

**Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano**

**Departamento de Ambiente y Desarrollo**

**Ingeniería en Ambiente y Desarrollo**



**Proyecto Especial de Graduación**

**Evaluación de indicadores para uso sostenible de los recursos hídricos a  
escala de cuencas hidrográficas**

**Estudiante**

**Norman Fernando Laínez Pacheco**

**Asesores**

**Josué Aníbal León Carvajal, Mtr.**

**Erika Alejandra Tenorio Moncada, M.Sc.**

**Jeffrey Jose Diaz Sierra, M.Sc.**

**Honduras, agosto 2024**

**Autoridades**

**SERGIO ANDRÉS RODRÍGUEZ ROYO**

Rector

**ANA M. MAIER ACOSTA**

Vicepresidenta y Decana Académica

**VICTORIA CORTÉS MATAMOROS**

Directora Departamento de Ambiente y Desarrollo

**HUGO ZAVALA MEMBREÑO**

Secretario General

### **Agradecimientos**

Quiero expresar mi profundo agradecimiento a todos aquellos que contribuyeron de manera significativa a la realización de mi proyecto especial de graduación. También, deseo reconocer el invaluable respaldo de los miembros de la Unidad Forestal, cuyo apoyo técnico y logístico fue fundamental para llevar a cabo este estudio. A los distinguidos miembros del panel de expertos internacionales, les agradezco sinceramente por dedicar su tiempo y experiencia en la validación de los indicadores propuestos. Finalmente, mi gratitud se extiende a los miembros de la Junta de Agua y del Consejo de la microcuenca de Santa Inés, cuya participación y colaboración fue crucial para la recopilación de datos y la comprensión de los indicadores. Sus contribuciones han enriquecido significativamente este trabajo y han hecho posible su realización.

## Contenido

Agradecimientos .....	3
Índice de Cuadros.....	6
Índice de Figuras .....	7
Índice de Anexos .....	8
Resumen .....	9
Abstract.....	10
Introducción.....	11
Metodología.....	15
Evaluación de Indicadores Relacionados con el Uso Sostenible de los Recursos Hídricos.....	16
Indicadores de Sostenibilidad .....	16
Criterios de Sostenibilidad .....	20
Selección del Panel de Expertos .....	20
Evaluación Multicriterio de Indicadores .....	22
Análisis de datos .....	23
Marco FPEIR y Relación Causal .....	24
Selección de Indicadores de Interés Aptos a Escala de Cuenca.....	25
Selección de la Cuenca Piloto .....	27
Validación de Indicadores con Usuarios Finales .....	28
Resultados.....	32
Evaluación de Indicadores Según Criterios de Sostenibilidad .....	32
Valoración Media de Indicadores por Panel de Expertos.....	34
Indicadores con Mayor Valoración .....	35
Análisis de Indicadores con Marco FPEIR .....	36
Evaluación Multinivel de Indicadores de Interés.....	37

Validación de Indicadores con Usuarios Finales .....	41
Indicadores Finales de Uso Sostenible del Agua a Escala de Cuencas Hidrográficas .....	42
Conclusiones .....	44
Recomendaciones .....	45
Referencias.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Anexos.....	51

### Índice de Cuadros

Cuadro 1	Set de indicadores preseleccionados.....	17
Cuadro 2	Descripción general de los integrantes del Panel de expertos.....	21
Cuadro 3	Escala de evaluación de los indicadores .....	22
Cuadro 4	Panel de usuarios de cuencas. ....	29
Cuadro 5	Indicadores con mayor valoración por panel de expertos.....	35
cuadro 6	Indicadores con más de dos componentes del marco FPEIR.....	36
Cuadro 7	Indicadores con alta valoración con relación al marco FPEIR.....	37
Cuadro 9	Evaluación multinivel para selección de indicadores de interés .....	39
Cuadro 10	Indicadores finales aplicables a escala de cuencas hidrográficas	<b>Error! Marcador no definido.</b>

## Índice de Figuras

Figura 1	Etapas para la evaluación multicriterio de indicadores de usos sostenible de los recursos hídricos.....	15
Figura 3	Marco de referencia de Fuerzas motrices-Presión-Estado-Impacto-Respuestas.....	25
Figura 4	Etapa multinivel de selección de indicadores de interés. ....	27
Figura 5	Mapa de la microcuenca Santa Inés.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Figura 6	Proceso metodológico para evaluación de indicadores con usuarios finales .....	30
Figura 7	Rol de miembros del panel de usuarios finales. ....	31
Figura 8	Histograma de frecuencias de puntuaciones por criterio (panel de expertos).....	33
Figura 9	Resultados de los 24 indicadores valorados por expertos .....	34

### Índice de Anexos

Anexo A	Plantilla de puntuación media del panel de usuarios finales.....	53
Anexo B	Entrevista con usuarios finales .....	55
Anexo C	24 indicadores preseleccionados con sus descripciones.....	61
Anexo D	Herramienta de consulta.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>

## Resumen

En este estudio, se investigó la importancia de los indicadores en la toma de decisiones para la gestión sostenible del agua en cuencas hidrográficas. La investigación destaca la necesidad de que los indicadores sean relevantes para los tomadores de decisiones mediante métodos de multicriterio y multinivel. Se evaluaron 24 indicadores relacionados con el uso y gestión sostenible de los recursos hídricos, seleccionados de la literatura científica y referencias clave. Un panel de 11 expertos proporcionó 1,056 valoraciones según cuatro criterios de sostenibilidad: social, económico, ambiental e institucional. Mediante el análisis del marco FPEIR (Fuerzas Motrices, Presiones, Estado, Impacto y Respuesta), se identificaron 10 indicadores alineados con al menos dos de estos componentes. Una evaluación mixta posterior redujo este número a siete indicadores relevantes, siendo estos las fuerzas impulsoras del cambio en el uso del agua, las presiones sobre los recursos hídricos, su estado actual, los impactos resultantes y las respuestas necesarias para una gestión efectiva. La evaluación multinivel consideró cuatro criterios: fundamento científico, individualidad, escala de cuenca hidrográfica y especificidad. Nueve indicadores cumplieron con todos estos criterios, mientras que 15 no lo hicieron. Los ajustes en las definiciones de los indicadores mejoraron su especificidad sin cambiar significativamente sus descripciones. La validación con usuarios finales, involucrando a 13 miembros del panel, proporcionó 1,248 valoraciones. Los resultados destacaron siete indicadores que cumplen con los más altos estándares de calidad y pertinencia para la evaluación del uso sostenible de los recursos hídricos a escala de cuencas hidrográficas.

*Palabras clave:* Criterios, indicadores de sostenibilidad, panel de expertos, usuarios finales

### **Abstract**

This study investigated the importance of indicators in decision-making for sustainable water management in watersheds. The research highlights the need for indicators to be relevant to decision-makers through multi-criteria and multi-level methods. Twenty-four indicators related to the sustainable use and management of water resources, selected from scientific literature and key references were evaluated. A panel of 11 experts provided 1,056 ratings according to four sustainability criteria: social, economic, environmental, and institutional. Through the FPEIR (Driving Forces, Pressures, State, Impact, and Response) framework components, 10 indicators aligned with at least two of them were identified. A subsequent mixed evaluation reduced this number to seven relevant indicators, reflecting the driving forces of change in water use, pressures on water resources, their current status, resulting impacts, and responses needed for effective management. The multi-level assessment considered four criteria: scientific basis, individuality, watershed scale, and specificity. Nine indicators met all these criteria, while 15 did not. Adjustments made to the indicator definitions improved their specificity without significantly changing their descriptions. End-users' validation, involving 13 panel members, provided 1,248 assessments. The results highlighted seven sustainable water indicators that meet the highest standards of quality and relevance for assessing the sustainable use of water resources at the watershed scale.

*Keywords:* Criteria, end users, panel of experts, sustainable indicators

## Introducción

La importancia de los indicadores durante la toma de decisiones es crucial, especialmente en comparación con otras formas de información. Los indicadores tienen el potencial de ser herramientas decisivas en la formulación de políticas (Borja et al., 2006). Por ello, es fundamental que estos posean características que los hagan relevantes para los responsables de tomar decisiones, más allá de su utilidad para una audiencia técnica especializada (Teerakul et al., 2023). Un buen indicador debe ser capaz de sintetizar y clarificar datos importantes, midiendo, cuantificando o calificando la información de una manera comprensible y accesible (Abdelsalam, 2019).

Actualmente, el uso de indicadores para la gestión y el uso sostenible del agua en las cuencas hidrográficas se considera una estrategia política e institucional que afecta a otros subsistemas y respalda las actividades de manejo sostenible. La implementación de políticas de sostenibilidad en el desarrollo económico, social y ambiental de un municipio, región o nación requiere, en primer lugar, identificar las relaciones de causalidad entre los diversos factores que influyen en la sostenibilidad (Global Water Partnership [GWP], 2014).

Los indicadores desempeñan un papel fundamental en la toma de decisiones al transformar el conocimiento en unidades de información manejables. Facilitan la medición y ajuste del progreso hacia el desarrollo sostenible, sirven como señales de advertencia para prevenir posibles daños económicos, sociales y ambientales, y también se utilizan para comunicar ideas, pensamientos y valores (Cordero et al., 2009). En particular, los indicadores medioambientales resumen grandes volúmenes de datos sobre el entorno en información clave, relevante y comparable, permitiendo un análisis exhaustivo y cuantificable del impacto ambiental de diversas actividades.

Según el (2006) World Water Assessment Programme (2006), Un indicador es un parámetro o variable derivado del entendimiento de un modelo conceptual sobre la dinámica y funciones de un fenómeno natural. Según esta definición, un indicador refleja el estado del fenómeno y sus

tendencias, teniendo en cuenta las acciones que regulan su dinámica y afectan el fenómeno en cuestión.

Las acciones entre la actividad humana y el medio ambiente han sido analizadas en la literatura académica por medio de varios marcos conceptuales, los cuales tienen en común la caracterización de relaciones causa-efecto entre los diferentes elementos del modelo (Sanchez y Ramajo, 2013). En los últimos 20 años, alrededor del 80% de los países han corregido sus leyes sobre el agua en respuesta a la progresiva presión sobre los recursos hídricos, inducida por la expansión de la población, la urbanización y el cambio climático.

Las cuencas hidrográficas deben considerarse como unidades específicas para el análisis ambiental, ya que esto facilita la comprensión y evaluación de sus diversos componentes, así como de los procesos e interacciones que allí ocurren (Braz et al., 2020). Este enfoque no solo proporciona servicios ecosistémicos, sino que también asegura la disponibilidad de agua dulce necesaria para mantener la biodiversidad y mejorar el suministro de agua para el consumo humano. En la región centroamericana, el enfoque en las cuencas hidrográficas ha ganado relevancia, siendo cada vez más común encontrar referencias a las cuencas y microcuencas en documentos de políticas nacionales y regionales como unidades fundamentales para la planificación territorial, en consideración de las comunidades que las habitan (Acosta y Kucharsky, 2012).

Mediante la propuesta de las Naciones Unidas, (2022) para el Monitoreo Integrado de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS 6) tiene como objetivo apoyar a los países en el seguimiento de cuestiones relacionadas con el agua y el saneamiento de manera integrada, en el marco de la *Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible*. Es crucial destacar que la calidad de vida y el desarrollo sostenible requieren una gestión racional y equilibrada de los recursos naturales, especialmente el agua, el suelo y las plantas.

Sin embargo, el deterioro creciente causado por el cambio climático, la contaminación y la destrucción de ecosistemas ha evidenciado el impacto negativo que muchos países enfrentan en la actualidad. Diversas organizaciones, consejos e instituciones gubernamentales han puesto un énfasis considerable en el desarrollo y la enumeración de indicadores ambientales que favorecen la sostenibilidad en distintos sectores. Algunas de estas entidades han creado conjuntos específicos de indicadores para la gestión del recurso hídrico, enfocándose principalmente en aspectos relacionados con la presión y el estado del agua (F. Carreño et al., 2008).

La gestión basada en cuencas hidrográficas representa un avance significativo en la administración de los recursos naturales al ofrecer una visión integral que interrelaciona el suelo, subsuelo, bosques, flora, fauna y otros componentes. No obstante, para ser efectiva, esta gestión requiere una coordinación territorial que equilibre la relación entre la sociedad y los recursos naturales, así como entre la producción y el medio ambiente, la conservación y el uso de los recursos, garantizando equidad e igualdad de oportunidades para todos. Los servicios ambientales, que abarcan beneficios como el suministro de agua, aire limpio y calidad del suelo proporcionados por los ecosistemas, contribuyen de manera directa o indirecta a la mejora de la calidad de vida de las personas.

Los planes de manejo de cuencas hidrográficas actúan como estrategias para asegurar una planificación y gestión que promueva un desarrollo sostenible en el uso de los recursos hídricos. Estos lineamientos regulan las actividades humanas para preservar la calidad y cantidad de los recursos hídricos necesarios para diversas actividades diarias, incluyendo el uso doméstico, la agricultura, el turismo y la generación hidroeléctrica.

La diversidad de actividades económicas puede ser sostenible y optimizada mediante un manejo adecuado de la cuenca. Esto implica un control riguroso de las extracciones, una selección racional de cultivos y la implementación de políticas de ahorro y uso eficiente del agua (Castro et al., 2014). Un análisis integrado de las variables físicas y humanas, junto con el marco legal, aporta un

conocimiento valioso sobre la geografía de un país y apoya el desarrollo regional, con el objetivo de proteger, mejorar y restaurar las cuencas hidrográficas.

Esto implica la necesidad de un proceso de investigación que permita implementar acciones en diversos niveles del estudio, integrar disciplinas e instituciones, y coordinar transacciones entre los actores con criterios de justicia (Winpenny, 2013). Cada vez resulta más evidente que hay una sólida justificación teórica y práctica para utilizar las cuencas hidrográficas como unidades territoriales en la planificación y gestión de los recursos naturales, especialmente en las regiones montañosas.

Diversas instituciones e investigaciones reconocen que la aplicación de prácticas sostenibles en cuencas hidrográficas, cuando se enfoca en el desarrollo y en una gestión adecuada de los recursos naturales y la producción, ofrece servicios compartidos, como la conservación de los recursos, la regulación de las actividades productivas y el incremento del valor de mercado. El World Water Assesment Programme (2024), señala que se ha desarrollado o se ha propuesto una escala asombrosamente amplia de indicadores para monitorear el estado, el uso y la gestión de los recursos hídricos, para una amplia escala de propósitos. Según Garay et al. (2022), menciona que esta expansión en el uso de indicadores “no significa necesariamente que sean científicamente sólidos y/o se utilicen adecuadamente”.

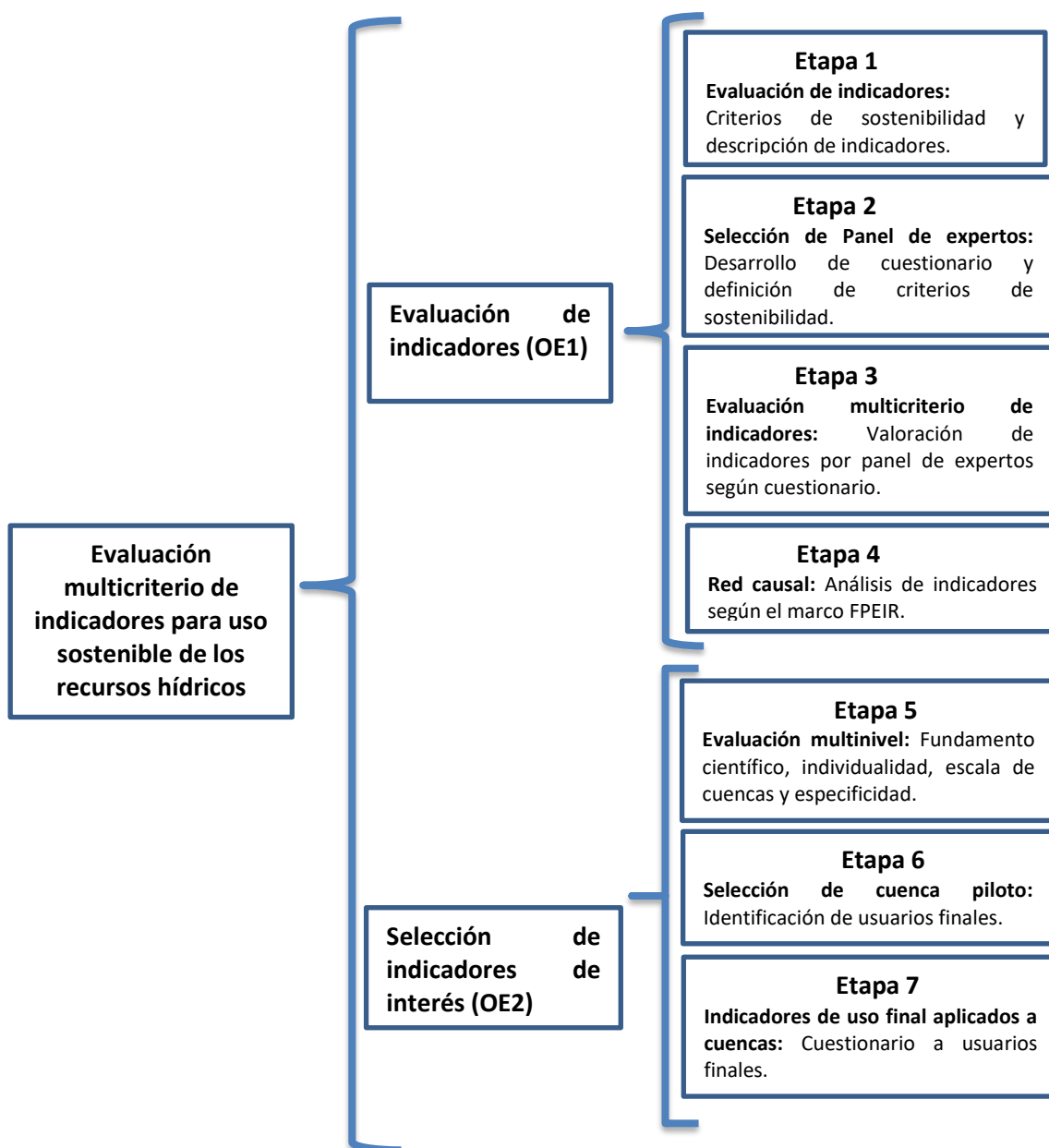
Esta investigación propone realizar la evaluación multicriterio y multinivel de los indicadores más relevantes para el uso sostenible de los recursos hídricos en una cuenca de tamaño pequeño, pero con un grado alto de complejidad por el uso del agua. Para la evaluación, se proponen cuatro criterios de sostenibilidad: los aspectos sociales de habitantes y usuarios del agua, los aspectos ambientales, la dimensión económica y el marco institucional o gobernanza del agua en la cuenca. Para lograr este propósito, se plantearon los objetivos: a) Evaluar un conjunto de indicadores relacionados con el uso sostenible de los recursos hídricos presentados por organismos internacionales y la comunidad científica, y b) Seleccionar indicadores de interés aptos para aplicación a escala de cuenca hidrográfica mediante consulta con usuarios finales.

## Metodología

Los indicadores desempeñan un papel crucial en el uso sostenible del agua al proporcionar mediciones clave que permiten evaluar tanto la gestión como el impacto de las prácticas relacionadas con este recurso vital. Este estudio comenzó con una evaluación multicriterio y multinivel de indicadores para el uso sostenible de los recursos hídricos, con el objetivo de evaluar la viabilidad de diferentes opciones de gestión del agua. El marco metodológico utilizado para alcanzar los objetivos propuestos se presenta en la Figura 1.

**Figura 1**

*Etapas para la evaluación multicriterio de indicadores de usos sostenible de los recursos hídricos*



## **Evaluación de Indicadores Relacionados con el Uso Sostenible de los Recursos Hídricos**

Esta investigación toma como base del estudio de Carneiro (2015) y búsquedas en fuentes digitales logrando acceder a varios sitios *web* de revistas e instituciones, así como en bases de datos y buscadores académicos (Biblioteca Wilson Popenoe, *Web of Science*, *SCOPUS*, *ScienceDirect*, *Google Scholar* y otros). Entre las fuentes, se encontraron publicaciones de instituciones de prestigio internacional por su excelente trabajo sobre la aplicación de indicadores en recursos hídricos orientados a la sostenibilidad (Cuadro 1).

Este método de revisión de literatura, es fundamental para asegurar que la investigación sea válida, confiable y útil para avanzar en el conocimiento en un campo específico (Union Europea [UE], 2014). La búsqueda se llevó a cabo utilizando las palabras clave: "Indicadores de uso sostenible de recursos hídricos". Se seleccionaron artículos de investigación revisados por pares publicados entre 2000 y 2023. El objetivo principal de este estudio fue evaluar investigaciones que permitieran entender los indicadores de uso sostenible del recurso hídrico y sus interacciones a nivel de cuencas hidrográficas. Se identificaron un total de 44 artículos en inglés y español que cumplían con estos criterios.

### **Indicadores de Sostenibilidad**

Los indicadores de utilidad para este estudio son los relacionados con el uso y la gestión sostenible de los recursos hídricos desde la perspectiva del ciclo integral del agua, incluyendo las aguas superficiales, subterráneas, las aguas pluviales y las aguas regeneradas. Los indicadores identificados por este estudio abordan uno o más de los siguientes aspectos:

Indicadores que miden el uso consuntivo del agua asociados a usos extractivos que alteran la cantidad de agua y están vinculados principalmente a tres sectores: agricultura, industria y usos domésticos.

Indicadores de uso no consuntivo del agua: se refieren a aquellos indicadores relacionados con prácticas no extractivas, como: el ocio, el transporte, la generación de energía, la contaminación

y usos religiosos y culturales. Indicadores relacionados con la función medioambiental de los recursos hídricos (por ejemplo, conservación de conservación de la vida acuática, la biodiversidad y la preservación de los humedales), la calidad del agua y la conservación de los recursos naturales.

Indicadores relacionados con la gobernanza del agua: por ejemplo, legislación, capacitación institucional, participación de los usuarios, educación medioambiental, institucional, participación de los usuarios, educación medioambiental, producción y uso de gestión, economía del agua, cultura del agua, etc.

Indicadores relacionados a factores hidrológicos: por ejemplo, precipitaciones, evapotranspiración, caudal, humedad del suelo, estado hidrológico y otros. Estos se consideran esenciales para la planificación

Después de una exhaustiva revisión de literatura, se identificaron 24 indicadores que pueden considerarse una contribución relevante a la investigación y la práctica de la sostenibilidad en el uso sostenible de recursos hídricos. Aunque esta contribución es importante, la presente investigación tiene un objetivo más amplio que va más allá de la identificación de indicadores de sostenibilidad. A continuación, en el Cuadro 1 se presentan indicadores seleccionados.

## **Cuadro 1**

### *Veinticuatro indicadores preseleccionados y sus descripciones*

Indicador	Descripción	Referencias
Índice de pobreza de agua	Ofrece una comprensión más clara de la relación entre la extensión física de la disponibilidad de agua, su facilidad de extracción y el nivel de bienestar de la comunidad. Examina cinco aspectos clave: recurso, acceso, capacidad de gestión, usos y medio ambiente.	Herrera et al. (2007) Urbano (2017)
Índice de vulnerabilidad climática	Vincula los recursos hídricos con las evaluaciones de vulnerabilidad humana, tomando en cuenta aspectos como la vulnerabilidad geográfica del lugar, los recursos hídricos disponibles, el acceso al agua, la eficiencia en su uso, la capacidad para gestionarla y los impactos ambientales.	Paz (2019) Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2019)
Índice de reutilización de agua	Considera las extracciones consecutivas de agua para uso doméstico, industrial y agrícola a lo largo de una red fluvial en relación con los suministros de agua disponibles.	Organización de las Naciones Unidas (2017)

Indicador	Descripción	Referencias
Escasez de agua	Refleja la cantidad de personas y países afectados por la escasez de agua, así como el número de países que no pueden proporcionar un suministro mínimo de agua potable.	Sánchez Cohen et al. (2006) WHO (2012)
Huella hídrica	Mide la cantidad de agua requerida para producir los recursos que una persona necesita, de acuerdo con su estilo de vida y patrones de consumo.	Arévalo y Lozano (2011)
Incidencia de lombrices, sarna, tracoma y diarrea	Toma en cuenta los problemas de salud en las poblaciones urbanas asociados con el agua contaminada, la falta de suministro de agua y el saneamiento deficiente.	IISD (2015)
Índice de rendimientos de los servicios de agua	Evalúa el desempeño de los proveedores de servicios de agua en áreas urbanas en términos de asequibilidad, calidad del agua, accesibilidad al servicio, cantidad de agua suministrada y fiabilidad. El nivel de rendimiento de estas empresas determina la calidad del servicio que ofrecen a las ciudades.	Jimenez et al. (2013)
Acceso a saneamiento mejorado	Representa la proporción de la población (total, urbana y rural) con acceso a una instalación de saneamiento mejorada.	Moreno y Cruz (2023)
Proporción de población urbana que viven en barrios marginales	Proporciona una medida para identificar el porcentaje de la población urbana que vive en barrios marginales basada en una evaluación de varias condiciones: acceso a agua potable, acceso a saneamiento, tenencia segura durabilidad de la vivienda y superficie habitable suficiente.	Banco Mundial (2014)
Fracción de la carga de mortalidad por déficit nutricional	Representa el porcentaje de la carga de mala salud resultante de deficiencias nutricionales, atribuible a los efectos de la escasez de agua en el suministro de alimentos.	ONU (2010)
Repercusiones sociales y económicos por la sequía	Considera las catástrofes relacionadas con el agua: número de sequías y pérdidas socioeconómicas asociadas a ellas (muertes, personas afectadas y daños materiales).	Revelo y Ramos (2014)
Incidencia del cólera	Representa el número de casos de cólera por región. La enfermedad está relacionada con el agua y los alimentos contaminados y se da con mayor frecuencia allí donde no se puede garantizar el acceso al agua potable y al saneamiento básico.	WHO (2012)
Causas de las emergencias alimentarias	Considera las causas de las emergencias alimentarias: comparación entre el número de países afectados frente a las catástrofes provocadas por el hombre.	Navarro Sousa et al. (2020)
Huella ecológica	La cantidad de tierra requerida para producir los recursos que una persona necesita, teniendo en cuenta el tipo de tierra y el consumo en alimentos, vivienda, transporte, bienes, servicios y residuos.	Tovar-Hernández et al. (2017)

Indicador	Descripción	Referencias
Avances hacia el objetivo de la GIRH	Clasifica a los países en tres grupos según diez criterios específicos de Gestión Integrada de los Recursos Hídricos.	CEPAL (2001)
Resiliencia del suministro de agua	Proporciona un medio de aproximación a la capacidad de una ciudad o proveedor de agua para mantener o aumentar la porción de la población con acceso a agua potable.	J. Lopez et al. (2013)
Principales episodios de sequía y sus consecuencias	Lista de los principales episodios de sequía y las pérdidas humanas y económicas asociadas en los últimos 100 años.	A. Lopez et al. (2024)
Índice relativo de estrés hídrico	Demanda de agua doméstica, industrial y agrícola por suministro de agua disponible.	Senent et al. (2016)
Índice de uso no sostenible del agua	Es el resultado de los recursos renovables de agua dulce disponibles menos la demanda humana de agua distribuida geoespacialmente para uso doméstico, industrial y agrícola.	Illasaca Cahuata (2016)
Participación del sector del agua en el gasto público total	Representa el porcentaje del presupuesto nacional gastado en el sector del agua para ampliar el acceso al suministro de agua y mejorar la gestión y gobernanza de los recursos hídricos.	Lala y Fernández (2020)
Relación de dependencia del país	Relación entre las aguas superficiales y subterráneas que afluyen de los países vecinos (u otras divisiones geográficas) y la cantidad total de agua disponible en bases anuales.	WWAP (2006)
Tarifas de agua favorables a los pobres y a la eficiencia	Examina la aplicación de herramientas económicas y financieras a la asignación del agua con vistas a un uso eficiente del agua y una política en favor de los pobres.	WWAP (2024)
El agua en los programas escolares	Representa el número de países (u otra división geográfica) que han introducido contenidos relacionados con el agua en los programas escolares.	Molina (2006)
Capacidad total de almacenamiento de agua	La capacidad total de almacenamiento de agua en estructuras artificiales de almacenamiento por encima de un tamaño mínimo.	IISD (2015)

También, se encontraron indicadores que no estaban directamente relacionados con el uso sostenible del agua. Estos indicadores no se consideraron de interés para este estudio. A pesar de haber sido mencionados en publicaciones especializadas sobre el agua, sólo tienen una escasa relación con los recursos hídricos. Por otro lado, tienen un alcance general que está implícitamente relacionado con el agua, pero no directamente con su uso y gestión. Podrían ser pertinentes para otras aplicaciones, pero no contribuyen al objetivo principal de esta investigación. Por lo tanto, no fueron evaluados en este estudio.

## **Criterios de Sostenibilidad**

El estudio identificó en primer lugar los criterios más relevantes para la evaluación de los indicadores y después identificó los indicadores relacionados con el uso y la gestión sostenibles del recurso hídrico. Para ello, se realizó una revisión exhaustiva de la bibliografía especializada para examinar los criterios para evaluar indicadores de uso sostenible del agua.

La evaluación siguió por la clasificación de los indicadores según el enfoque sistémico (componentes sociales, económico componentes sociales, económicos, medioambientales e institucionales) y la organización de los indicadores en cuatro categorías:

Sostenibilidad social: Asegurar el acceso al agua de mejor calidad y cantidad en porciones necesarias para las necesidades humanas.

Sostenibilidad económica: impulsa el manejo y uso eficiente del agua iniciando el desarrollo urbano y rural.

Sostenibilidad medioambiental: Asegurar la protección necesaria de los recursos naturales: suelo, biota y agua.

Sostenibilidad institucional: impulsar un marco institucional que asegure el desarrollo de los principios de la Gestión Integral del Recurso Hídrico.

## **Selección del Panel de Expertos**

Se consultó a un grupo de expertos para evaluar si los indicadores cumplían los criterios de sostenibilidad mediante un cuestionario elaborado en la plataforma de *Microsoft Forms*. En el Anexo C, se muestra el instrumento utilizado por el panel de expertos para la evaluación de los 24 indicadores, de acuerdo con los cuatro criterios de sostenibilidad. Según M. Carreño (2009), las consultas con expertos han sido utilizadas por otros investigadores para aportar un juicio experto independiente a la evaluación de los indicadores. Se seleccionaron 11 expertos de la comunidad científica internacional para formar el panel de evaluación y se representan en el Cuadro 2. Para la

selección de los expertos se siguieron los siguientes principios, también aplicados por García y Suárez (2013):

Nivel de conocimientos sobre el tema; Experiencia acumulada, ya sea en proyectos o con entidades internacionales dedicadas a la gestión de recursos hídricos; Capacidad esperada para contestar el cuestionario; Interés en participar en el proceso.

## Cuadro 2

### *Descripción general de los integrantes del Panel de expertos*

Expertos	Grado académico	Cargo y/o rol actual
Carlos Sandoval	<i>Bachelor Science in Forestry with orientation in Watershed Management.</i>	Gerente Senior en Gobernanza de Recursos Hídricos
Rolando Alberto	Maestría en Ciencias en GIRH.	Especialista en GIRH en Proyecto Trifinio OEA
Johann Kammerbauer	Ph.D en gestión de recursos hídricos.	Consultor Internacional
Raquel Rodas	Magister en MICH- Ph.D Proyectos-Línea Ambiental	Docente UNAH/ Ingeniera Forestal
Fabiola Tabora	Maestría en gestión de recursos hídricos.	Secretaria Ejecutiva <i>Global Water Partnership</i> Centroamérica
Marco Moreno	M.Sc. en ingeniería sanitaria	Especialista en Recursos Hídricos para Adaptación Climática-USAID/EAP Zamorano
Ariel Acosta	Ingeniería en gestión de recurso hídricos.	Facilitador del Proyecto Gestión Participativa de la Microcuenca Río Uchapa
Nelson Mejía	M.Sc. en Manejo y Gestión de Cuencas Hidrográficas.	Docente/Investigador de la UNACIFOR
Laura Banegas	Magister en manejo integral de recursos hídricos.	Directora de Investigación y Desarrollo Verde Inclusivo y Coordinadora Unidad de Cuencas, Seguridad Hídrica y Suelos del CATIE
Francisco Jiménez	Ph.D en MICH.	Consultor Internacional
Adrián Bonilla	Magíster en Manejo de Suelos y Aguas.	Profesor Asistente en Riego Agrícola

*Nota.* Gestión Integral del Recurso Hídrico (GIRH), Manejo Integral de Cuenca Hidrográficas (MICH), Organización de los Estados Americanos (OEA), Universidad Nacional Autónoma de Honduras (UNAH), Universidad Nacional de Ciencias Forestales (UNACIFOR), Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE).

Para la conformación del panel de expertos que contribuyó en el desarrollo de este proyecto, se consultó a un grupo multidisciplinario y diverso que incluyó cuatro especialistas con amplia trayectoria en el tema, cuatro académicos docentes de diferentes universidades, dos consultores

internacionales con experiencia en proyectos similares en otros países y un líder en políticas de Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH) que aportó su conocimiento sobre el marco normativo y las tendencias a nivel nacional. La combinación de perfiles y experiencia de estos 11 miembros del panel, que abarcaron tanto la dimensión técnica como la política y académica de los mismos.

### **Evaluación Multicriterio de Indicadores**

Los indicadores fueron evaluados por un panel internacional de expertos a quienes se les solicitó completar un cuestionario publicado en la plataforma *Microsoft Forms*<sup>®</sup> que incluye los 24 indicadores (Anexo D). También, en el mismo cuestionario, se les incluyó una escala de evaluación y con ello, calificaron cada indicador según su importancia en relación con cada uno de los cuatro criterios de sostenibilidad.

El proceso de evaluación implicó una escala cualitativa de tres niveles en la que los miembros del panel de expertos clasificaron cada indicador como: no es significativo, significativo y alta significancia. Lo anterior, en función de su grado de cumplimiento de los criterios sociales, económicos, medioambientales e institucionales. Esta escala de evaluación planteada por Wimmer y Dominick (2010) permitió a los expertos valorar, basándose en la escala de evaluación mostrado en el Cuadro 3, analizando cómo consideran que cada indicador cumple con cada criterio de sostenibilidad. También, se les invitó a aportar sus comentarios u observaciones sobre los indicadores. Los expertos realizaron evaluaciones independientes. Con el objetivo de hacer la mejor evaluación posible, todos los materiales que se les facilitaron se diseñaron para que fueran fáciles de usar.

### **Cuadro 3**

#### *Escala de evaluación de los indicadores*

Social	Económico	Ambiental	Institucional
No es significativo			
Ningún componente social significativo	No se incluyó ningún componente significativo económico	No incluye ningún componente medioambiental	No incluye ningún componente institucional

Social	Económico	Ambiental	Institucional
Significante			
Incluye componentes que contribuyen a mejorar el acceso a agua de calidad y la cantidad necesaria para las necesidades humanas	Incluye componentes que contribuyen al uso eficiente del agua promoviendo el desarrollo rural	Incluye componentes del medio ambiente que contribuyen a la protección de los recursos naturales: suelo, biota y agua	Incluye componentes institucionales que contribuyen a promover los principios de la GIRH
Alta significancia			
Su objetivo es garantizar el acceso a agua de calidad y la cantidad necesaria para necesidades humanas	Su objetivo es garantizar la eficiencia de la gestión y uso del agua, fomentando el desarrollo urbano y rural	Su objetivo es garantizar una protección de los recursos naturales: suelo, biota y agua (especialmente los manantiales y aguas subterráneas)	Tiene por objeto garantizar un apropiado marco institucional para promover los principios de la GIRH

Nota. Adaptado de Wimmer y Dominick (2010)

Estos resultados se obtuvieron numéricamente de la siguiente manera: no significativo igual a cero, significativo igual a siete, y muy significativo igual a diez. Se utilizó esta escala de cero a diez porque los expertos puedan aplicarla fácilmente y porque se trata de una escala general y muy utilizada para calificar.

### Análisis de Datos

Se categorizaron los datos obtenidos del panel de expertos, se procesaron y se analizaron aplicando los fundamentos de la estadística descriptiva. La sumatoria de los resultados se realizó a partir de las medias de las puntuaciones asignadas por cada evaluador a un criterio determinado. La media aritmética fue la medida aplicada para representar el valor central del conjunto de datos. La Ecuación 1 muestra cómo se calcularon las puntuaciones medias calculadas para cada indicador en relación con cada criterio (social, económico, medioambiental e institucional).

$$Si_{(c)} = \frac{\sum_l^n Si_{(c)}}{n} \quad [1]$$

Donde:

Si(c) = Es la puntuación del indicador i y el criterio c

n = Es el número de expertos

También, se utilizaron los histogramas de frecuencias de los datos obtenidos con la evaluación (panel de expertos) para representar gráficamente los resultados. Los histogramas de frecuencia muestran en qué rangos se encuentra la mayoría de los datos o en torno a qué valor tienden a concentrarse los resultados. Indica la dispersión de los datos obtenidos a partir de los resultados del estudio.

### **Marco FPEIR y Relación Causal**

Se revisó el marco de FPEIR en relación con los indicadores de sostenibilidad para recursos hídricos, con el propósito de validarlo a escala de cuencas hidrográficas. Esta revisión permitió establecer parámetros que definieron los límites y las posibilidades de aplicar indicadores para el manejo sostenible de las cuencas, así como identificar los mecanismos actuales que pueden ser utilizados para este propósito. Además, se realizó un análisis de estudios previos e investigaciones recientes, junto con los lineamientos del modelo de enfoque FPEIR. Este enfoque proporciona una comprensión detallada de cómo se gestiona el recurso hídrico en la microcuenca Santa Inés y facilita la adopción del modelo FPEIR. De acuerdo con Acustapa et al. (2017), los componentes del marco FPEIR se definen de la siguiente manera:

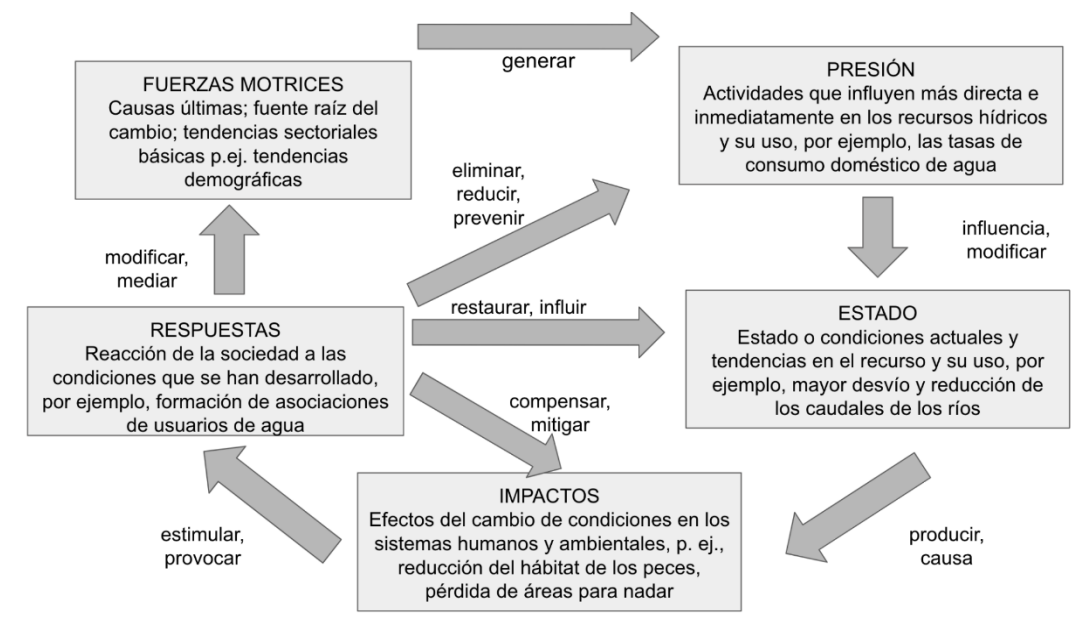
**Fuerzas motrices:** Incluyen factores antropogénicos y naturales.

**Presión:** Existen tres tipos de presiones, el uso excesivo de los recursos medioambientales de los cambios en el uso del suelo y las emisiones a la atmósfera, el agua y el suelo. **Estado:** es la combinación de las condiciones físicas, químicas y biológicas. **Impacto:** son causados por cambios en el estado que pueden tener impactos ambientales o económicos en el funcionamiento de los ecosistemas, en su capacidad de sustentar la vida y, en última instancia, en la salud humana y en el de la sociedad. **Respuesta:** propuestas por las sociedades o los responsables políticos que tienen que ver con la toma de decisiones. Pueden tratar de controlar las presiones y afectar a cualquier parte de la cadena entre las fuerzas motrices y los impactos.

Los indicadores bien desarrollados no solo deben describir el estado del fenómeno, sino también analizar las fuerzas impulsoras y los efectos relacionados. Los indicadores deben ayudar a los usuarios a tomar decisiones basadas en tendencias y situaciones de causa-efecto, este modelo se representa gráficamente en la Figura 3.

**Figura 2**

*Marco de referencia de Fuerzas motrices-Presión-Estado-Impacto-Respuestas*



Nota. Tomado de UEuropea (2014).

### Selección de Indicadores de Interés Aptos a Escala de Cuenca

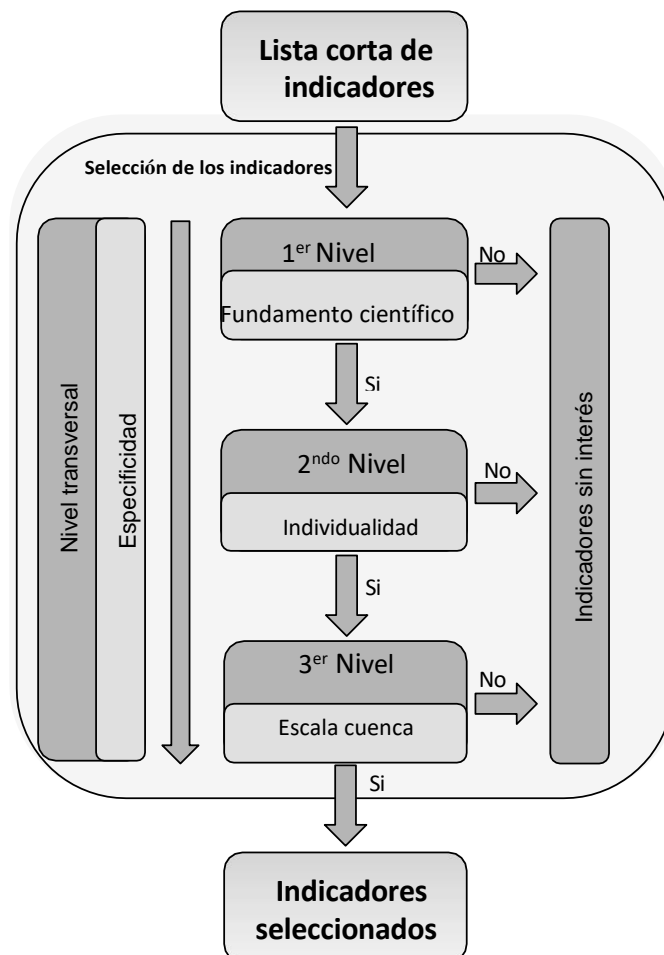
Se aplicaron cuatro niveles de criterios para evaluar la idoneidad de los indicadores de interés para esta investigación. Los indicadores se evaluaron sobre la base de estándares científicos actuales y sólidos (fundamento científico), que no presenten duplicidad (individualidad), si son válidos para la escala de la cuenca hidrográfica y si están definidos de forma clara e inequívoca (especificidad). Estos criterios fueron considerados de suma importancia para la investigación, principalmente porque abordan aspectos estratégicos relacionados con atributos clave de los indicadores: consolidación, aplicación y diferenciación.

La evaluación de estos criterios se desarrolló como un análisis multinivel detallado de las características y propiedades de cada indicador. Este análisis se realizó con base en una revisión exhaustiva de la literatura, incluida la verificación de diversas fuentes que analizan los indicadores. Este estudio, de acuerdo con la práctica actual de la investigación académica (UE, 2014), se refiere a un conjunto de procedimientos y técnicas sistemáticas que involucra varias búsquedas electrónicas utilizando varios sitios *web* institucionales y de revistas (incluida la literatura gris relevante), así como bases de datos y motores de búsqueda académicos (incluidos *Web of Science*, *SCOPUS*, *ScienceDirect*, *Google Scholar* y otros). Estas búsquedas tenían como objetivo identificar artículos revisados por pares y/u otras publicaciones relevantes que desarrollaron, validaron o probaron más los indicadores, con respecto a su base científica, individualidad, escala de aplicación y especificidad.

En este estudio se adoptan cuatro criterios (fundamento científico, individualidad, escala de cuenca hidrográfica y especificidad) y cuatro niveles de evaluación. Tres niveles son secuenciales: el primer nivel corresponde a la valoración del criterio de fundamentación científica, el segundo al criterio de individualidad y el tercero, la aplicación escala de cuenca hidrográfica. El criterio de especificidad se evaluó en un nivel transversal. Esta estructura multinivel de evaluación adoptada por este estudio se presenta en el siguiente diagrama de flujo Figura 4.

Figura 3

Etapa multinivel de selección de indicadores de interés.



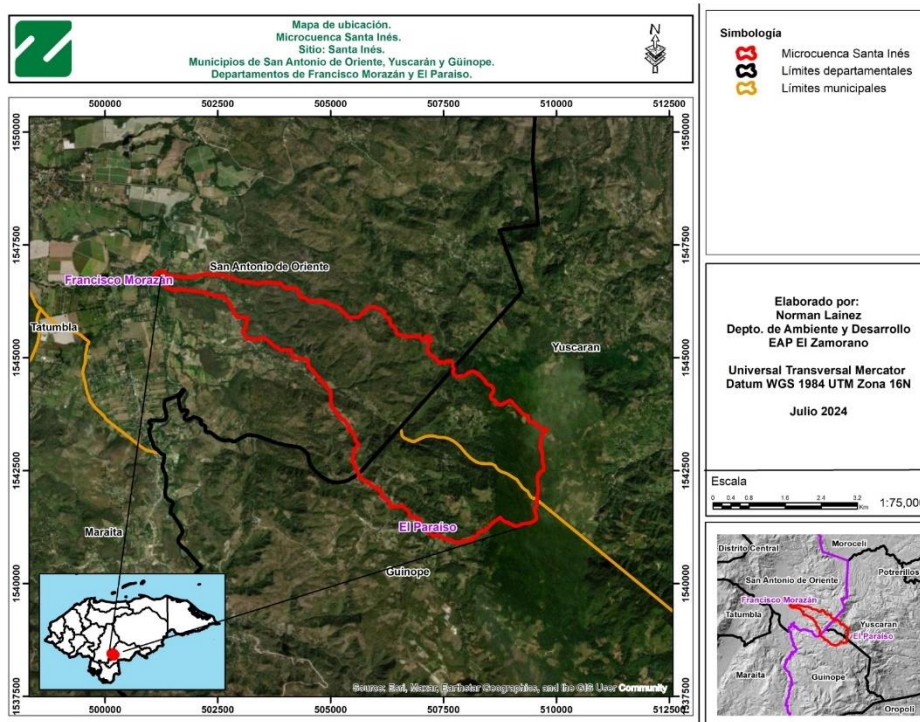
Nota. Tomado de Carneiro (2015).

Los indicadores que cumplieron con estos cuatro criterios fueron los seleccionados como indicadores de interés. Aquellos que no cumplieron con al menos uno de los criterios se consideraron no relevantes para la aplicación a escala de la cuenca.

### Selección de la Cuenca Piloto

La validación de los indicadores con los usuarios finales se llevó a cabo en la microcuenca Santa Inés, ubicada en los departamentos de Francisco Morazán y El Paraíso, Honduras. Esta microcuenca contribuye a la subcuenca del río Yegüare, que a su vez se une al río Choluteca, el cual desemboca en el Océano Pacífico. La microcuenca abarca un área de 19.06 km<sup>2</sup> y comparte con dos departamentos,

con elevaciones que oscilan los 755 y 1,765 msnm. Su perímetro es de 21 km, tiene una forma oblonga y presenta una pendiente media del 10%, con una longitud del cauce principal de 11 km. (Huezo, 2011). La Figura 5 se muestra el mapa de la microcuenca Santa Inés.



### Validación de Indicadores con Usuarios Finales

La participación de los usuarios finales en la validación de los indicadores es un paso muy importante del proceso de evaluación, ya que ellos en conjunto con las instituciones clave, utilizarán el indicador para asignar y gestionar mejor los recursos hídricos. Para que el proceso de validación sea verdaderamente participativo y confiable, se debe tener en cuenta el conocimiento y las necesidades de estas partes interesadas (Hérrnandez, 2011).

Se formó un panel de usuarios finales con el fin de validar los indicadores seleccionados en la etapa anterior de indicadores de interés mostrados en el Cuadro 4. Al igual que Rascon (2007), los principios considerados para seleccionar a los miembros del panel de usuarios de cuencas fueron los siguientes:

Conocimiento sobre la situación de los recursos hídricos a nivel de cuenca hidrográfica; conocimiento del territorio de la cuenca hidrográfica y las interacciones entre sus elementos; Representación social.

#### **Cuadro 4**

##### *Cargo de los usuarios del panel de consulta*

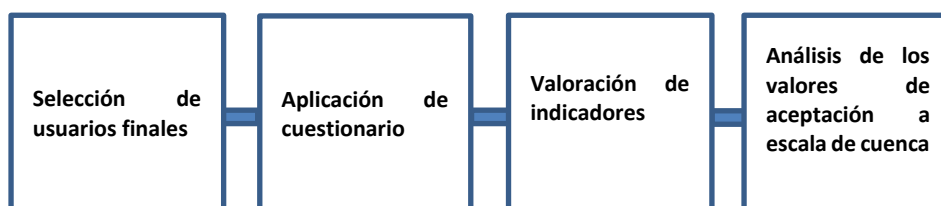
Usuarios	Cargo actual
Katya Escoto	Tesorera en Consejo de microcuenca Santa Inés
Horacio Espinoza	Presidente del consejo de la microcuenca Santa Inés
David Suazo	Presidente del patronato de la aldea Santa Rosa
Pedro Alfaro	Miembro del consejo de la microcuenca Santa Inés
Miguel Ordoñez	Presidente de la junta de agua
Roger Alvarenga	Vocalía del consejo de la microcuenca Santa Inés
Gerardo Zelaya	Presidente de la junta de agua de la comunidad de Lavaderos
Cristina Cruz	Fiscal de la junta de agua de Santa Inés
Iván Flores	Vice - presidente de la junta de agua de la comunidad de Santa Rosa
Alejandrina Colindres	Secretaria del comité de vigilancia del consejo de cuenca de Santa Inés
Harold Domínguez	Gerente Técnico Aguas de Marcala y miembro de la junta de agua de la cuenca Goascorán
Tammy Lezama	Subgerente de Recursos Hídricos, Ingeniera Forestal - Mtr. Dirección Comercial y Mercadeo
Flora Hernández	Perito Mercantil y contador público/Vocal de la junta directiva de la cuenca del río Goascorán

El objetivo principal de la cuenca de estudio es evaluar un conjunto de criterios de sostenibilidad para los indicadores, en colaboración con los miembros de la junta de agua, el consejo de la microcuenca Santa Inés y profesionales de entidades que prestan servicios en ciudades intermedias. Para evaluar la pertinencia y aplicación de estos criterios e indicadores, que también se presentan en la Figura 6, se llevaron a cabo los siguientes pasos metodológicos: A) Recolección de datos sobre la aceptación de los criterios e indicadores según el marco propuesto. B) Aplicación de un cuestionario a un panel de expertos de la comunidad científica para la validación de los criterios e indicadores. C) Implementación de los criterios e indicadores con los usuarios finales en la microcuenca Santa Inés. D) Cálculo de una calificación global para la microcuenca Santa Inés y resumen de las lecciones aprendidas durante la aplicación de la metodología.

Se hizo uso de las opiniones de los usuarios para probar y aprobar el método de investigación y el análisis de datos antes de llevar a cabo la implementación completa. El análisis de decisiones multicriterio se adoptó en diferentes etapas del estudio para indicar soluciones posibles guiadas por intereses de varios actores involucrados y varios criterios. Con el objetivo de producir conocimientos aplicados y transferirlos inmediatamente a los usuarios finales, se desarrolló la aplicación de prueba piloto en la microcuenca de Santa Inés. Los métodos y técnicas adoptadas son transparentes, robustos científicamente y fáciles de entender y utilizar tanto para científicos como para usuarios finales. En la Figura 6 se muestran los pasos metodológicos para la evaluación de indicadores con usuarios.

**Figura 4**

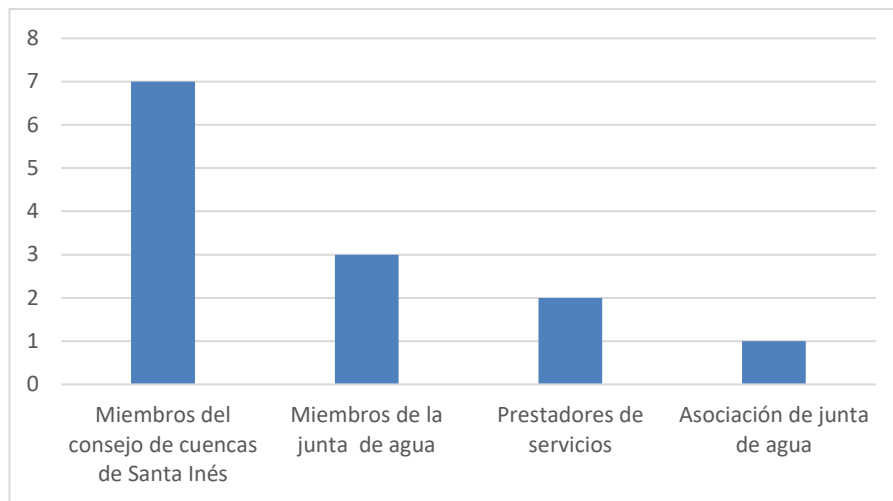
*Proceso metodológico para evaluación de indicadores con usuarios*



Se realizó la valoración de los indicadores con nueve integrantes de la junta de agua y miembros del consejo de la microcuenca Santa Inés y con tres profesionales técnicos de entes prestadores de servicios de agua potable y saneamiento quienes realizaron el cuestionario en línea. Todos los entrevistados trabajan actualmente con personas que conocen el área de la microcuenca, representantes de la junta de agua y miembros del consejo de cuencas (Figura 7). Los criterios de los indicadores fueron evaluados asignando un valor de importancia y una descripción que reflejara las condiciones actuales de la microcuenca Santa Inés, según la opinión del colaborador. Así, una valoración de alta significancia recibió un valor de 10, una significancia media un valor de 7, y una no significancia un valor de 0. La información recolectada durante este proceso será presentada en los resultados de la aplicación.

**Figura 5**

*Rol de miembros del panel de usuarios finales.*



## Resultados

### Evaluación de Indicadores Según Criterios de Sostenibilidad

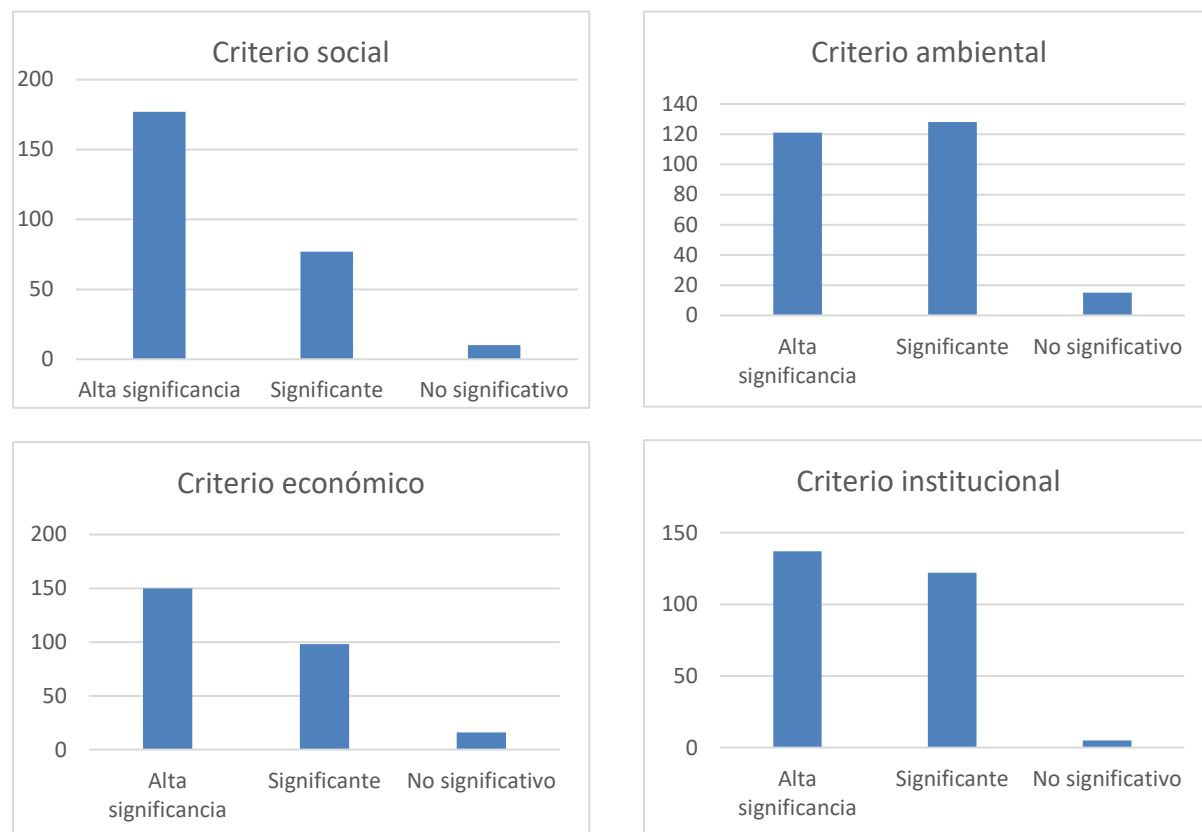
Se evaluaron 24 indicadores relacionados con el uso y gestión sostenible de los recursos hídricos, los cuales tiene su base en la literatura científica y referencia de Carneiro (2015). En total, los 11 miembros del panel de expertos proporcionaron 1,056 resultados de valoración; correspondientes a la evaluación de los cuatro criterios de sostenibilidad para cada uno de los 24 indicadores. En la Figura 8 se presentan los histogramas de frecuencia para los ndicadores de uso sostenible del agua seleccionados, según cada uno de los cuatro criterios de sostenibilidad evaluados por los expertos. A continuación se resumen los principales hallazgos:

El 67% de las puntuaciones para el criterio de sostenibilidad social fueron de alta significancia y el 29% fue evaluado con media significancia. Las puntuaciones de no significante son del 4%. Para el criterio económico, se obtuvo 150 valoraciones que representa el 57% en alta significancia, 98 valoraciones que representan un 37% en significancia y 16 valoraciones que representan el 6% como no significante.

Con respecto al criterio de sostenibilidad ambiental, se obtuvieron 121 valoraciones que representan el 46% en alta significancia, 128 valoraciones para un 48% en significancia y 16 respuestas con un 6% como no significante. Finalmente para el criterio de sostenibilidad institucional, se obtuvo 137 valoraciones que representan el 52% en alta significancia, 122 valoraciones que representan un 46% en el valor de significancia y 5 valoraciones para el 2% como no significante.

**Figura 6**

*Histograma de frecuencias de puntuaciones por criterio (panel de expertos)*



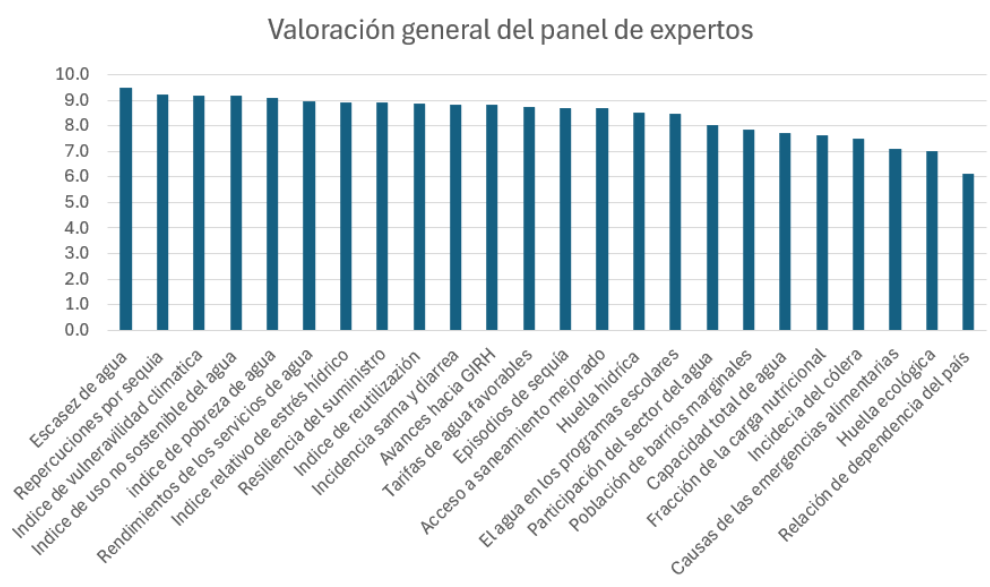
Estos resultados indican que los expertos consideran que los indicadores sociales son altamente relevantes para la gestión sostenible del agua. La alta significancia puede reflejar la importancia del acceso al agua y su impacto en la calidad de vida y el bienestar de las comunidades. Los bajos porcentajes de no significancia sugieren un consenso fuerte sobre la relevancia de estos aspectos.

### Valoración Media de Indicadores por Panel de Expertos

De acuerdo con la valoración realizada por el panel de expertos 16 indicadores tuvieron las puntuaciones más altas por encima del 85%. Sin embargo, el indicador de relación de dependencia del país obtuvo la puntuación más baja debido a que está relacionado a nivel de países y no a escala de cuencas hidrográficas, quienes compartieron sus profundos conocimientos y experiencias sobre el tema. Este proceso permitió una valoración meticulosa de cada indicador con relación a los criterios de sostenibilidad, considerando su relevancia y aplicación práctica en el uso sostenible de los recursos hídricos (Figura 9).

### Figura 7

*Resultados de los 24 indicadores valorados por expertos*



Este proceso incluyó la recopilación de conocimientos y experiencias de expertos, lo que permitió una evaluación detallada y contextualizada de cada indicador en relación con los criterios de sostenibilidad. Como resultado, se obtuvieron puntuaciones altas y positivas respecto al uso sostenible de los recursos hídricos a escala de cuencas hidrográficas. Los resultados de los 24

indicadores seleccionados, en relación con los cuatro criterios de sostenibilidad, se presentan en el Anexo A.

### Indicadores con Mayor Valoración

De los 24 indicadores evaluados por el panel de expertos, 16 obtuvieron una puntuación superior a 85% y sobresalieron por su importancia, reflejada en una valoración notablemente superior respecto a los demás indicadores examinados. En el cuadro 5 se observan los indicadores con mayor puntaje de parte del panel de expertos.

### Cuadro 5

#### *Indicadores con mayor valoración por panel de expertos*

Indicadores	Marco FPEIR	Promedio
El agua en los programas escolares	E	8.5
Huella hídrica	P	8.5
Acceso a saneamiento mejorado	I	8.7
Principales episodios de sequía	I	8.7
Tarifa de aguas favorables	E,I	8.7
Avances hacia el GIRH	R	8.8
Incidencia de lombrices	I	8.8
Índice de reutilización del agua	P,E	8.9
Resiliencia de suministro de agua	E,R	8.9
Índice relativo de estrés hídrico	P,E	8.9
Índice de rendimientos de los rendimientos de agua	E	9.0
Índice de pobreza de agua	P,E,I,R	9.1
Índice de uso no sostenible del agua	P,E	9.2
Índice de vulnerabilidad climática	P,E,I,R	9.2
Repercusiones sociales por sequía	I	9.2
Escasez de agua	I	9.5

*Nota.* P: Presión, E: Estado, I: Impacto, R: Respuesta

Los 16 indicadores que obtuvieron puntuaciones superiores al 85% se destacan por su importancia y relevancia en la gestión del agua. La alta valoración por parte del panel de expertos indica un consenso significativo sobre los elementos críticos que deben ser monitoreados y gestionados. Estos hallazgos sugieren que, para una gestión efectiva y sostenible del agua, es esencial priorizar estos indicadores clave. Además, el análisis de los puntajes proporciona una guía clara para los responsables de la toma de decisiones, subrayando la necesidad de enfocarse en estos aspectos prioritarios para lograr una gestión del agua integral y sostenible.

## Análisis de Indicadores con Marco FPEIR

Se realizó una comparación detallada entre los 24 indicadores seleccionados para el uso sostenible del agua y el marco FPEIR. Este análisis se llevó a cabo como resultado de una exhaustiva revisión de literatura, donde cada indicador fue relacionado con los componentes del marco de fuerzas motrices, presiones, estado, impacto y respuesta (FPEIR). En el Cuadro 6, la comparación proporcionó una comprensión más profunda de cómo cada indicador se alinea con los diferentes aspectos del marco FPEIR, lo que facilitó un análisis integral de la sostenibilidad del uso del agua. Como resultado se obtuvo una selección de 10 indicadores que cumplieron con al menos dos componentes de marco FPEIR.

### Cuadro 6

#### *Indicadores con más de dos componentes del marco FPEIR*

Indicadores	Marco FPERI
Relación de dependencia del país	P,E,I
Capacidad de almacenamiento de agua	P, E,R
Proporción de población humana en barrios marginales	P,E
Tarifas de aguas favorables	E,I
Índice de reutilización de agua	P,E
Resiliencia de suministros de agua	E,R
Índice relativo de estrés hídrico	P,E
Índice de pobreza de agua	P,E,I,R
Índice de uso no sostenible del agua	P,E
Índice de vulnerabilidad climática	P,E,I,R

*Nota.* P: Presión, E: Estado, I: Impacto, R: Respuesta

Este análisis comparativo dentro del marco FPEIR resultó en la identificación de 10 indicadores que cumplen con al menos dos componentes relevantes. La alineación con el marco FPEIR proporciona una comprensión más completa de los factores que influyen en la gestión del agua y destaca la importancia de un enfoque multidimensional. Estos hallazgos sugieren que la implementación de estos indicadores clave puede mejorar significativamente la efectividad y la sostenibilidad de las prácticas de gestión del agua.

Luego de una evaluación mixta entre panel de expertos se evaluaron siete indicadores de las cuatro iniciales que mostraron una relación significativa con los componentes del marco FPEIR

(fuerzas motrices, presiones, estado, impacto y respuesta). Cada uno de estos siete indicadores fue analizado en función de su clasificación con al menos dos componentes del marco FPEIR. Además, estos siete indicadores que se muestran en el Cuadro 7, recibieron una valoración destacada por parte del panel de expertos, destacando su relevancia y contribución significativa dentro del uso sostenible del recurso hídrico.

### Cuadro 7

#### *Indicadores con alta valoración con relación al marco FPEIR*

Indicadore	Marco FPEIR
Tarifas de agua	E,I
Índice de reutilización de agua	P,E
Resiliencia de suministro de agua	E,R
Índice relativo de estrés hídrico	P,E
Índice de pobreza de agua	P,E,I,R
Índice de uso no sostenible de agua	P,E
Índice de vulnerabilidad climática	P,E,I,R

*Nota.* P: Presión, E: Estado, I: Impacto, R: Respuesta

La evaluación mixta realizada por el panel de expertos resultó en la identificación de siete indicadores clave que cumplen con al menos dos componentes del marco FPEIR. Estos indicadores son esenciales para una evaluación integral y sostenible del uso del agua. La valoración destacada por parte de los expertos subraya su importancia y relevancia en la gestión de los recursos hídricos. Los hallazgos sugieren que la implementación de estos indicadores puede mejorar significativamente la efectividad y sostenibilidad de las prácticas de gestión del agua, proporcionando una base sólida para el desarrollo de políticas y estrategias integrales.

#### **Evaluación Multinivel de Indicadores de Interés**

Luego de realizar la evaluación multinivel, se obtuvo que nueve indicadores de las 24 iniciales cumplieron con los cuatro criterios (fundamento científico, individualidad, escala de cuenca hidrográfica y especificidad). Por lo tanto, fueron clasificados como indicadores de interés a escala de cuenca, también, presentados en la Figura 8. Por otro lado, 15 indicadores fueron clasificados de no

interés, debido a que no cumplían con al menos uno de los criterios evaluados, como se presenta a continuación:

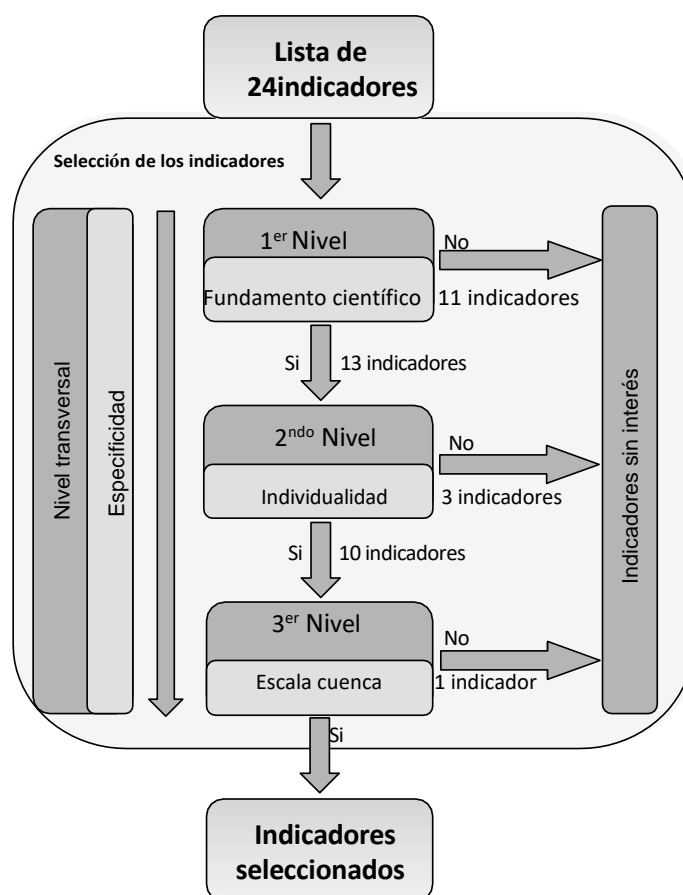
Once (11) indicadores no cumplen con el criterio de "fundamento científico";

Tres (3) no cumplen con la "individualidad" y

Uno (1) no es válido para la "escala de cuenca hidrográfica".

**Figura 8**

*Selección de indicadores de interés*



Las definiciones de la mayoría de los indicadores se ajustaron para cumplir con el criterio de especificidad. Estos ajustes no cambiaron significativamente sus descripciones, pero aportaron una claridad adicional a la definición de los indicadores y contribuyeron a evitar la ambigüedad. La lista de indicadores evaluados en esta etapa, señalando los de interés para esta investigación y los criterios que cumplen (Cuadro 9).

**Cuadro 8***Evaluación multinivel para selección de indicadores de interés*

Indicador	Criterios evaluados			
	Fundamento científico	Individualidad	Escala de cuencas	Especificidad
Índice de pobreza de agua	✓	✓	✓	✓
Índice de vulnerabilidad climática	✓	✓	✓	✓
Índice de reutilización de agua	✓	✓	✓	✓
Acceso a saneamiento mejorado	✓	✓	✓	✓
Índice de uso no sostenible del agua	✓	✓	✓	✓
Capacidad de almacenamiento de agua.	✓	✓	✓	✓
Índice relativo de estrés hídrico	✓	✓	✓	✓
Huella hídrica	✓	✓	✓	✓
Repercusiones sociales y económicos por la sequía	✓	✓	✓	✓
Relación de dependencia del país	✓	✓	NO	-
Escasez de agua	✓	NO	-	-
Huella ecológica	✓	NO	-	-
Principales episodios de sequía y sus consecuencias	✓	NO	-	-
Incidencia de lombrices, sarna, tracoma y diarrea	NO	-	-	-
El agua en los programas escolares	NO	-	-	-
Fracción de la carga de mortalidad por déficit nutricional	NO	-	-	-
Causas de las emergencias alimentarias	NO	-	-	-
Índice de rendimientos de los servicios de agua	NO	-	-	-
Participación del sector del agua en el gasto público total	NO	-	-	-
Resiliencia del suministro de agua	NO	-	-	-
Tarifas de agua favorables a los pobres y a la eficiencia	NO	-	-	-
Avances hacia el objetivo de la GIRH	NO	-	-	-
Proporción de población urbana que viven en barrios marginales	NO	-	-	-
Incidencia del cólera	NO	-	-	-

Nota. ✓ cumplieron con los criterios/No: no cumplieron con los criterios/ - no aplica

Nueve indicadores cumplieron correctamente los cuatro criterios de interés (fundamento científico, individualidad, escala de cuencas y especificidad). Mientras tanto, indicadores como

escasez de agua y índice relativo de estrés hídrico miden el mismo atributo: la escasez de agua en una ubicación geográfica determinada.

Indicadores como: principales eventos de sequía y repercusiones sociales y económicos por la sequía evalúan un aspecto similar como lo es la identificación de los principales eventos de sequía en una ubicación determinada y la estimación de las pérdidas de vidas y las pérdidas económicas asociadas. Según Torelló-Sentelles y Franzke (2022), el indicador de repercusiones sociales y económicas por la sequía utiliza metodologías válidas para considerar también aspectos sociales como el número y/o características de las personas afectadas e incluso los impactos socioeconómicos indirectos relevantes de la sequía. Por lo tanto, dicho indicador se seleccionó de interés para este estudio.

Indicadores como huella hídrica y huella ecológica, utilizan el mismo enfoque según Hoekstra (2008), metodologías similares, de cierta manera, también miden un atributo similar de la apropiación humana de los recursos naturales para la producción y el consumo de bienes y servicios. Según Hoekstra et al. (2009), el uso y la gestión del agua es el tema principal de este estudio, se seleccionó el indicador de huella hídrica como el indicador de interés aquí, en lugar de huella ecológica, principalmente porque el primero es más adecuado para el alcance de esta investigación que el segundo.

Solo un indicador se consideró no válido a escala de cuencas que es el denominado relación de dependencia del país. Según Gaupp et al. (2015), este indicador mide la relación entre el agua superficial y subterránea que entra de otros países y la cantidad total de agua disponible en el país a nivel anual. Por lo tanto, dicho indicador está adecuado a nivel de países y no a nivel de cuencas hidrográficas.

Este estudio logró su objetivo final de identificar, de entre los indicadores preseleccionados en la identificación de indicadores de sostenibilidad, aquellos que cumplen con los cuatro criterios de selección de fundamento científico, individualidad, escala de aplicación y especificidad. Los nueve

indicadores que cumplen con los cuatro criterios analizados pueden considerarse herramientas relevantes para apoyar a los tomadores de decisiones a medir la sostenibilidad en el uso y gestión del agua a nivel de cuenca hidrográfica.

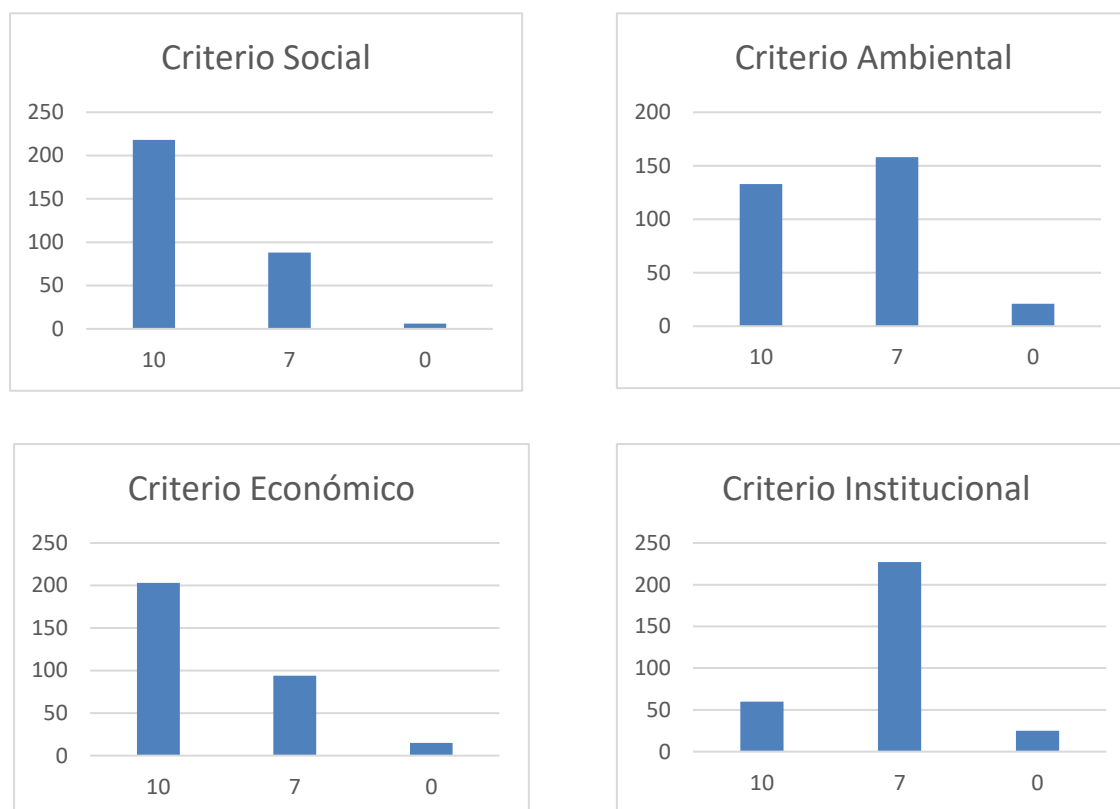
### **Validación de Indicadores con Usuarios Finales**

El estudio identificó 24 indicadores relacionados con el uso y gestión del agua en la literatura. En total, 13 miembros del panel de usuarios finales proporcionaron 1,248 valoraciones, correspondientes a la evaluación de los cuatro criterios de sostenibilidad para cada uno de los 24 indicadores. La participación de los usuarios finales de las cuencas hidrográficas fue fundamental, ya que sus opiniones permitieron asegurar que los indicadores seleccionados fueran relevantes y aplicables en el contexto real de gestión de cuencas. Este enfoque colaborativo garantizó que los indicadores no solo cumplieran con la teoría, sino que también reflejaran las necesidades y preocupaciones prácticas de quienes están directamente involucrados en la gestión del agua.

La Figura 10 presenta los histogramas de frecuencia para los 24 indicadores de uso y gestión del agua para cada uno de los criterios de sostenibilidad evaluados por esta investigación. Entre los principales hallazgos se resalta que el 70% de las valoraciones para el criterio de sostenibilidad social fueron de alta significancia y el 28% representó el valor de significancia. Las valoraciones más bajas en no significante son del 2%. Por otra parte, en términos del criterio económico, se obtuvieron 203 valoraciones representando el 65% en alta significancia, 94 valoraciones representando un 30% en el valor de significancia y 15 valoraciones representando el 5% como no significante. Finalmente, para el criterio de sostenibilidad ambiental, se obtuvieron 133 valoraciones representando el 43% en alta significancia, 158 valoraciones representando un 51% en el valor de significancia y 21 valoraciones representando el 6% como no significante. Finalmente, para el criterio de sostenibilidad institucional se obtuvieron 60 valoraciones representando el 19% en alta significancia, 227 valoraciones representando un 73% en el valor de significancia y 25 valoraciones representando el 8% como no significante.

**Figura 10**

*Histograma de frecuencias de puntuaciones promedio por criterio*



Los resultados indican que los indicadores de uso y gestión del agua tienen un reconocimiento diverso en términos de su relevancia para la sostenibilidad. Los criterios social y económico destacan por sus altas valoraciones de significancia, mientras que los criterios ambiental e institucional presentan una distribución más equilibrada y una menor proporción de valoraciones de alta significancia. Estos hallazgos sugieren la necesidad de considerar múltiples perspectivas de sostenibilidad al desarrollar políticas y prácticas de gestión del agua, garantizando un enfoque integral que aborde las dimensiones social, económica, ambiental e institucional. En el anexo B, se muestran los resultados de los 24 indicadores evaluados por el panel de usuarios.

#### **Indicadores Finales de Uso Sostenible del Agua a Escala de Cuencas Hidrográficas**

De los nueve indicadores que pasaron el filtro de multinivel, es decir, que cumplieron con los criterios de fundamento científico, individualidad, escala de cuencas y especificidad, se procedió a

compararlos con los indicadores evaluados por el panel de usuarios. Aquellos indicadores que obtuvieron el mayor puntaje en la evaluación del panel de usuarios fueron seleccionados para conformar el conjunto final de indicadores. Este proceso de selección riguroso permitió reducir el número de indicadores de nueve a siete, asegurando que los indicadores finales fueran no solo técnicamente sólidos, sino también relevantes y útiles para los usuarios.

De esta manera, se logró identificar un conjunto de siete indicadores de uso sostenible del agua que cumplen con los más altos estándares de calidad y pertinencia. Los siete indicadores finales para ser aplicados a escala de cuencas hidrográficas en relación con el uso sostenible del recurso hídrico son los siguientes: índice de vulnerabilidad climática, índice de pobreza de agua, acceso a saneamiento mejorado, índice de uso no sostenibles de agua, huella hídrica y repercusiones sociales y económicas por la sequía.

El proceso de selección riguroso, que incluyó un filtro de multinivel y la comparación con la evaluación del panel de usuarios, resultó en la identificación de siete indicadores clave para el uso sostenible del agua. Estos indicadores cumplen con criterios de fundamento científico, individualidad, escala de cuencas y especificidad. Además, son altamente relevantes y útiles para los usuarios finales. La combinación de estos criterios asegura que los indicadores finales no solo son técnicamente robustos, sino también aplicables y aceptados por aquellos que los utilizarán. Este enfoque integral garantiza una gestión del agua más efectiva y sostenible, basada en indicadores que cumplen con los más altos estándares de calidad y pertinencia.

## Conclusiones

La evaluación de parte del panel de expertos en relación con cuatro criterios de sostenibilidad definió que 16 indicadores son los más relevantes en la gestión y uso sostenible de los recursos hídricos. La evaluación mixta de expertos y red causal del marco FPEIR (fuerzas motrices, presión, estado, impacto y respuesta) indican que siete indicadores son los que mejor se ajustan para evaluar la gestión y uso sostenible de los recursos hídricos.

El análisis multinivel que incluye los criterios de fundamento científico, individualidad y especificidad reporta que nueve indicadores son aplicables para evaluar la sostenibilidad de recursos hídricos a escala de la cuenca hidrográfica. Por su parte, el panel de usuarios finales seleccionó un conjunto de siete indicadores como los más aptos para evaluar el uso sostenible de recursos hídricos a escala de cuencas hidrográficas. Por lo tanto, los siete indicadores seleccionados fueron: índice de vulnerabilidad climática, índice de pobreza de agua, acceso a saneamiento mejorado, índice de uso no sostenibles de agua, huella hídrica y repercusiones sociales y económicas por la sequía.

### **Recomendaciones**

Elaborar una hoja de perfil de cada indicador como herramienta importante para organizar y acceder fácilmente a la información que requiere cada indicador. A su vez esta hoja de perfil o ficha permitirá una fácil comprensión del alcance de los indicadores para los miembros del consejo de cuencas.

Realizar un análisis de red causal mediante consultas participativas con líderes comunitarios en cada una de las zonas de la cuenca Santa Inés: alta, media y baja con el fin de validar que indicadores son más aptos para cada una de las zonas y comunidades.

Realizar una investigación complementaria que oriente a la recolección de información en la microcuenca Santa Inés para los siete indicadores sugeridos en esta investigación como aptos para escala de cuenca hidrográfica. Los datos de campo permitirán, por un lado, realizar un ajuste según la información disponible y por otro, contar con una línea de base que permita al consejo de la cuenca implementar un sistema de monitoreo como herramienta de toma de decisiones.

## Referencias

- Abdelsalam, H. (2019). Integrated DPSIR-ANP-SD framework for Sustainability Assessment of Water Resources System in Egypt. *International Journal of Engineering*, 3. [https://www.academia.edu/115997711/Integrated\\_DPSIR\\_ANP\\_SD\\_framework\\_for\\_Sustainability\\_Assessment\\_of\\_Water\\_Resources\\_System\\_in\\_Egypt?sm=b](https://www.academia.edu/115997711/Integrated_DPSIR_ANP_SD_framework_for_Sustainability_Assessment_of_Water_Resources_System_in_Egypt?sm=b)
- Acosta, A. F. y Kucharsky, O. A. (2012). *Estudio edafológico y de cobertura para la modelación hidrológica con el modelo SWAT de la microcuenca Santa Inés, Honduras* [Proyecto Especial de Graduación]. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras. <https://bdigital.zamorano.edu/handle/11036/894>
- Acustapa, Y., Arésstegui, D., Castro, A [Alberto], Choquevilca, W., Guzman, G. y Sanchez, P. (2017). Aplicación de metodología FPEIR al diagnóstico ambiental del Humedal Lucre-Huacarpay. *YACHAY, Vol. 6 Núm. 01*. <https://doi.org/10.36881/yachay.v6i01>
- Arévalo, D. y Lozano, J. (2011). Estudio nacional de huella hídrica Colombia sector agrícola. *Revista Internacional De Sostenibilidad, Tecnología Y Humanismo*(6). <http://hdl.handle.net/2099/11915>
- Banco Mundial. (2014). *Determinants of Declining Water Quality*. <https://documents1.worldbank.org/curated/en/361311579717771482/pdf/Determinants-of-Declining-Water-Quality.pdf>
- Borja, Á., Galparsoro, I., Solaun, O., Muxika, I., Tello, E. M., Uriarte, A. y Valencia, V. (2006). The European Water Framework Directive and the DPSIR, a methodological approach to assess the risk of failing to achieve good ecological status. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 66(1-2), 84–96. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2005.07.021>
- Braz, A. M., Garcia, P. H. M., Pinto, A. L., Chávez, E. S. y Oliveira, I. J. de (2020). Manejo integrado de cuencas hidrográficas: posibilidades y avances en los análisis de uso y cobertura de la tierra. *Revista Colombiana De Geografía*, 29(1), 69–85. <https://doi.org/10.15446/rcdg.v29n1.76232>
- Carneiro, P. (2015). *Multi'criteria and Participatory Approach to Socio'Economic, Environmental and Institutional Indicators for Sustainable Water Use and Management at River Basin Level* [Doctoral Thesis]. Universidad Politecnica de Catalunya, España. <http://dx.doi.org/10.5821/dissertation-2117-95717>
- Carreño, F., Suárez, M [María], Martínez, J., Robledano, F., Abarca, R. y Selma, A. (Eds.) (2008). *Indicadores de Sostenibilidad del Agua: Caso Cuenca del Segura*. Congreso Ibérico. [https://www.researchgate.net/publication/233760854\\_Indicadores\\_de\\_Sostenibilidad\\_del\\_Agua\\_caso\\_Cuenca\\_del\\_Segura](https://www.researchgate.net/publication/233760854_Indicadores_de_Sostenibilidad_del_Agua_caso_Cuenca_del_Segura)
- Carreño, M. (2009). El método Delphi: cuando dos cabezas piensan más que una en el desarrollo de guías de práctica clínica. *Revista Colombiana De Psiquiatría*, 38(1). [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0034-74502009000100013](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-74502009000100013)

- Castro, M., Almeida, J., Ferrer, J. y Diaz, D. (2014). Indicadores de la calidad del agua: evolución y tendencias a nivel global. *Ingeniería Solidaria*, 10(17), 111–124. <https://doi.org/10.16925/in.v9i17.811>
- Comisión Económica de las Naciones Unidas Para Europa. (2023). *Progress on Transboundary Water Cooperation (SDG target 6.5)*. <https://www.sdg6data.org/en/indicator/6.5.2>
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe. (2001). *Indicadores de sostenibilidad ambiental y de desarrollo sostenible: estado del arte y perspectivas*. División de Medio Ambiente y Asentamientos Humanos. <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/9fdb0f55-a26d-4ad7-9d03-afae9f73ae5c/content>
- Cordero, D., García, V., Marzá, C. y Vidal, R. (2009). *El marco DPSIR en los sectores de transporte y agricultura: necesidad del desarrollo de indicadores de impacto en las categorías de ruido y uso de suelo*. [https://repositori.uji.es/xmlui/bitstream/handle/10234/82628/El\\_marco\\_DPSIR\\_en\\_los\\_sectores\\_de\\_transporte\\_y\\_agricultura.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositori.uji.es/xmlui/bitstream/handle/10234/82628/El_marco_DPSIR_en_los_sectores_de_transporte_y_agricultura.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2021). *Cambio en el uso eficiente de los recursos hídricos con el paso del tiempo*. <https://www.fao.org/sustainable-development-goals-data-portal/data/indicators/641-change-in-water-use-efficiency-over-time/es>
- Garay, A., Alcalá, R., Ortiz, J. y Sandoval, F. (2022). Estimación de la huella hídrica de la producción de caña de azúcar para los ingenios de la cuenca del Papaloapan. *Remexca*, 13(1), 103–113. <https://doi.org/10.29312/remexca.v13i1.2581>
- García, M. y Suárez, M [M.] (2013). El método Delphi para la consulta a expertos en la investigación científica. *Revista Cubana De Salud Pública*, 39(3). [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0864-34662013000200007](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-34662013000200007)
- Gaupp, F., Hall, J. y Dadson, S. (2015). The role of storage capacity in coping with intra- and inter-annual water variability in large river basins. *Environmental Research Letters*, 10(12), 125001. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/10/12/125001>
- Global Water Partnership. (2014). *Manual de Consejos de Cuencas*. [https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-cam\\_files/manual-consejos-de-cuencas.pdf](https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-cam_files/manual-consejos-de-cuencas.pdf)
- Global Water Partnership,. (2022). *Hacia un uso más eficiente del agua*. <https://www.gwp.org/es/GWP-Centroamerica/CONOCIMIENTO/publicaciones-recientes/uso-mas-eficiente-del-agua/>
- Hernández, C. (2011). Nueva política del agua y herencias centralizadoras: el consejo de cuenca del Valle de México. *Agricultura, Sociedad Y Desarrollo*, 8(3). [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1870-54722011000300001&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1870-54722011000300001&script=sci_arttext)

- Herrera, A., Salas, J., Solis, S., Cordoba, G. y Urias, H. (2007). Incorporación de la vulnerabilidad a las inundaciones al índice de pobreza del agua del municipio de Juárez. *DIALNET*, 4(23). <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7301262>
- Hoekstra, A. (2008). Human appropriation of natural capital: A comparison of ecological footprint and water footprint analysis. *ELSEVIER*, 68. <https://www.truevaluemetrics.org/DBpdfs/EcoSystem/Hoekstra-2008-Ecological-versus-Water-Footprint.pdf>
- Hoekstra, A., Chapagain, A., Aldaya, M. y Meijonnen, M. (2009). *Water Footprint Manual*. University of Twente, Enschede, Netherlands. <https://shre.ink/DAT7>
- Huezo, S. (2011). Caracterización hidrológica y balance hídrico de la microcuenca Santa Inés, Honduras. <https://cutt.ly/1VhxxP9>
- Illasaca Cahuata, E. (2016). Generación de indicadores sintéticos de desarrollo sostenible, Perú 2015. *Revista De Investigaciones Altoandinas - Journal of High Andean Research*, 18(4), 251–260. <https://doi.org/10.18271/ria.2018.368>
- International Institute for Sustainable Development,. (2015). *Watershed Indicators: The challenge of consistency IISD REPORT*. <https://www.iisd.org/system/files/publications/watershed-indicators-challenge-of-consistency.pdf>
- Jimenez, M., Aparicio, J. y Hidalgo, J. (2013). Aplicación del índice de sustentabilidad WSI en la cuenca Lerma-Chapala. *Tecnol. Cienc. Agua*, 4(4), 39–42. [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-24222013000400006&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-24222013000400006&script=sci_arttext)
- Lala, H. y Fernández, M. (2020). Análisis de la Sostenibilidad mediante Huella Hídrica de la microcuenca del Río Pita, Ecuador. *Tecnología Y Ciencias Del Agua*, 11(1), 169–234. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2020-01-05>
- Lopez, A., Lopez, M., Castro, A [Azareel] y Aguilar, J. (2024). *Évaluación de contenido de humedad en el suelo en cultivo de maíz (Zea mays L) usando sistema de riego por gravedad, mediante análisis espectral de imágenes obtenidas con RPAS*. Universidad Autónoma de Baja California. [https://www.researchgate.net/publication/380819330\\_Evaluacion\\_de\\_contenido\\_de\\_humedad\\_en\\_el\\_suelo\\_en\\_cultivo\\_de\\_maiz\\_Zea\\_mays\\_L\\_usando\\_sistema\\_de\\_riego\\_por\\_gravedad\\_mediante\\_analisis\\_espectral\\_de\\_imagenes\\_obtenidas\\_con\\_RPAS](https://www.researchgate.net/publication/380819330_Evaluacion_de_contenido_de_humedad_en_el_suelo_en_cultivo_de_maiz_Zea_mays_L_usando_sistema_de_riego_por_gravedad_mediante_analisis_espectral_de_imagenes_obtenidas_con_RPAS)
- Lopez, J., Martinez, O. y Ihl, T. (2013). Acceso a servicios de saneamiento y al agua potable: de 2000 a 2010 en la Riviera Maya (Cozumel y Playa del Carmen), Quintana Roo, México. *Revista Iberoamericana De Urbanismo (RIURB)*, 1(9). <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/82589>
- Molina, Y. (2006). Programa de educación ambiental para la cuenca del río mucujún: una ventana de extensión universitaria. *Educere*, 10(34). [https://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S1316-49102006000300010&script=sci\\_arttext](https://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S1316-49102006000300010&script=sci_arttext)

- Moreno, M. y Cruz, E. (2023). Situación de desigualdad en el acceso al agua y saneamiento de la región hidrosocial-política e intercultural de Las Margaritas y La Trinitaria, Chiapas, México, 6. <http://ru.iiec.unam.mx/id/eprint/6268>
- Naciones Unidas,. (2022). *UN World Water Development Report*. <https://www.unwater.org/publications/un-world-water-development-report-2022>
- Navarro Sousa, S., Estruch-Guitart, V. y Garcia, C. (2020). Uso de indicadores causa-efecto para el diagnóstico de la sostenibilidad hídrica en las Islas Baleares (España). *Boletín De La Asociación De Geógrafos Españoles*. Publicación en línea avanzada. <https://doi.org/10.21138/bage.2833>
- Organización de las Naciones Unidas. (2010). *FAO destaca ventajas de uso de aguas residuales para agricultura*. <https://news.un.org/es/story/2010/09/1199481>
- Organización de las Naciones Unidas. (2017). *Guía para el Monitoreo Integrado del Objetivo de Desarrollo Sostenible 6 Sobre Agua y Saneamiento*. [https://www.unwater.org/sites/default/files/app/uploads/2017/10/G2\\_Metas-e-indicadores-mundiales\\_Version-2017-07-14.pdf](https://www.unwater.org/sites/default/files/app/uploads/2017/10/G2_Metas-e-indicadores-mundiales_Version-2017-07-14.pdf)
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2019). *Monitoreo Integrado del Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) 6*. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/1493153e-a06f-47f7-b12a-ca36ff49eb48/content>
- Paz, C. (2019). Índice de vulnerabilidad ante efectos del cambio climático: Choluteca, Honduras. *Población Y Desarrollo - Argonautas Y Caminantes*, 15, 52–61. <https://doi.org/10.5377/pdac.v15i0.8116>
- Rascon, A. (2007). *Metodología para la elaboración de la línea base y para la implementación del monitoreo biofísico y socioambiental de la cogestión de cuencas en América Central* [Tesis de maestría]. CATIE, Costa Rica. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/3089>
- Revelo y Ramos, S. (2014). Detección, evaluación y pronóstico de las sequías en la región del Organismo de Cuenca Pacífico Norte, Méx. *Agriscientia*, 31(1). [http://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S1668-298X2014000100002&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S1668-298X2014000100002&script=sci_arttext)
- Sanchez, M.; Ramajo, J. (2013). *Desarrollo Sostenible en los Municipios de la Provincia de Badajoz: Estimación de un Modelo Tipo DPSIR Mediante el Enfoque de Ecuaciones Estructurales*. <https://old.reunionesdeestudiosregionales.org/Oviedo2013/htdocs/pdf/p620.pdf>
- Sánchez Cohen, I., Catalán Valencia, E., González Cervantes, G., Estrada Avalos, J. y García Arellano, D. (2006). Indicadores comparativos del uso del agua en la agricultura. *Agricultura Técnica En México*, 32(3). [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0568-25172006000300009&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0568-25172006000300009&script=sci_arttext)

- Senent, J., Perez, J. y Artero, A. (2016). Evaluación de la sostenibilidad de cuencas mediterráneas semiáridas. Caso de estudio: cuenca del Segura, España. *Tecnol. Cienc. Agua*, 7(2). [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-24222016000200067&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-24222016000200067&script=sci_arttext)
- Teerakul, B., Rongsayamanont, C., Darnsawasdi, R. y Kosolsaksakul, P. (2023). A Combined DPSIR Framework and Logical Framework Approach for Sustainable Water Resources Management in the Lagoon Floodplain. *Environment and Natural Resources Journal*, 21(3), 1–11. <https://doi.org/10.32526/ennrj/21/202200170>
- Torelló-Sentelles, H. y Franzke, C. L. E. (2022). Drought impact links to meteorological drought indicators and predictability in Spain. *Hydrology and Earth System Sciences*, 26(7), 1821–1844. <https://doi.org/10.5194/hess-26-1821-2022>
- Tovar-Hernández, N. A., Trujillo-González, J. M., Muñoz-Yáñez, S. I., Torres-Mora, M. A. y Zárate, E. (2017). Evaluación de la sostenibilidad de los cultivos de arroz y palma de aceite en la cuenca del río Guayuriba (Meta, Colombia), a través de la evaluación de huella hídrica. *Orinoquia*, 21(1), 52–63. <https://doi.org/10.22579/20112629.394>
- Union Europea. (2014). *Evaluation methodological approach*. [https://capacity4dev.europa.eu/groups/evaluation\\_guidelines/info/analisis-multicriterio\\_en](https://capacity4dev.europa.eu/groups/evaluation_guidelines/info/analisis-multicriterio_en)
- Urbano, P. (2017). *Índice de pobreza del agua en los acuíferos de Cerritos-Vila Juárez y Rioverde de la zona media de San Luis Potosí* [Tesis de maestría]. INSTITUTO POTOSINO DE INVESTIGACIÓN, Mexico. <https://repositorio.ipicyt.edu.mx/handle/11627/3553>
- Wimmer, R. y Dominick, J. (Eds.). (2010). *Mass Media Research: An Introduction* (9ª ed.). Wadsworth Inc. Co.
- Winpenny, J. T. (2013). *Informe sobre temas hídricos / FAO: Vol. 35. Reutilización del agua en la agricultura: ¿beneficios para todos?* (J. Mateo-Sagasta y P. Román, Eds.). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, FAO.
- World Health Organization. (2012). *Health Indicators of sustainable water*. [https://www.who.int/docs/default-source/environment-climate-change-and-health/sustainable-development-indicator-water.pdf?sfvrsn=1a880097\\_2](https://www.who.int/docs/default-source/environment-climate-change-and-health/sustainable-development-indicator-water.pdf?sfvrsn=1a880097_2)
- World Water Assessment Programme. (2024). *The United Nations World Water Development Report 2024: water for prosperity and peace; facts, figures and action examples*. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000388952>
- World Water Assessment Programme. (2006). *The United Nations World Water Development Report*. <https://www.unesco.org/en/wwap>

## Anexos

## Anexo A

*Plantilla de puntuación media del panel de expertos*

Indicador	Descripción	DPSIR frame-work	Puntuación media de criterios				Promedio general
			Soc.	Econ.	Ambi.	Insti.	
<b>índice de pobreza de agua</b>	Proporciona una mejor comprensión de la relación entre el alcance físico de la disponibilidad de agua, su facilidad de extracción y el nivel de bienestar de la comunidad de extracción y el nivel de bienestar de la comunidad. Evalúa 5 elementos estratégicos: recurso, acceso capacidad de gestión, usos y medio ambiente.	P,E,I,R	10	9.2	8.8	7.7	9.1
<b>Índice de vulnerabilidad climática</b>	Relaciona los recursos hídricos con las evaluaciones de vulnerabilidad humana, considerando los siguientes aspectos: vulnerabilidad geográfica del lugar, recursos hídricos disponibles, acceso al agua, eficiencia en el uso del agua, capacidad para gestionar el agua e impactos ambientales.	P,E,I,R	9.3	9.2	9.4	8.9	9.2
<b>Índice de reutilización de agua</b>	Considera las extracciones consecutivas de agua para uso doméstico, industrial y agrícola a lo largo de una red fluvial en relación con los suministros de agua disponibles en relación con las reservas de agua disponibles.	P,S	9.7	9.2	9.1	7.5	8.9
<b>Escasez de agua</b>	Representa el número de personas y países afectados por la escasez de agua, el número de países incapaces de suministrar un mínimo de agua potable.	I	10	9.7	8.5	9.7	9.5
<b>Huella hídrica</b>	Suma del agua utilizada directamente y del agua virtual. Representa la cantidad de agua necesaria para producir los recursos que necesita una persona, en función de su estilo de vida y consumo.	P	8	9.5	9.1	7.5	8.5
<b>Incidencia de lombrices, sarna, tracoma y diarrea</b>	Considera los problemas de salud de las poblaciones urbanas relacionados con el agua contaminada, la falta de abastecimiento de agua y el saneamiento contaminada, falta de abastecimiento de agua y saneamiento.	I	9.7	8	8.2	9.5	8.8
<b>Índice de rendimientos de los servicios de agua</b>	Da cuenta del rendimiento de los proveedores de servicios de agua en zonas urbanas evaluado en términos de asequibilidad, calidad del agua suministrada, accesibilidad al servicio, cantidad de agua suministrada y fiabilidad. El nivel de rendimiento de estas empresas dicta la calidad del servicio prestado a las ciudades.	S	9.3	9.2	7.6	9.7	9.0
<b>Acceso a saneamiento mejorado</b>	Representa la proporción de la población (total, urbana y rural) con acceso a una instalación de saneamiento mejorada.	I	8.6	7.7	8.5	10	8.7
<b>Proporción de población urbana que viven en barrios marginales</b>	Proporciona una medida para identificar el porcentaje de la población urbana que vive en barrios marginales basada en una evaluación de varias condiciones: acceso a agua potable, acceso a saneamiento, tenencia segura durabilidad de la vivienda y superficie habitable suficiente.	P,S	10	7.2	5.9	8.4	7.9
<b>Fracción de la carga de mortalidad por deficiencia nutricional</b>	Representa el porcentaje de la carga de mala salud resultante de deficiencias nutricionales, atribuible a los efectos de la escasez de agua en el suministro de alimentos.	I	9.7	6.6	6.2	8.1	7.6
<b>Repercusiones sociales y económicas por la sequía</b>	Considera las catástrofes relacionadas con el agua: número de sequías y pérdidas socioeconómicas asociadas a ellas (muertes, personas afectadas y daños materiales).	I	9.7	9.7	8.8	8.6	9.2

Indicador	Descripción	DPSIR frame- work	Puntuación media de criterios				Promedio general
			Soc.	Econ.	Ambi.	Insti.	
<b>Incidencia del cólera</b>	Representa el número de casos de cólera por región. La enfermedad está relacionada con el agua y los alimentos contaminados y se da con mayor frecuencia allí donde no se puede garantizar el acceso al agua potable y al saneamiento básico.	I	9	6.5	6.1	8.4	7.5
<b>Causas de las emergencias alimentarias</b>	Considera las causas de las emergencias alimentarias: comparación entre el número de países afectados frente a las catástrofes provocadas por el hombre y el número de países afectados frente a las catástrofes naturales y número de países afectados frente a catástrofes naturales.	I	7.7	6.3	7.2	7.2	7.1
<b>Huella ecológica</b>	La cantidad de tierra necesaria para producir los recursos que necesita una persona, en función del tipo de tierra y el consumo (alimentos, vivienda transporte, bienes, servicios y residuos).	P	7.7	6.5	7.8	6.0	7.0
<b>Avances hacia el objetivo de la GIRH</b>	Clasifica a los países en tres grupos basándose en diez criterios específicos de Gestión Integrada de los Recursos Hídricos de los recursos hídricos.	R	8.7	8.4	9.1	9.2	8.8
<b>Resiliencia del suministro de agua</b>	Proporciona un medio de aproximación a la capacidad de una ciudad o proveedor de agua para mantener o aumentar la porción de la población con acceso a agua potable.	S,R	9.3	9.2	7.9	9.2	8.9
<b>Principales episodios de sequía y sus consecuencias</b>	Lista de los principales episodios de sequía y las pérdidas humanas y económicas asociadas en los últimos 100 años.	I	9	8.9	8.8	8.1	8.7
<b>Índice relativo de estrés hídrico</b>	Demanda de agua doméstica, industrial y agrícola por suministro de agua disponible.	P,S	9.3	9.2	8.8	8.4	8.9
<b>Índice de uso no sostenible del agua</b>	Es el resultado de los recursos renovables de agua dulce disponibles menos la demanda humana de agua distribuida geoespacialmente para uso doméstico, industrial y agrícola para uso doméstico, industrial y agrícola.	P,S	9	9.5	9.4	8.9	9.2
<b>Participación del sector del agua en el gasto público total</b>	Representa el porcentaje del presupuesto nacional gastado en el sector del agua para ampliar el acceso al suministro de agua y mejorar la gestión y gobernanza de los recursos hídricos y mejorar la gestión y gobernanza de los recursos hídricos.	R	8.7	8.9	6.2	8.3	8.0
<b>Relación de dependencia del país</b>	Relación entre las aguas superficiales y subterráneas que afluyen de los países vecinos (u otras divisiones geográficas) y la cantidad total de agua disponible en bases anuales.	P,S,I	6.1	5.6	5.8	6.9	6
<b>Tarifas de agua favorables a los pobres y a la eficiencia</b>	Examina la aplicación de herramientas económicas y financieras a la asignación del agua con vistas a un uso eficiente del agua y una política en favor de los pobres.	S,I	9.7	9.7	6.9	8.6	8.7
<b>El agua en los programas escolares</b>	Representa el número de países (u otra división geográfica) que han introducido contenidos relacionados con el agua en los programas escolares.	S	8.7	7.7	9.1	8.4	8.5
<b>Capacidad total de almacenamiento de agua</b>	La capacidad total de almacenamiento de agua en estructuras artificiales de almacenamiento por encima de un tamaño mínimo.	P,S,R	8.3	8.6	5.9	8.1	7.7

## Anexo B

### Plantilla de puntuación media del panel de usuarios finales

Indicador	Descripción	DPSIR frame-work	Puntuación media de criterios				Promedio general
			Soc.	Econ.	Ambi.	Insti.	
<b>índice de pobreza de agua</b>	Proporciona una mejor comprensión de la relación entre el alcance físico de la disponibilidad de agua, su facilidad de extracción y el nivel de bienestar de la comunidad de extracción y el nivel de bienestar de la comunidad. Evalúa 5 elementos estratégicos: recurso, acceso capacidad de gestión, usos y medio ambiente.	P,E,I,R	10	9	9.1	9.2	9.3
<b>Índice de vulnerabilidad climática</b>	Relaciona los recursos hídricos con las evaluaciones de vulnerabilidad humana, considerando los siguientes aspectos: vulnerabilidad geográfica del lugar, recursos hídricos disponibles, acceso al agua, eficiencia en el uso del agua, capacidad para gestionar el agua e impactos ambientales.	P,E,I,R	10	9	9.5	7.6	9.1
<b>Índice de reutilización de agua</b>	Considera las extracciones consecutivas de agua para uso doméstico, industrial y agrícola a lo largo de una red fluvial en relación con los suministros de agua disponibles en relación con las reservas de agua disponibles.	P,S	10	10	8.4	9.9	9.5
<b>Escasez de agua</b>	Representa el número de personas y países afectados por la escasez de agua, el número de países incapaces de suministrar un mínimo de agua potable.	I	8	9	9.6	7.8	8.6
<b>Huella hídrica</b>	Suma del agua utilizada directamente y del agua virtual. Representa la cantidad de agua necesaria para producir los recursos que necesita una persona, en función de su estilo de vida y consumo.	P	10	8	8.4	9.6	8.9
<b>Incidencia de lombrices, sarna, tracoma y diarrea</b>	Considera los problemas de salud de las poblaciones urbanas relacionados con el agua contaminada, la falta de abastecimiento de agua y el saneamiento contaminada, falta de abastecimiento de agua y saneamiento.	I	10	9	7.5	9.5	8.9
<b>Índice de rendimientos de los servicios de agua</b>	Da cuenta del rendimiento de los proveedores de servicios de agua en zonas urbanas evaluado en términos de asequibilidad, calidad del agua suministrada, accesibilidad al servicio, cantidad de agua suministrada y fiabilidad. El nivel de rendimiento de estas empresas dicta la calidad del servicio prestado a las ciudades.	S	8	9	8.8	9.7	8.9
<b>Acceso a saneamiento mejorado</b>	Representa la proporción de la población (total, urbana y rural) con acceso a una instalación de saneamiento mejorada.	I	10	8	6.6	8	8.1
<b>Proporción de población urbana que viven en barrios marginales</b>	Proporciona una medida para identificar el porcentaje de la población urbana que vive en barrios marginales basada en una evaluación de varias condiciones: acceso a agua potable, acceso a saneamiento, tenencia segura durabilidad de la vivienda y superficie habitable suficiente.	P,S	10	7	7.7	7.9	8.1
<b>Fración de la carga de mortalidad por déficit nutricional</b>	Representa el porcentaje de la carga de mala salud resultante de deficiencias nutricionales, atribuible a los efectos de la escasez de agua en el suministro de alimentos.	I	10	9	8.3	8.2	8.9
<b>Repercusiones sociales y económicas por la sequía</b>	Considera las catástrofes relacionadas con el agua: número de sequías y pérdidas socioeconómicas asociadas a ellas (muertes, personas afectadas y daños materiales).	I	10	7	6.3	8.1	7.8

Indicador	Descripción	DPSIR frame-work	Puntuación media de criterios				Promedio general
			Soc.	Econ.	Ambi.	Insti.	
<b>Índice de pbre</b>	Representa el número de casos de cólera por región. La enfermedad está relacionada con el agua y los alimentos contaminados y se da con mayor frecuencia allí donde no se puede garantizar el acceso al agua potable y al saneamiento básico.	I	10	10	9.1	6.7	8.8
<b>Causas de las emergencias alimentarias</b>	Considera las causas de las emergencias alimentarias: comparación entre el número de países afectados frente a las catástrofes provocadas por el hombre y el número de países afectados frente a las catástrofes naturales y número de países afectados frente a catástrofes naturales.	I	9	8	7.9	6.8	7.9
<b>Huella ecológica</b>	La cantidad de tierra necesaria para producir los recursos que necesita una persona, en función del tipo de tierra y el consumo (alimentos, vivienda transporte, bienes, servicios y residuos).	P	8	9	9.6	9.3	9.0
<b>Avances hacia el objetivo de la GIRH</b>	Clasifica a los países en tres grupos basándose en diez criterios específicos de Gestión Integrada de los Recursos Hídricos de los recursos hídricos.	R	10	9	8.1	9.0	8.9
<b>Resiliencia del suministro de agua</b>	Proporciona un medio de aproximación a la capacidad de una ciudad o proveedor de agua para mantener o aumentar la porción de la población con acceso a agua potable.	S,R	10	9	9.0	7.9	8.9
<b>Principales episodios de sequía y sus consecuencias</b>	Lista de los principales episodios de sequía y las pérdidas humanas y económicas asociadas en los últimos 100 años.	I	9	9	9.4	7.9	8.9
<b>Índice relativo de estrés hídrico</b>	Demanda de agua doméstica, industrial y agrícola por suministro de agua disponible.	P,S	9	9	9.6	8.5	9.0
<b>Índice de uso no sostenible del agua</b>	Es el resultado de los recursos renovables de agua dulce disponibles menos la demanda humana de agua distribuida geoespacialmente para uso doméstico, industrial y agrícola para uso doméstico, industrial y agrícola.	P,S	10	9	5.9	7.6	8.0
<b>Participación del sector del agua en el gasto público total</b>	Representa el porcentaje del presupuesto nacional gastado en el sector del agua para ampliar el acceso al suministro de agua y mejorar la gestión y gobernanza de los recursos hídricos y mejorar la gestión y gobernanza de los recursos hídricos.	R	9	7	7.3	6.5	7.5
<b>Relación de dependencia del país</b>	Relación entre las aguas superficiales y subterráneas que afluyen de los países vecinos (u otras divisiones geográficas) y la cantidad total de agua disponible en bases anuales.	P,S,I	10	9	6.9	8.5	8
<b>Tarifas de agua favorables a los pobres y a la eficiencia</b>	Examina la aplicación de herramientas económicas y financieras a la asignación del agua con vistas a un uso eficiente del agua y una política en favor de los pobres.	S,I	10	8	9.1	7.8	8.6
<b>El agua en los programas escolares</b>	Representa el número de países (u otra división geográfica) que han introducido contenidos relacionados con el agua en los programas escolares.	S	8	9	6.4	7.8	7.6
<b>Capacidad total de almacenamiento de agua</b>	La capacidad total de almacenamiento de agua en estructuras artificiales de almacenamiento por encima de un tamaño mínimo.	P,S,R	9	9	8.1	8.2	7.7

Anexo C

*Entrevista con usuarios finales*














Anexo D

Herramienta de consulta

5

Basado en su conocimiento y experiencia, por favor, valore el indicador **"Escasez de agua"** con respecto a los 4 criterios de sostenibilidad que se le indican a continuación. \* 

**Definición del indicador:** Representa el número de personas y países afectados por la escasez de agua, el número de países incapaces de suministrar un mínimo de agua potable.

Social	Económico	Ambiental	Institucional
<b>No es significativo</b>			
Ningún componente social significativo	No se incluyó ningún Componente significativo Económico	No incluye ningún componente medioambiental	No incluye ningún componente institucional
<b>Significante</b>			
Incluye componentes que contribuyen a mejorar el acceso a agua de calidad y la cantidad necesaria para las necesidades humanas	Incluye componentes que contribuyen al uso eficiente del agua promoviendo el desarrollo rural	Incluye componentes del medio ambiente que contribuyen a la protección de los recursos naturales: suelo, biota y agua	Incluye componentes institucionales que contribuyen a promover los principios de la GIRH.
<b>Alta significancia</b>			
Su objetivo es garantizar el acceso a agua de calidad y la cantidad necesaria para necesidades humanas.	Su objetivo es garantizar la eficiencia de la gestión y uso del agua, fomentando el desarrollo urbano y rural.	Su objetivo es garantizar una protección de los recursos naturales: suelo, biota y agua (especialmente los manantiales y aguas subterráneas)	Tiene por objeto garantizar un apropiado marco institucional para promover los principios de la GIRH.

	No es significativo	Significante	Alta significancia
Social	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Económico	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ambiental	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Institucional	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

