año	Cuestionario
Respuesta	Métodos para determinar requerimientos de riego	No. de instrumentos	Cuestionario
Respuesta	Plan de restauración de vegetación	Escala	Cuestionario
Respuesta	Estudio de impacto ambiental del agua	Licencia ambiental	Cuestionario

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 2 se observa que en la clasificación realizada utilizando el enfoque PER, se establecen 9 indicadores de presión, 5 de estado y 9 de respuesta. En la Tabla 3 se puede apreciar la operacionalización de los indicadores para la variable de bienestar social.

**Tabla 3. Operacionalización de la variable bienestar social**

PER	Indicador	Unidad de medida	Instrumento de medición
Presión	Igualdad de género en el riego	% de trabajadores	Cuestionario
Presión	Relación salarial de género	Relación M/H	Cuestionario
Presión	Equidad de género en el riego	Categoría	Cuestionario
Presión	Discriminación de género	Categoría	Cuestionario
Presión	Trato laboral al personal femenino	Categoría	Cuestionario
Estado	Disponibilidad de agua en la comunidad	Horas de agua/día	Cuestionario
Estado	Empleo para personas de la comunidad	%	Cuestionario
Estado	Conflicto de agua en la comunidad	No. de conflictos	Cuestionario
Estado	Relación de consumo de agua comunitaria y en la empresa	Relación C/E	Cuestionario
Estado	Utilización de la fuente de agua en la comunidad	Escala	Cuestionario
Respuesta	Trato laboral al personal	Categoría	Cuestionario
Respuesta	Empleo en la actividad del riego	No. de trabajadores	Cuestionario
Respuesta	Importancia social de la fuente de agua	Escala	Cuestionario
Respuesta	Beneficios para familias de los operarios del riego	Escala de Likert	Cuestionario
Respuesta	Estudio de impacto social	Documentos	Cuestionario
Respuesta	Productividad laboral por volumen de agua	Empleos/hm <sup>3</sup>	(Hussain et al., 2007)
Respuesta	Ocupación laboral por volumen de agua	%	Cuestionario

Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en la Tabla 3, la variable se formuló a partir de 17 indicadores, distribuidos mediante el enfoque PER en 5 de presión, 5 de estado y 7 de respuesta.

## 2.6 Desarrollo de indicadores de sostenibilidad para el riego

A partir de la revisión de literatura, se elaboraron indicadores con variables y subvariables que incluyen las tres dimensiones de la sostenibilidad (ambiental, bienestar social y prosperidad económica). De esta forma, fue posible evaluar el estado actual de los sistemas de riego en las seis empresas agroexportadoras de papaya seleccionadas. En la Tabla 4 se observan los elementos que relacionan a cada dimensión de la sostenibilidad con sus variables.

**Tabla 4. Indicadores seleccionados para evaluar la gestión sostenible del riego**

Variable	Subvariables
Sostenibilidad ambiental	Contaminación ambiental
	Recurso hídrico
	Educación ambiental del riego
Bienestar social	Igualdad de género en el riego
	Impacto en la comunidad por efecto del riego
	Aspectos internos de la empresa
Prosperidad económica	Eficiencia económica del agua
	Costo directo del agua
	Mitigación del uso del agua

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con Ortega et al. (2021), después de la normalización y estandarización de datos realizado en función de las escalas establecidas para la investigación, se elaboraron los coeficientes respectivos del modelo.

Para el Índice de Sostenibilidad Ambiental (*ISA*), se consideró el estudio de tres subvariables: contaminación ambiental, recurso hídrico y educación ambiental del riego. Con ello se formuló el siguiente modelo:

$$ISA = \frac{1.11 \sum_{i=1}^6 CA + 0.67 \sum_{i=1}^{10} RI + 0.95 \sum_{i=1}^7 EAR}{100} \quad (1)$$

En donde:

- *ISA*: Índice de Sostenibilidad Ambiental ( $0 \leq ISA \leq 1$ ).
- *CA*: Contaminación Ambiental.
- *RI*: Recurso Hídrico.
- *EAR*: Educación Ambiental del Riego.

Asimismo, el Índice de Bienestar Social (*IBS*) se desarrolló a partir de tres subvariables, siguiendo la estructura del modelo Presión-Estado-Respuesta (PER): igualdad de género en el riego, impacto en la comunidad por efecto del riego y aspectos internos de la empresa. El modelo queda definido así:

$$IBS = \frac{1.34 \sum_{i=1}^5 IG + 1.33 \sum_{i=1}^5 IC + 0.95 \sum_{i=1}^7 AIE}{100} \quad (2)$$

En donde:

- *IBS*: Índice de Bienestar Social ( $0 \leq IBS \leq 1$ ).
- *IG*: Igualdad de Género en el Riego.
- *IC*: Impacto en la Comunidad por Efecto del Riego.
- *AIE*: Aspectos Internos de la Empresa.

El Índice de Prosperidad Económica (*IPE*) se diseñó considerando la integración de la eficiencia económica del agua, el costo directo y la mitigación del uso del recurso hídrico. De igual forma que las variables de sostenibilidad ambiental y bienestar social, la estructura se generó a partir del modelo Presión-Estado-Respuesta (PER), quedando estructurado de la siguiente manera:

$$IPE = \frac{0.95 \sum_{i=1}^7 EEA + 1.68 \sum_{i=1}^4 CDA + 0.95 \sum_{i=1}^7 MUA}{100} \quad (3)$$

En donde:

- *IPE*: Índice de Prosperidad Económica ( $0 \leq IPE \leq 1$ ).
- *EEA*: Eficiencia Económica del Agua.
- *CDA*: Costo Directo del Agua.
- *MUA*: Mitigación del Uso del Agua.

- **Estructura del índice de Impacto Sostenible del Riego (IISR)**

El desarrollo del Índice de Impacto Sostenible de Riego (IISR) permite consolidar los indicadores de cada variable que fueron estudiadas y normalizadas mediante modelos matemáticos parciales sobre sostenibilidad del riego.

Con la información obtenida sobre las tres variables de la sostenibilidad se determinó el IISR para cada empresa, en forma individual por dimensión y en forma global. El modelo matemático desarrollado para obtener el IISR se estructuró de la siguiente manera:

$$IISR = \frac{ISA + IBS + IPE}{3} \quad (4)$$

En donde:

- *IISR*: Índice de Impacto Sostenible del Riego ( $0 \leq IISR \leq 1$ ).
- *ISA*: Índice de Sostenibilidad Ambiental.
- *IBS*: Índice de Bienestar Social.
- *IPE*: Índice de Prosperidad Económica.

### 3. Resultados y discusión

Con el desarrollo de indicadores de sostenibilidad fue posible evaluar el estado y las condiciones de los sistemas de riego en las seis empresas agroexportadoras de papaya (*Carica papaya* L.) del departamento de Petén en Guatemala.

De inicio se definió y aportó una escala normalizada que permite reducir el error sistemático producido por el sesgo en las escalas utilizadas comúnmente para la medición de la sostenibilidad. Posteriormente se realizó el análisis de cuatro índices integrados por la agrupación de tres subíndices en cada uno, los cuales son vinculantes entre sí y están formados por factores de sostenibilidad ambiental, bienestar social y prosperidad económica.

#### 3.1 Escala de medición para evaluar la sostenibilidad del riego

En lo que respecta a la formulación y normalización de las categorías que permiten medir la sostenibilidad, existen diversos estudios realizados (Ibáñez, 2018, p. 16; García, 2018, p. 42; Vázquez, 2017, p. 29; Loaiza et al., 2012, p. 169; Saldívar et al., 2002, p. 176; Constanza, 2000, p. 50), donde se utilizan criterios de clasificación basados en rangos formulados por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN), el Centro Internacional de Investigación Para el Desarrollo (CIID) o el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) (1997); los cuales corresponden a escalas de 0.0 a 0.20 (malo o muy bajo), 0.20 a 0.40 (pobre o bajo), 0.40 a 0.60 (intermedio o medio), 0.60 a 0.80 (adecuado o alto) y de 0.80 a 1.00 (bueno o muy alto).

Como parte del aporte realizado en el presente estudio, y después de un riguroso y sistemático análisis y discusión de la información, las categorías fueron adaptadas mediante escalas pretransformadas —basado en la información de Ortega et al. (2021) para estudio de experimentos agropecuarios—, esto permite aproximar dichas escalas a

una distribución normal, reduciendo el sesgo de ponderación que existe en las escalas comúnmente utilizadas.

La finalidad de generar esta escala fue que los rangos utilizados normalmente en los diferentes estudios citados muestran valores que no reflejan la categoría descrita, esto debido a presentar un comportamiento de amplitud lineal entre clases. En la Tabla 5 se observa la rúbrica normalizada de escalas pretransformadas que representa el modelo del IISR, así como su respectiva categoría.

**Tabla 5. Ponderación normalizada para el IISR**

Escala	Categoría
0.90 - 1.00	<i>Sostenible</i>
0.65 - 0.89	<i>Moderadamente Sostenible</i>
0.35 - 0.64	<i>Poco sostenible</i>
0.11 - 0.34	<i>Insostenible</i>
0.00 - 0.10	<i>Altamente insostenible</i>

Fuente: Elaboración propia utilizando las escalas pretransformadas de Ortega et al. (2021).

Cada una de las escalas fueron seleccionadas mediante un criterio cuantitativo y cualitativo, que muestra la condición de valorización para cada una de ellas, las cuales se describen a continuación:

- **Escala de 0.00 – 0.10;** presenta características de un completo desequilibrio entre las dimensiones de la sostenibilidad, con una visión de indicadores financieros, enfoque de productividad e importancia social nula, lo que demuestra altos índices de discriminación, desigualdad, acoso y maltrato personal, con evidencia de conflictos por el uso del agua en la comunidad, así como problemas de tipo ambiental que incrementan la huella hídrica, contaminación y una carencia de educación ambiental sobre el riego.
- **Escala de 0.11 – 0.34;** es considerada insostenible por presentar, de igual forma, desequilibrio entre los elementos sociales, ambientales y económicos, pero no presenta factores de discriminación, acoso, ni maltrato personal, aunque persisten los conflictos de uso de agua en la comunidad cercana a la empresa, así como los problemas de tipo ambiental que no permiten tener un control de la huella hídrica y contaminación, presentando una baja educación ambiental sobre el riego.
- **Escala de 0.35 – 0.64;** se considera poco sostenible a pesar de tener un mejor equilibrio entre las dimensiones debido a presentar características de sesgo hacia alguna de ellas, con condiciones de desigualdad y problemas de tipo ambiental referente a contaminación y poca educación ambiental.

- **Escala de 0.65 – 0.89;** muestra una categoría moderadamente sostenible debido a presentar características asociadas a la justicia social, con un alto balance entre los componentes y acciones amigables con la naturaleza y los ecosistemas, y que por su naturaleza posee beneficios por encontrarse en zonas con alta precipitación pluvial y de recarga hídrica, con educación ambiental sobre el uso del recurso hídrico para riego, pero que aún manifiesta problemas con indicadores internos.
- **Escala de 0.90 – 1.00;** en esta escala se considera a los sistemas de riego como sostenibles, debido a tener un completo equilibrio entre las tres dimensiones que componen la sostenibilidad, con inversión en educación ambiental, programas de regeneración de paisajes naturales y cuencas de abastecimiento, amigables con el ambiente, con protocolos que permiten reducir la contaminación ambiental y sistemas de evaluaciones que controlan los indicadores internos y externos de los sistemas de riego.

En general, esta última escala incluye los procesos y estructuras definidas por Sterling et al. (2020), que involucra el uso de recursos, aplicación de reglas, normas y acciones involucradas colectivamente en manejo del riego, que permite la administración y coordinación para fomentar la adaptabilidad, responsabilidad, prosperidad, empoderamiento y equidad al acceso del recurso hídrico y su distribución.

### **3.2 Escala de medición para evaluar la sostenibilidad del riego**

La construcción de un sistema que permite determinar el grado de sostenibilidad de los sistemas de riego en las seis empresas agroexportadoras de papaya (*Carica papaya* L.) ubicadas en el departamento de Petén, se fundamentó estructuralmente en la fusión de dos componentes. Por un lado, el Índice de Impacto Sostenible del Riego (IISR) que brinda un valor fácil de comprender basado en la suma de factores, componentes e indicadores involucrados en el estudio, y por el otro, los elementos dinámicos y metodológicos del modelo desarrollado.

### **3.3 Estructura del Índice de Impacto Sostenible del Riego (IISR)**

El desarrollo del IISR permite consolidar los indicadores de cada variable, que fueron estudiadas y normalizadas mediante modelos matemáticos parciales sobre sostenibilidad del riego.

El modelo se estructuró considerando los aspectos clave del enfoque Presión-Estado-Respuesta (PER), que consiste en la organización de la información y el uso lógico del efecto de causalidad que reconoce las relaciones de acción y respuesta entre actividades económicas, sociales y el medioambiente.

En este contexto, el modelo PER se enfoca en el estado de los recursos naturales y el ambiente, presentando la parte social como la responsable de implementar medidas que

manifiesten una respuesta a la mitigación de dichas presiones generadas por el hombre; mientras que el modelo del IISR incluye todas las dimensiones bajo la misma estructura, mostrando una interacción entre sí. En ese sentido, por ejemplo, las condiciones climáticas podrían estar causando una presión sobre el objeto de estudio, aunque estas a la vez se vean afectadas de manera indirecta por el hombre.

Otra de las variantes de este modelo se encuentra en que el enfoque sobre la sostenibilidad se basa en las mismas tres dimensiones, pero bajo el concepto de prosperidad económica, bienestar social y sostenibilidad ambiental, donde se busca la calidad de vida de la sociedad y no precisamente la adquisición de bienes y servicios, este aspecto permite hacer efectivo el modelo desarrollado.

La clasificación de variables, subvariables e indicadores del modelo de IISR está formado por la integración de diversos instrumentos de recolección de datos a nivel de campo y modelos teóricos aplicados en la valorización de la sostenibilidad de empresas y agrosistemas.

De los modelos triple cuenta de resultados (López, 2015) y cuatro pilares de la sostenibilidad (Soler et al., 2018), se utilizaron algunos indicadores de inversiones y educación, que las empresas realizan en aspectos de capacitación, estudios ambientales, estudios de aguas subterráneas y recarga hídrica, lo cual permite minimizar los efectos de agotamiento del recurso hídrico en los sistemas de riego de las empresas agroexportadoras seleccionadas.

Por otro lado, el modelo IISR presenta como una de sus variantes el ser dinámico en el tiempo, por ello, contiene implícitamente los cuatro niveles jerárquicos del modelo Cubrix, denominados: visualización, optimización, desplazamiento y transformación (Marrewijk, 2010), esto con la finalidad de poder ser un instrumento que permita comparar los sistemas de riego de las empresas en forma interna en función del tiempo y externa con otras del mismo giro empresarial, pero de manera transversal.

En este aspecto, aunque el modelo de IISR no fue evaluado bajo el concepto de temporalidad, sí se plantea como instrumento que pueda ser de utilidad para realizarlo en el futuro, no como evaluación sino para estandarizar niveles sostenibles que deban ser cumplidos como parte de la normativa nacional.

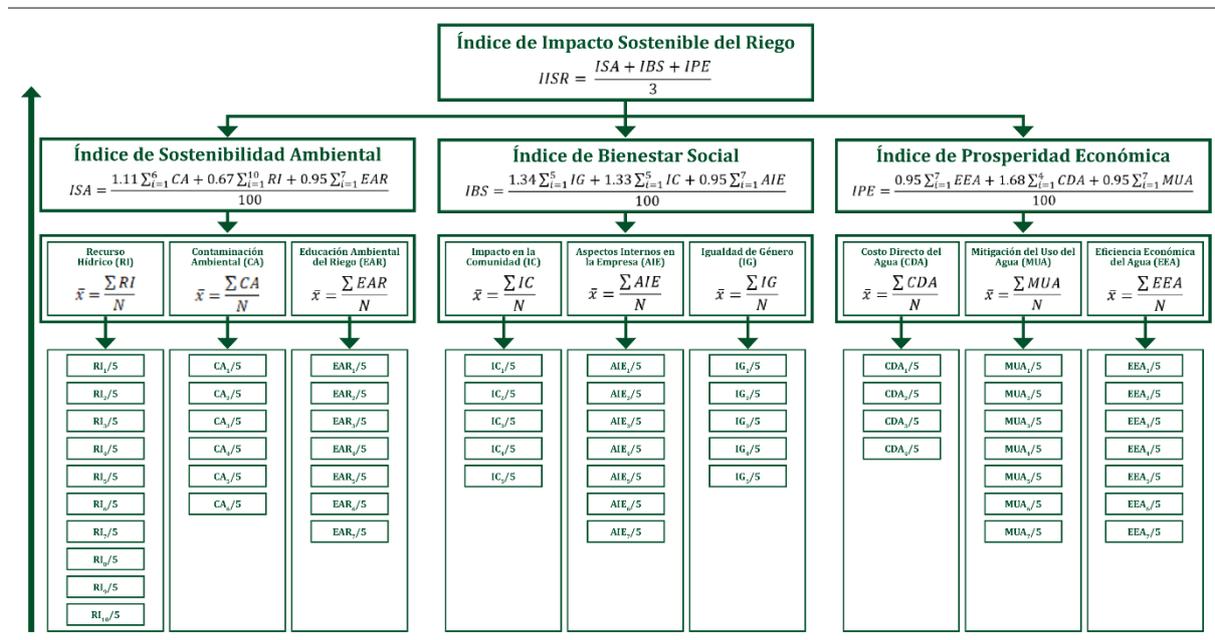
De los modelos estudiados en el marco teórico para evaluar la sostenibilidad en agrosistemas, existen varios puntos que fueron considerados en el nuevo modelo para los sistemas de riego, entre ellos destacan la valorización del modelo Fuerza Motriz, Presión, Estado, Impacto y Respuesta (FPEIR), al considerar la fuerza motriz (Vásquez & García, 2018), interna en el caso de los sistemas de riego, o externas como condiciones climáticas imperantes en cada región y que no son controlables por el hombre, pero impactan en la sostenibilidad del recurso hídrico. Por otro lado, incorpora el componente de bienestar social y las condiciones económicas que se encuentran vinculadas en los indicadores.

A pesar de que el modelo desarrollado en la investigación presenta un mayor número de indicadores ambientales que económicos y sociales, muestra la ventaja sobre el marco de evaluación del Manejo Sustentable de las Tierras —conocido como FESLM por sus siglas en inglés (de acuerdo a Smyth & Dumanski, 1993)—, que permite minimizar el sesgo generado por esta dimensión (ambiental), debido al proceso de normalización de las variables y la ponderación proporcional para cada dimensión; con ello fue posible lograr una contribución porcentual homogénea entre las tres dimensiones del modelo de IISR.

Por otro lado, del modelo de evaluación de sostenibilidad propuesto por De Camino & Müller (1993), se rescataron tres de las cuatro categorías de evaluación y análisis: (1) la base de recursos del sistema, (2) la operación del sistema y (3) recursos exógenos al sistema de entrada o salida. Pero a diferencia del modelo original, este presenta un análisis e integración de los resultados mediante el índice propuesto.

Finalmente, se expone que el modelo IISR comprende las 3 dimensiones de la sostenibilidad (sostenibilidad ambiental, bienestar social y prosperidad económica), con 9 subvariables y 58 indicadores. Estos indicadores se establecieron basados en los objetivos planteados, el criterio de expertos, jueces, la validación y confiabilidad de los instrumentos utilizados en la investigación. En la Figura 3 se observa en resumen el esquema del proceso de obtención del IISR para las seis empresas agroexportadoras de papaya seleccionadas para el estudio.

**Figura 3. Diagrama del índice de Impacto Sostenible del Riego (IISR)**



Fuente: Elaboración propia.

Al evaluar los sistemas de riego de las seis empresas agroexportadoras estudiadas en el departamento de Petén, el IISR presentó una valoración de 0.64, lo cual localiza a los sistemas de riego de estas empresas en una categoría poco sostenible. Esto debido a que

presentan un desequilibrio en las dimensiones de la sostenibilidad, con condiciones de desigualdad, y problemas de tipo ambiental referentes a contaminación y poca educación sobre el tema. En la Tabla 6 se presenta el resumen de los indicadores por variable de sostenibilidad, así como el IISR para cada empresa de manera individual.

**Tabla 6. Índices de Impacto Sostenible del Riego (IISR)**

Empresas	ISA	IBS	IPE	IISR
Rahink S.A.	0.51	0.59	0.75 *	0.62
Producto Tropical del Norte	0.58	0.53	0.78 *	0.63
La Fortaleza	0.51	0.48	0.83 *	0.61
Asociación Nuskaa	0.56	0.57	0.81 *	0.65 *
Green Mine International	0.54	0.59	0.78 *	0.64
ANISA	0.66 *	0.68 *	0.77 *	0.70 *
<b>Índice total de las empresas</b>	<b>0.56</b>	<b>0.57</b>	<b>0.79 *</b>	<b>0.64</b>
<b>Sesgo estandarizado</b>	<b>1.27</b>	<b>0.32</b>	<b>0.50</b>	<b>1.44</b>
<b>Curtosis estandarizada</b>	<b>0.83</b>	<b>0.48</b>	<b>-0.20</b>	<b>1.22</b>
<b>Coefficiente de variación</b>	<b>10.04 %</b>	<b>11.71 %</b>	<b>3.65 %</b>	<b>4.97 %</b>

Fuente: Elaboración propia.

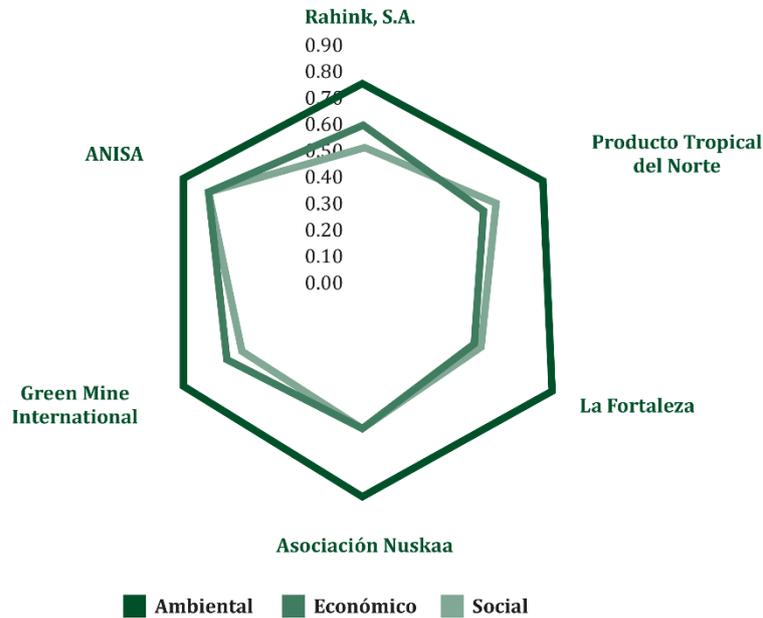
En la Tabla 6 se observa que únicamente el índice de prosperidad económica de los sistemas de riego de las seis empresas se encuentra en una categoría moderadamente sostenible con un índice de 0.79, mientras que los índices de sostenibilidad ambiental y bienestar social se ubicaron en una escala de poco sostenible con valores de 0.56 y 0.57, respectivamente.

Los resultados muestran que el índice de sostenibilidad ambiental y bienestar social de la empresa ANISA se encuentra en la categoría moderada, mientras que las demás empresas se encuentran en una escala poco sostenible. En cuanto a la prosperidad económica, todas las empresas se encuentran en categoría moderada.

Tomando en consideración las características de la investigación, así como la descripción de las empresas agroexportadoras de papaya, es relevante afirmar que la valoración en cada una de ellas y las escalas pretransformadas que se utilizaron como comparador, reflejan el impacto sostenible en los sistemas de riego que se percibieron en la fase de investigación de campo.

Por otro lado, se determinaron medidas de variación de particular interés, como el sesgo y la curtosis estandarizados, las cuales expresan si los datos provienen de una distribución normal. En este caso, los valores estadísticos se encuentran en el rango aceptable de -2 a +2, indicando que no existen desviaciones significativas de la normalidad. En la Figura 4 se presenta en forma gráfica la comparación de los índices de cada dimensión de la sostenibilidad de las seis empresas.

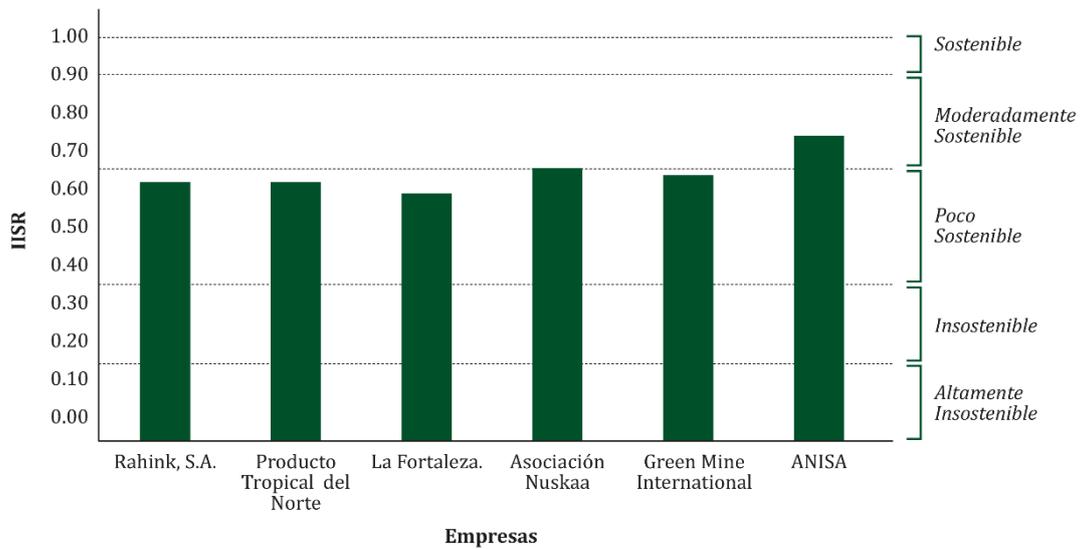
**Figura 4. Dimensiones de la sostenibilidad en los sistemas de riego**



Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 4 se observa la tendencia de los indicadores evaluados para cada empresa, la variable que muestra mayor impacto positivo es la prosperidad económica, con un comportamiento bastante simétrico en todas las seis empresas agroexportadoras de papaya. Por otro lado, en la variable bienestar social se percibe una mayor tendencia en las empresas ANISA, Rahink S.A. y Green Mine International.

Para el caso de sostenibilidad ambiental, la empresa ANISA presentó superioridad, seguida por la agroexportadora Producto Tropical del Norte. Por último, en la Figura 5 se presenta el Índice de Impacto Sostenible del Riego (IISR), el cual consolida y vincula las tres dimensiones de la sostenibilidad mediante el enfoque del modelo PER-R.

**Figura 5. Índice de Impacto Sostenible del Riego (IISR)**

Fuente: Elaboración propia.

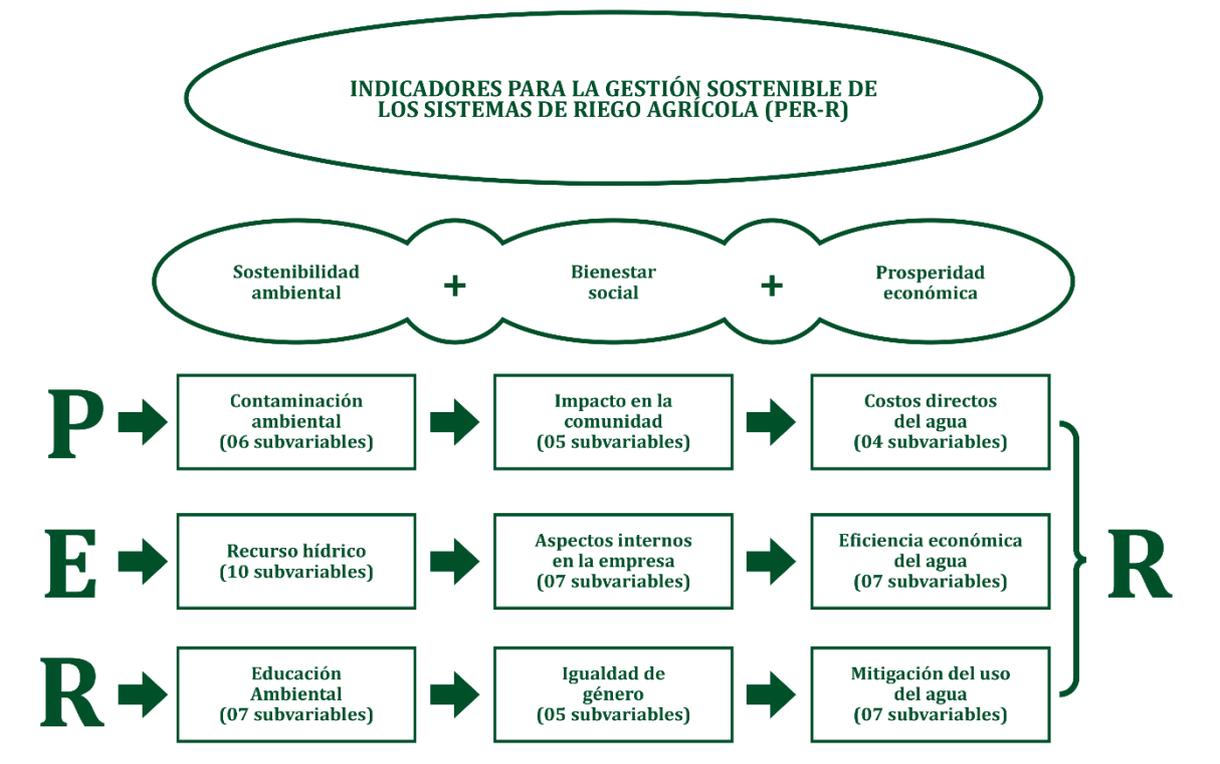
En la Figura 5 se aprecia la escala normalizada en el eje de la ordenada, así como las categorías de sostenibilidad del lado derecho de la gráfica, de esta forma se logra interpretar que únicamente las empresas ANISA y Asociación Nuskaa se localizaron en la categoría moderadamente sostenible, mostrando un IISR de 0.70 y 0.65, respectivamente.

### 3.4 Modelo de indicadores sostenibles de sistemas de riego

Sobre la base del IISR se generó un modelo basado en la lógica estructural del PER, con la diferencia de que el modelo desarrollado no solamente incluye elementos de la variable ambiental, sino que considera factores socioeconómicos que permiten vincular cada variable y subvariable en estudio.

El modelo PER del Riego (PER-R) queda definido con las tres variables de la sostenibilidad y nueve subvariables. En la Figura 6 se aprecia el modelo PER-R como uno de los aportes de la investigación.

**Figura 6. Modelo estructural de Indicadores de Riego PER-R**



Fuente: Elaboración propia.

Para cada variable de sostenibilidad, así como para cada elemento del modelo PER-R, se presenta un análisis e integración de los resultados mediante ecuaciones matemáticas que describen el IISR.

De Vito et al. (2017) realizaron una investigación en Italia, como estudio de caso, sobre «índices para la evaluación de la sostenibilidad de prácticas de riego basadas en marco de Agua-Energía-Alimentos»; tuvo un enfoque comparativo entre la producción de los cultivos estudiados, lo cual aporta indicadores que permiten definir cuáles productos son más sostenibles que otros en una misma empresa.

La utilidad del IISR reside en que permite a las empresas trabajar sobre la gestión sostenible del recurso hídrico, debido a tener un enfoque de evaluación directo sobre los sistemas de riego, valorados, calificados y cualificados desde indicadores de sostenibilidad internos, externos y de desempeño con perspectivas de eficiencia y ecoproductividad del riego, partiendo de variables formuladas de manera independientes pero vinculadas entre sí.

#### 4. Conclusiones

Con relación al objetivo de evaluar la sostenibilidad de los sistemas de riego en las empresas agroexportadoras de papaya (*Carica papaya* L.) del departamento de Petén,

Guatemala, se concluye que la empresa ANISA presentó el menor impacto negativo con un índice de 0.66, mientras que las demás organizaciones evaluadas se localizaron en una categoría baja con índices de 0.51 a 0.58; lo cual genera un mayor impacto negativo en la sostenibilidad ambiental.

En lo que respecta al bienestar social, se obtuvo como resultados que la empresa ANISA se localizó en una escala moderadamente sostenible con un índice de 0.68, mientras que las demás empresas agroexportadoras (Rahink S.A., Producto Tropical del Norte, La Fortaleza, Asociación Nuskaa y Green Mine International) mostraron índices en un rango de 0.48 a 0.59; generando un mayor impacto negativo en la gestión social del riego.

Para el estudio de la prosperidad económica se desarrollaron indicadores vinculantes, que mostraron un índice económico moderadamente sostenible para todas las empresas agroexportadoras de papaya seleccionadas, comprendidos en un rango de 0.69 a 0.83.

La propuesta del modelo de indicadores de sostenibilidad, denominado Índice de Impacto Sostenible del Riego (IISR), quedó estructurado con base en el enfoque Presión-Estado-Respuesta del Riego (PER-R). El modelo se diseñó incluyendo 15 indicadores de Presión, 24 de Estado y 19 de Respuesta, distribuidos en las tres dimensiones de la sostenibilidad, la cual permite medir el estado actual y promover la gestión sostenible de los sistemas de riego en las seis empresas agroexportadoras de papaya.

Por lo anterior, se considera que una de las aportaciones principales de este trabajo de investigación fue estructurar y utilizar una escala normalizada que permite obtener rangos que miden de manera objetiva la sostenibilidad en los sistemas de riego y que puede ser aplicada a mediciones de otros recursos, empresas o regiones.

Con la aplicación del modelo Presión-Estado-Respuesta del Riego (PER-R), basado en el IISR, fue posible clasificar a las empresas del estudio en dos grupos según la categoría de los indicadores: las empresas ANISA y Asociación Nuskaa en una categoría de moderadamente sostenible con IISR de 0.70 y 0.65, respectivamente; mientras que las empresas Rahink S.A., Producto Tropical del Norte, La Fortaleza y Green Mine International se localizaron en un grupo clasificado como poco sostenible, con un IISR de 0.62, 0.63, 0.61 y 0.64, respectivamente.

Se recomienda el desarrollo de investigaciones que permitan aplicar el modelo basado en el IISR a otros sistemas de riego, cultivos y en diferentes temporalidades, con el objetivo de lograr estandarizar y generalizar una metodología que pueda convertirse en una herramienta para medir, gestionar y cumplir normas o leyes de carácter obligatorio que regulen el uso sostenible del recurso hídrico en el riego.

## Referencias

- Basterrechea, M., & Guerra, A. (2019). Recursos hídricos. En E. J. Castellanos, A. Paiz Estévez, J. Escribá, M. Rosales Alconero, & A. Santizo (Eds.), Primer reporte de evaluación del conocimiento sobre cambio climático en Guatemala. (pp. 86–107). Guatemala: Editorial Universitaria UVG.
- Bourzac, K. (2013). Water: The flow of technology. *Nature*, 501(7468), S4-S6. doi:10.1038/501S4a
- Constanza, R. (2000). La economía ecológica de la sostenibilidad. Invertir en capital natural, en Goodland, R. et al. (eds.). Medio ambiente y desarrollo sostenible. Madrid: Trotta (1996). <https://core.ac.uk/download/pdf/38990645.pdf>
- De Camino R. D. & Müller S. (1993). Sostenibilidad de la agricultura y los recursos naturales. Bases para establecer indicadores. San José, Costa Rica. pp. 134. <http://www.sidalc.net/repdoc/A9192E/A9192E.PDF>
- De Vito, R., Portoghese, I., Pagano, A., Fratino, U. & Vurro, M. (2017). An index-based approach for the sustainability assessment of irrigation practice based on the water-energy-food nexus framework. *Advances in Water Resources*, 110, 423–436. doi:10.1016/j.advwatres.2017.10.027
- Fajardo, A. P. (2016). Modelo presión, estado, respuesta (PER), para la clasificación de indicadores ambientales y gestión de la calidad del agua caso: cuenca del río Puyango Tumbes. *Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica*, 19(37). <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/iigeo/article/view/12953/11570>
- FAO (2015). Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación. Informe Regional de América del Sur, Centroamérica y Caribe. Política y legislación, Guatemala. [http://www.fao.org/nr/water/aquastat/countries\\_regions/GTM/indexesp.stm](http://www.fao.org/nr/water/aquastat/countries_regions/GTM/indexesp.stm)
- Foro Económico Mundial. (2015). Global Risks 2015: 10th Edition. Geneva, Switzerland: World Economic Forum. <http://reports.weforum.org/global-risks-2015/>
- Flores G. H., Sifuentes I. E., Flores M. H., Ojeda B. W. & Ramos G. C. (2014). Técnicas de conservación del agua en riego por gravedad a nivel parcelario. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 5 (2), 241-252. <http://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v5n2/v5n2a6.pdf>
- Folgueiras B. P. (2016). La entrevista. Técnicas de recogida de información. 11 <http://diposit.ub.edu/dspace/bitstream/2445/99003/1/entrevista%20pf.pdf>
- García, M. E. (2018). Análisis de Unidades de Manejo para la Conservación de la Vida Silvestre (UMA) de Crocodilianos en México. <http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/94753/UAEM-FaPUR-TEISIS-MONICA-E-GARCIA-GARDU%c3%910.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Hernández, R., Fernández, C. & Baptista, M. P. (2014). Metodología de la Investigación (sexta edición). Albaro Obregón, C.P. 01376, México, D.F. McGraw-Hill/Interamericana Editores, S.A. de C.V. ISBN: 978-1-4562-2396-0. 01-9 pp.
- Herrera, J., Manteiga L., Sunyer C., García M. (1996). Indicadores Ambientales: Una propuesta para España". MIMAM. Estadística y Medio Ambiente 2000. Instituto de Estadística de Andalucía. España. pp: 75-87
- Hussain, I., Turrall, H. & Molden, D.A. (2007). Measuring and enhancing the value of agricultural water in irrigated river basins. *Irrigation Science*, 25(3), 263-282. doi:10.1007/s00271-007-0061
- Ibáñez, R. M. (2018). Medición de la sustentabilidad turística en una pequeña localidad costera a través de indicadores, barómetros y consulta a expertos. *Nova scientia*, 10(21), 475-523. <http://www.scielo.org.mx/pdf/ns/v10n21/2007-0705-ns-10-21-475.pdf>
- Loaiza, W., Reyes, A. & Carbajal, Y. (2012). Aplicación del índice de Sostenibilidad del Recurso Hídrico en la Agricultura (ISRHA) para definir estrategias tecnológicas sostenibles en la microcuenca Centella. *Ingeniería y Desarrollo*. Vol. 30, No. 2. ISSN: 0122-3461. 181 pp.
- López, J. G. (2015). La cuenta del triple resultado o triple bottom line. *Revista de contabilidad y dirección*, 20, 65-77. [https://accid.org/wp-content/uploads/2018/11/LA\\_CUENTA\\_DEL\\_TRIPLE\\_RESULTADO.pdf](https://accid.org/wp-content/uploads/2018/11/LA_CUENTA_DEL_TRIPLE_RESULTADO.pdf)

- Marrewijk, M. V. (2010). The Cubrix, an Integral Framework for Managing Performance Improvement and Organisational Development. *Technology and Investment*, 01(01), 1-13. <http://dx.doi.org/10.4236/ti.2010.11001>
- Martínez, M. A., González, N., Lorenzo, S. & Jiménez, A. L. (2021). Validación de un instrumento para la valoración de la sostenibilidad en sistemas de riego. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 5(1), 535-555. [https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v5i1.250](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v5i1.250)
- Merriam, J. L. & Keller, J. (1978). *Farm irrigation system evaluation: A guide for management*. Farm irrigation system evaluation: a guide for management.
- Ortega, J. G., Lucio, A. V., Ganchozo, B. I., Piguave, C. C., Tumbaco, M. V., Cobeña, J. A. & Velásquez, R. V. (2021). DISEÑOS EXPERIMENTALES: Teoría y práctica para experimentos agropecuarios. Universidad Estatal Del Sur de Manabi (UNESUM). Grupo de Capacitación e Investigación Pedagógica (COMPAS), Ecuador. 2da. Ed. ISBN:978-9942-33-381-0 [https://www.researchgate.net/profile/Julio-Gabriel/publication/349591994\\_Disenos\\_Experimentales\\_-\\_Febrero\\_23\\_2021\\_SEGUNDA\\_EDICION/links/6037efc7a6fdcc37a85155b9/Disenos-Experimentales-Febrero-23-2021-SEGUNDA-EDICION.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Julio-Gabriel/publication/349591994_Disenos_Experimentales_-_Febrero_23_2021_SEGUNDA_EDICION/links/6037efc7a6fdcc37a85155b9/Disenos-Experimentales-Febrero-23-2021-SEGUNDA-EDICION.pdf)
- Salazar, R., Rojano, A. & López, L. (2014). La eficiencia en el uso del agua en la agricultura controlada. *Tecnología y ciencias del agua*, 5(2), 177-183.
- Saldívar, A., Barrera, A., Rosales, P. & Villaseñor, E. (2002). Tres metodologías para evaluar la su sustentabilidad: 10 años después de Río. *Investigación económica*, 62(242), 159-185. <http://www.scielo.org.mx/pdf/ineco/v62n242/0185-1667-ineco-62-242-159.pdf>
- Sandoval, J. E. (1989). *Principios de riego y drenaje*. Editorial Universitaria, Colección Aula. Universidad de San Carlos de Guatemala. Ciudad Universitaria, zona 12, Guatemala, Guatemala. ISBN: 99922-59-81-7. 01-392 pp.
- Smyth, A. & Dumanski, J. (1993), *FESLM: an International Frame work for Evaluating Sustainable Land Management*, World Soil Resources Report No. 73, Roma, FAO.
- Soler, J. A. P., Delgado, F. M., Sanjuán, A. M. B. & García, M. N. (2018). Modelos para evaluar la sostenibilidad de las organizaciones. *Estudios Gerenciales*, 63-73. [https://www.icesi.edu.co/revistas/index.php/estudios\\_gerenciales/article/view/2662/3411](https://www.icesi.edu.co/revistas/index.php/estudios_gerenciales/article/view/2662/3411)
- Sterling, E., Pascua, P., Sigouin, A., Gazit, N., Mandle, L., Betley, E., ... & Mccarter, J. (2020). Navigating Multidimensional Measures of Sustainability and Well-Being Across Scales. *Sustainability Science*, 15(4), 1129-1147. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03034178/>
- UNESCO (2014). *Water and energy*. The United Nations World Water Development Report 2014. Vol. 1. FAO. UNEP. WWDR. The World Bank. 132 pp. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000225741>
- Vásquez, R. A. & García, R. M. (2018). Indicadores PER y FPEIR para el análisis de la sustentabilidad en el municipio de Cihuatlán, Jalisco, México. *Nósis. Revista de Ciencias Sociales y Humanidades*, 27(53-1), 1-26.
- Vázquez, M. P. (2017). *Evaluación de la sustentabilidad de las unidades de manejo para la conservación de la vida silvestre en Tabasco, México* (Doctoral dissertation, El Colegio de la Frontera Sur). [https://ecosur.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1017/1414/1/100000006959\\_documento.pdf](https://ecosur.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1017/1414/1/100000006959_documento.pdf)
- Vollmer, D., Regan, H.M. & Andelman, S.J. (2016). Assessing the sustainability of freshwater systems: A critical review of composite indicators. *Ambio*, 45 (7), 765-780. doi: 10.1007/s13280-016-0792-7

### **Conflicto de Intereses**

Los autores declaran que no tienen conflicto de intereses.

### **Rol en la investigación según la clasificación (CRediT):**

- **Marco Antonio Martínez-Cuestas**  
Investigación
- **Nicolás González-Cortés**  
Validación
- **Ana Laura Luna-Jiménez**  
Validación: Responsable de presentar el manuscrito.

### **Marco Antonio Martínez-Cuestas**

Doctor en Investigación para el Desarrollo Social. Miembro de la RED Internacional de Ciencia, Tecnología e Innovación de Guatemala. Miembro Revisor de revistas indexadas de México y Perú. Es profesor/investigador de la Universidad de San Carlos de Guatemala en el Centro Universitario de Petén.

**Correo:** marco27879@gmail.com

### **Nicolás González-Cortés**

Doctor en Educación con Énfasis en Enseñanza de las Ciencias, Maestro en Ciencias en Biotecnología Agropecuaria, Ingeniero Agrónomo, por el Instituto Tecnológico Agropecuario, Veracruz. Es profesor/investigador Titular A del Sistema Nacional de Investigadores (SNI) México. Su línea de investigación se centra en el desarrollo alimentario sustentable.

**Correo:** ngcbiotec@hotmail.com

### **Ana Laura Luna-Jiménez**

Doctora en Alta Dirección en el Instituto Universitario Puebla, Campus Villahermosa. Ha recibido el reconocimiento Magna Cum Laude en la Maestría en Ciencias en Planificación de Empresas y Desarrollo Regional del Instituto Tecnológico de Mérida. Cuenta con una licenciatura en Contaduría Pública por la Universidad Autónoma de Yucatán. Es profesora/investigadora.

**Correo:** ana.ljimenez75@gmail.com

**Revista Kawsaypacha: Sociedad y Medio Ambiente.**

N° 14 julio – diciembre 2024. E-ISSN: 2709 – 3689

**Cómo citar:** Martínez-Cuestas, M. A., González-Cortés, N., & Luna-Jiménez, A. (2024). Sostenibilidad en la gestión del riego en seis empresas agroexportadoras de "Carica papaya L" en el departamento de Petén, Guatemala. Revista Kawsaypacha: Sociedad Y Medio Ambiente, (14), D-012. <https://doi.org/10.18800/kawsaypacha.202402.D012>