



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria
y Recursos Hidráulicos (ERIS)

**DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE SOSTENIBILIDAD HÍDRICA DE CUENCAS
DE LA PARTE ALTA DEL RÍO NARANJO**

Ing. Agr. Víctor Lionel Mux Caná

Asesorado por M. Sc. Ing. Joram Gil

Guatemala, julio de 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE SOSTENIBILIDAD HÍDRICA DE CUENCAS
DE LA PARTE ALTA DEL RÍO NARANJO**

ESTUDIO ESPECIAL

PRESENTADO A LA ESCUELA REGIONAL DE INGENIERIA SANITARIA Y
RECURSOS HIDRÁULICOS (ERIS)

POR

ING. AGR. VICTOR LIONEL MUX CANÁ
ASESORADO POR. M. SC. ING. JORAM GIL

COMO REQUISITO PREVIO PARA OPTAR AL GRADO ACADÉMICO DE

**MAESTRO (*MAGISTER SCIENTIFICAE*) EN CIENCIAS
GESTIÓN INTEGRADA DE RECURSOS HÍDRICOS**

GUATEMALA, JULIO DE 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Vladimir Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN DE ESTUDIO ESPECIAL

EXAMINADOR	M. Sc. Ing. Elfego Orozco
EXAMINADOR	M. Sc. Ing. Adán Pocasangre
EXAMINADOR	M. Sc. Ing. Joram Gil

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE SOSTENIBILIDAD HÍDRICA DE CUENCAS DE LA PARTE ALTA DEL RÍO NARANJO

Tema que me fuera asignado por la Comisión de Admisión y Otorgamiento de Grado de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos, con fecha 20 de julio de 2012.

Ing. Agr. Víctor Lionel Mux Caná

Correo electrónico: agroleonel@yahoo.com.mx

Carné: 100016762



Guatemala, 29 de julio de 2022

Señores Comisión de Admisión y Otorgamiento de Grado
Escuela regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS)

Respetuosamente les comunico que he tenido a la vista las evidencias remitidas por el estudiante Víctor Lionel Mux Caná, donde consta que cumplió con lo solicitado por su asesor de estudio especial, Ingeniero Joram Gil, QEPD. Estudio denominado:

“Determinación del índice de sostenibilidad hídrica de cuencas de la parte Alta del río Naranjo”

En base a lo indicado anteriormente y que he revisado el estudio, en mi calidad de coordinador de la Maestría en Ciencias en Recursos Hidráulicos, considero que cumplió en forma satisfactoria con todos los requisitos establecidos por la ERIS y por la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Sin otro particular se agradece la atención a la presente,

Atentamente,
“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

MSc. Ingeniero Juan José Sandoval
Coordinador de la Maestría en Ciencias en Recursos Hidráulicos
Escuela regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos
Facultad de Ingeniería, USAC



ERIS

ESCUELA REGIONAL DE INGENIERÍA
SANITARIA Y RECURSOS HIDRÁULICOS
FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

El Director de la Escuela Regional de Ingeniería y Recursos Hidráulicos (ERIS) después de conocer el dictamen del tribunal examinador integrado por los profesores siguientes: MSc. Ing. Adán Pocasangre, MSc. Ing. Elfego Orozco Fuentes y MSc. Ing. Joram Gil Laroj; así como también el visto bueno del Coordinador de la Maestría en Ciencias en Recursos Hidráulicos; MSc. Ing. Juan José Sandoval y la revisión lingüística realizada por la Licenciada Jéssica Melgarejo Monterroso, Colegiada No. 27003, al trabajo del estudiante Ing. Agr. Víctor Lionel Mux Caná, titulado: “Determinación del índice de sostenibilidad hídrica de cuencas de la parte Alta del río Naranjo”, en representación de la Comisión de Admisión y Otorgamiento de Grado, procede a la autorización del mismo, en Guatemala el 9 de agosto de 2022.

IMPRÍMASE,

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

M. Sc. Ing. Pedro Cipriano Saravia Celis
DIRECTOR
Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y
Recursos Hidráulicos

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Al Creador de la vida, quien envió a su hijo Jesucristo como nuestro único y suficiente salvador, sólo a ti sea la honra, la gloria y el honor por los siglos de los siglos.
- Mis padres** Victor Lázaro Mux Otzoy (q.e.p.d.) y Juana Norberta Caná Chalí, (q.e.p.d.). Mil gracias por traerme a esta tierra para ser de útil existencia con su ejemplo.
- Mi esposa** Zonia Etelevina Roquel Calí, amor de mi vida, compañera de mil batallas, tu sola presencia en mi vida es motivo de una gran bendición.
- Mis hijos** Zonia Rubi, Handel Victor Lionel y Derick Andy Israel Mux Roquel, mis amores y mis motivos de esfuerzo en esta maravillosa vida.
- Mis hermanas** Alma Angelina, Delfina y Aura Marina Mux Caná, por enseñarme a enfrentar la vida confiando en Dios, gracias por estar siempre en todo momento.

AGRADECIMIENTOS A:

**Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Templo del saber para los guatemaltecos
sedientos de conocimientos.

Facultad de Ingeniería

Casa de enseñanza de alternativas de
desarrollo.

**Escuela Regional de
Ingeniería Sanitaria y
Recursos Hidráulicos
(ERIS)**

Por forjarme en el proceso de formación
profesional en temas de agua.

Asesores

MSc. Ing. Joram Gil (q. e. p. d.), por su
amistad, enseñanza y ejemplo.

MSc. Ing. Pedro Saravia Celis, por su
respaldo profesional y enseñanzas.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
RESUMEN.....	IX
DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	XI
PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN.....	XIII
JUSTIFICACIÓN.....	XV
HIPÓTESIS.....	XVII
OBJETIVOS.....	XIX
ALCANCES.....	XXI
LÍMITES DEL ESTUDIO	XXIII
ANTECEDENTES.....	XXV
1. MARCO TEÓRICO.....	1
1.1 Índice.....	1
1.2 Desarrollo sostenible o sostenibilidad	2
1.3 Cuencas	6
1.4 Delimitación de cuencas en el territorio estudiado	7
1.5 Modelo para medir el índice de sostenibilidad de cuencas (ISC) .	15
1.5.1 Presión.....	16
1.5.2 Estado.....	16
1.5.3 Respuesta	17
1.6. Ventajas y desventajas del efecto “presión, estado, respuesta”	19
1.6.1 Ventajas.....	19
1.6.2 Desventajas	20
1.7 Sostenibilidad hídrica	21

1.8	Gestión integrada de recursos hídricos (GIRH)	22
1.9	Gobernabilidad.....	23
2.	MARCO REFERENCIAL.....	25
2.1	Centros poblados en el área de estudio.....	25
2.2	Crecimiento poblacional de las cuencas estudiadas (L)	27
2.3	Índice de Desarrollo Humano /IDH de los municipios estudiados ...	27
2.4	Hidrología: cantidad de agua en las cuencas estudiadas (H1) red hídrica.....	28
2.5	Hidrología: cantidad de agua en las cuencas estudiadas (H1) balance hídrico	31
2.6	Ambiente cobertura forestal en las cuencas estudiadas (E).....	33
2.7	Ambiente uso del suelo en las cuencas estudiadas (E).....	34
2.8	Política: instrumentos de política para la GIRH en cuencas estudiadas (P).....	35
3.	MECANISMO DE MEDICIÓN DE INDICADORES	41
3.1	Presión	41
3.1.1	Hidrología - indicador de cantidad de agua (H 1)	41
3.1.2	Hidrología -indicador de calidad de agua (H2).....	42
3.1.3	Indicador de ambiente (E).....	42
3.1.4	Indicador de vida (L)	43
3.1.5	Indicador de políticas (P)	44
3.2	Estado	44
3.2.1	Hidrología - indicador de cantidad de agua (H 1)	44
3.2.2	Hidrología -indicador de calidad de agua (H2).....	45
3.2.3	Indicador de ambiente (E).....	46
3.2.4	Indicador de vida (L)	46
3.2.5	Indicador de políticas (P)	47

3.3	Respuesta.....	49
3.3.1	Hidrología - indicador de cantidad de agua (H 1).....	49
3.3.2	Hidrología -indicador de calidad de agua (H2).....	49
3.3.3	Indicador de ambiente (E).....	50
3.3.4	Indicador de vida (L)	51
3.3.5	Indicador de políticas (P)	51
4.	PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	53
4.1	Presión.....	53
4.1.1	Hidrología - indicador de cantidad de agua (H 1).....	53
4.1.2	Hidrología -Indicador de Calidad de Agua (H 2).....	53
4.1.3	Indicador de ambiente (E).....	54
4.1.4	Indicador de vida (L)	54
4.2	Estado.....	56
4.2.1	Hidrología - Indicador de Cantidad de Agua (H 1)	56
4.2.2	Hidrología -indicador de calidad de agua (H2).....	56
4.2.3	Indicador de ambiente (E).....	56
4.2.4	Indicador de vida (L)	58
4.2.5	Indicador de políticas (P)	58
4.3	Respuesta.....	60
4.3.1	Hidrología - indicador de cantidad de agua (H1).....	60
4.3.2	Hidrología -indicador de calidad de agua (H2).....	60
4.3.3	Indicador de ambiente (E).....	60
4.3.4	Indicador de vida (L)	61
4.3.5	Indicador de políticas (P)	61
	CONCLUSIONES	67
	RECOMENDACIONES.....	69

REFERENCIAS 71
ANEXOS..... 74

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Mapa de la parte alta de la cuenca del río Naranjo.....	XXII
2.	Esquema de los tres pilares de desarrollo sostenible	4
3.	Esquemas de los tres pilares de desarrollo sostenible.....	5
4.	Delimitación continental de cuencas de América del Norte nivel 1	9
5.	Delimitación continental de cuencas de América del Norte y Centro América, nivel 2.....	10
6.	Delimitación nacional de cuencas nivel 3.....	11
7.	Delimitación nacional de cuencas nivel 6.....	12
8.	Delimitación nacional de cuencas, nivel 8.....	13
9.	Mapa de la parte alta de las cuencas del río Naranjo, nivel 8, último nivel.....	14
10.	Mapa de centros poblados de las microcuencas de estudio	26
11.	Mapa de red hídrica en las cuencas de estudio	30
12.	Mapa de balance hídrico en las cuencas de estudio.....	32
13.	Mapa de cobertura forestal en las microcuencas de estudio	33
14.	Gráfica del comportamiento de los índices de Presión, Estado y Respuesta	65

TABLAS

I.	Cuencas en la parte alta de la cuenca del río Naranjo y variación poblacional.....	27
----	---	----

II.	IDH de los municipios que conforman la parte alta de la cuenca del río Naranjo	28
III.	Red hídrica y la longitud de estas	29
IV.	Área en km ² de las cuencas de estudio	29
V.	Área en km ² de las cuencas de estudio	31
VI.	Intensidad de uso del suelo en las cuencas de estudio	34
VII.	Instrumentos de política en las cuencas de estudio (2006-2009)	35
VIII.	Instrumentos de política en las cuencas de estudio (2011)	36
IX.	Proceso de institucionalización social -técnica - administrativa en apoyo de A&S en el marco de la GIRH.....	37
X.	Variación de la disponibilidad de agua per cápita en el periodo (m ³ /persona/año)	41
XI.	Variación del DBO ₅ de la cuenca en el periodo	42
XII.	Variación en el uso apropiado del suelo en el periodo de estudio	43
XIII.	Variación del índice de ingresos per cápita en la cuenca en el periodo .	43
XIV.	Variación del índice de educación en la cuenca en el periodo	44
XV.	Disponibilidad per cápita de agua en la cuenca superficial y subterránea (m ³ /persona/año)	45
XVI.	Promedio de la DBO ₅ de la cuenca (largo plazo) en mg/l.....	45
XVII.	Recursos naturales existentes (cobertura forestal).....	46
XVIII.	IDH ponderado de cuenca del periodo anterior	47
XIX.	Marco legal (L), marco institucional (I) y manejo de la participación (P) .	47
XX.	Evolución en la eficiencia de uso de agua en la cuenca en el periodo ...	49
XXI.	Evolución en el tratamiento y disposición de aguas residuales en la cuenca en el periodo.....	50
XXII.	Evolución en la capacidad de organizarse y planificar en la cuenca en el periodo	50
XXIII.	Variación del IDH en la cuenca en el periodo	51

XXIV.	Evolución en la inversión en la gestión integrada de los recursos hídricos (GIRH)	51
XXV.	Resumen del índice de sostenibilidad de cuencas "presión"	55
XXVI.	Resumen del índice de sostenibilidad de cuencas "estado"	59
XXVII.	Resumen de las inversiones en la zona del proyecto en el periodo de estudio.....	62
XXVIII.	Resumen del índice de sostenibilidad de cuencas "respuesta"	63
XXIX.	Índice de sostenibilidad de cuencas "integrado"	64

RESUMEN

Para la sostenibilidad hídrica de las cuencas es necesario gestionar integralmente las acciones vinculando los diferentes elementos naturales, sociales, políticos, económicos y tecnológicos. El estudio se desarrolló en la parte alta de la cuenca del río Naranjo en microcuencas priorizadas de ocho municipios de los departamentos de San Marcos y Quetzaltenango.

Se evaluó el impacto alcanzado en la parte alta de la cuenca del río Naranjo en el occidente guatemalteco, debido a intervenciones sectorizadas, descoordinadas y atomizadas; lo anterior se realizó para recomendar lineamientos que permitan incrementar el impacto para la sostenibilidad ambiental, social, política y económica.

La problemática en el área de la cuenca es que existe una incipiente gobernabilidad para la gestión de los recursos hídricos, lo que dificulta el desarrollo social, económico y político del territorio. La presente propuesta buscó una metodología para valorar cualitativa y cuantitativamente los esfuerzos por lograr la gestión integrada de los recursos hídricos, así como también servir de alerta en dado caso las acciones para su gestión no se desarrollen oportunamente.

Como resultado de la aplicación de la metodología en búsqueda de la sostenibilidad se hallaron los índices o valores siguientes: a) presión: 0.5, b) Estado 0.55 y c) Respuesta: 0.7; por lo anterior, al realizar el promedio se obtuvo el índice de sostenibilidad hídrica de cuencas (WSI o ISC) de la parte Alta del Río

Naranja asignando un valor positivo de 0.58, es decir 58 puntos, valor cercano al 70 planteado en la hipótesis del presente estudio.

Se resalta el valor promedio de 0.70 que corresponde un valor “alto” asignado a todas aquellas acciones de construcción participativa de políticas orientadoras y participación social en búsqueda del desarrollo sostenible.

DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

En Guatemala no existe un índice que mida la sostenibilidad hídrica en los territorios y mucho menos en las cuencas. En publicaciones como el informe de cumplimiento de los objetivos de desarrollo del milenio (ODM) se puede decir que existen avances en temas ambientales sectoriales, pero no lo vinculan con otras variables socioeconómicas y de política para medir de manera integrada la sostenibilidad.

La medición de la sostenibilidad hídrica de cuencas se ha llevado a cabo en países de América como Brasil, Paraguay y Panamá, así como en otras partes del mundo en donde se cuenta con sistemas de generación, manejo y evaluación de información de variables ambientales, sociales, políticas y tecnológicas. Guatemala, se divide política y administrativamente en departamentos y no está administrada sobre la base de cuencas, en algunos países de Latinoamérica se ha avanzado porque cuentan con instrumentos normativos a nivel de leyes, políticas y programas que velan por el tema de la gestión integrada de cuencas.

En el área de estudio, el crecimiento poblacional presiona los recursos naturales como el bosque y el agua, existe severa deforestación, ampliación de la frontera agrícola y erosión de los suelos por malas prácticas de manejo y conservación.

PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Existe una metodología que permita identificar el estado actual de Recursos Naturales y el ambiente, identificando quién y cómo los están afectando y a la vez identifique acciones estratégicas de la sociedad?

JUSTIFICACIÓN

Las intervenciones sectorizadas que prevalecen para conseguir la sostenibilidad de los territorios hacen que los esfuerzos no impacten en la consecución de resultados; tan importante es la generación de oportunidades económicas como la formulación de instrumentos de políticas que orientan las inversiones en temas socio ambientales, así como la participación de calidad de los diversos sectores organizados en la construcción del desarrollo.

Esfuerzos encaminados al manejo integral de los recursos naturales se impulsan en varios territorios y los mismos han sido el resultado de consensos y en una planificación a largo plazo contenida en los planes de desarrollo municipal o en los planes estratégicos mancomunados.

La gestión del entorno se desarrolla, pero sin cuantificar ni cualificar los progresos en las distintas áreas del desarrollo, es decir en la ecología, en la economía y en lo social.

Las condiciones de exclusión en el acceso a los servicios públicos básicos, el traslape de competencias institucionales, la presión por los recursos naturales y las acciones desde la sociedad civil en los primeros años que contempla el estudio incidieron en indicadores de salud muy precarios que a su vez incidían en el incremento de pobreza de la población indígena Mam, en particular de las mujeres, el Pueblo Indígena Mam que habita dicha zona cuenta con algunos de los índices de desarrollo humano más bajos de Guatemala: 0.496 (el del país es 0.64 y el de la capital

0.83), con índices en salud de 0.541, en educación de 0.428 y en ingresos de 0.518; representan aproximadamente el 80 % del total de la población de la zona y más del 45 % están en extrema pobreza. (PNUD, 2,005)

HIPÓTESIS

En la parte alta de la cuenca del río Naranjo que aplica la metodología propuesta el índice de sostenibilidad hídrica de cuenca tienen un valor positivo de 70 puntos; ya que este valor, generalmente es aceptado en la sociedad guatemalteca como un criterio de “aceptabilidad” o “aprobación” de un parámetro a medir lo que significa que se contribuye con la gestión integrada de los recursos hídricos.

OBJETIVOS

General

Determinar el índice de sostenibilidad hídrica de cuenca de la parte alta del río Naranjo basada en la evaluación de los indicadores que apoyan el alcance de una Gestión Integrada de Recursos Hídricos.

Específicos

1. Determinar el valor de indicadores ambientales, sociales y de política clave que ejercen la mayor presión en la parte alta de la cuenca del río Naranjo.
2. Determinar el valor de indicadores clave que evalúe la integridad ecológica y las aspiraciones humanas para conocer el estado del ambiente y recursos naturales.
3. Determinar el valor del indicador de respuesta que como sociedad se está dando al estado ambiental, social y de política que determina la sostenibilidad de la cuenca y su impacto en la GIRH.

ALCANCES

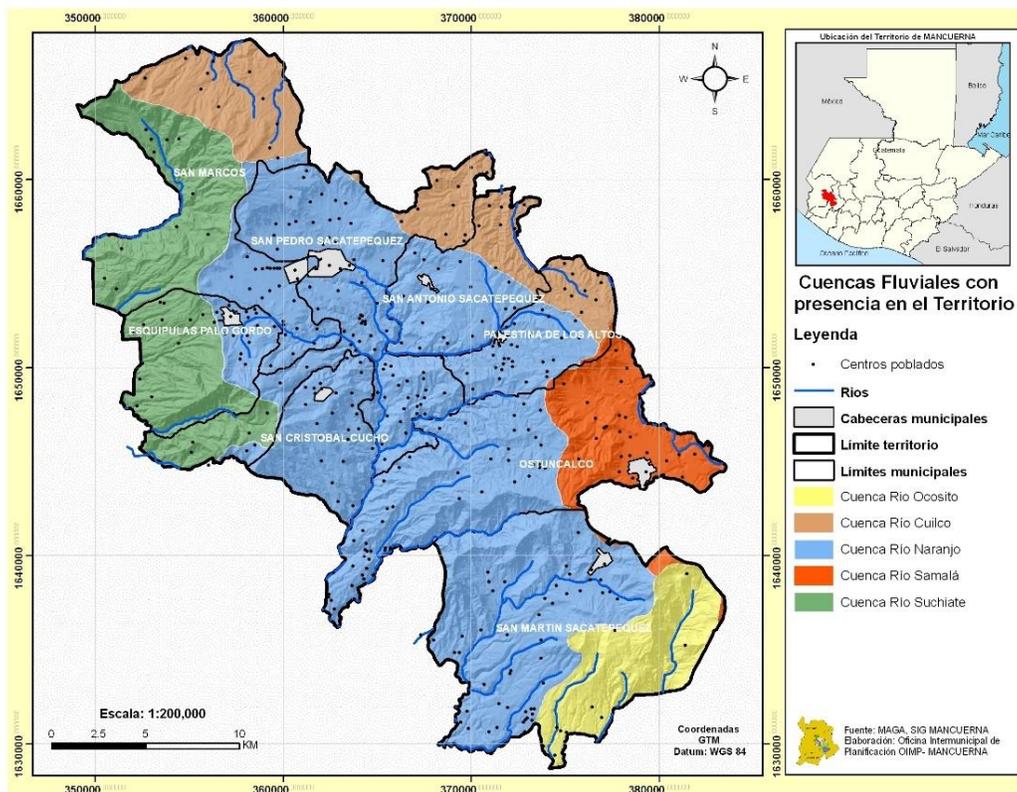
El propósito del presente estudio es contribuir a mejorar las intervenciones de las instituciones gubernamentales, no gubernamentales, sociedad civil, academia y otras manifestaciones organizativas presentes en el territorio de la cuenca del río Naranjo proporcionando lineamientos para desarrollar acciones integradas para lograr la sostenibilidad del territorio.

Para efectos del presente estudio, se considera de base la información generada en seis micro cuencas seleccionadas con el objeto de tener mejor precisión en el análisis de los lugares en donde se han realizado algunas intervenciones enfocadas a la Gestión Integrada de Recursos Hídricos y contestarnos la interrogante de cómo el crecimiento poblacional de cada uno de los municipios con sus respectivas micro cuencas y comunidades afectan con la presión a los recursos naturales y el ambiente de dicho territorio, conocer cuál es el estado actual de dichos recursos naturales y el ambiente y relacionarlo directamente con la capacidad organizativa en el territorio tanto como mancomunidad como a nivel de municipio que se está brindando como respuesta a dicho estado.

El estudio se enmarcó en el período 2002 – 2012 en la parte alta del territorio gestionado por la Mancomunidad de municipios de la Cuenca del río Naranjo (MANCUERNA) (figura 1), que reúne a 5 municipios del área Mam del departamento de San Marcos (San Pedro Sacatepéquez, San Marcos, San Cristóbal Cucho, Esquipulas Palo Gordo y San Antonio Sacatepéquez) y a 3 municipios de Quetzaltenango (San Juan Ostuncalco,

Palestina de los Altos y San Martín Sacatepéquez). MANCUERNA es resultado del interés local por construir gobernabilidad en el tema hídrico con enfoque de cuenca.

Figura 1. Mapa de la parte alta de la cuenca del río Naranjo



Fuente: Maga y Mancuerna. (2013). *Cuencas fluviales*.

LÍMITES DEL ESTUDIO

Dada la extensión territorial del área en estudio, así como de la disponibilidad de información que se ha generado alrededor de la temática, se enfatizó en evaluar datos de tres cuencas priorizadas conjuntamente entre las entidades de gobierno rectoras a nivel nacional, así como con la mancomunidad de municipios de la cuenca del río Naranjo en el período comprendido entre los años 2002 al 2012.

En el aspecto de recursos naturales se enfatizó en la cobertura forestal y en disponibilidad y calidad de agua para consumo humano relacionándolo con población servida o atendida, así como los diferentes instrumentos que la población participativamente haya definido para la sostenibilidad de los ecosistemas.

ANTECEDENTES

A partir del año 2000, con los ocho municipios que integran la parte alta de la cuenca del río El Naranjo se inició el proyecto gestión integrada de los recursos hídricos en la cuenca alta del referido río (GIRH) cuyo objetivo general fue contribuir al fortalecimiento del estado de derecho, como condición fundamental para la paz social, mediante acciones de investigación legal aplicada, facilitación de organización y participación informada y ordenada del público y de las autoridades locales y nacionales, en derredor de la gestión integrada de los recursos hídricos.

Sus principales metas fueron: a) la población de la Parte Alta está organizada para hacer valer sus derechos de acceso al agua y por tanto asumen sus responsabilidades en su gestión integrada; b) las municipalidades de la mancomunidad han aumentado la cobertura y el acceso de los servicios de agua y saneamiento garantizando los derechos de la población en relación a la gestión integrada de los recursos hídricos, y c) las municipalidades de la mancomunidad y las asociaciones de la sociedad han institucionalizado la capacidad de administrar los servicios de agua y saneamiento con un enfoque integral de equidad e inclusión social, garantizando la sostenibilidad financiera y ambiental que fomenta el estado de derecho, y por ende la gobernabilidad de los recursos hídricos.

La meta final fue la promoción de un estudio de caso de GIRH en Guatemala como paradigma para administrar los usos y la conservación del agua a escala local para satisfacer las necesidades

presentes y futuras de la población de la Parte Alta de la cuenca del río Naranjo. (Fundación Solar, 2005)

El proyecto de referencia finalizó en 2008 e iniciaron nuevos proyectos con una mancomunidad fortalecida, pero sin asignar valor a las acciones y una teorización incipiente de los procesos y componentes necesarios para fortalecer la GIRH a nivel local razón por la cual se desarrolló el presente estudio.

1. MARCO TEÓRICO

1.1 Índice

Un “Índice” es una recopilación cuantitativa de muchos indicadores que pueden proporcionar una visión simplificada, coherente, multidimensional, de un sistema. Para lograr y mantener la sostenibilidad de una cuenca, los responsables de políticas necesitan oportuna información sobre el estado del sistema de la cuenca y sobre las características específicas que más mejoras requieren.

Es cada vez más frecuente usar conjunto de indicadores de sostenibilidad y agregarlos en índices superpuestos para adoptar decisiones de políticas, y al adoptar decisiones de políticas es esencial conocer las virtudes de los índices, sus imperfecciones, sus sesgos y su dependencia de la escala. No obstante, siempre existe información adicional exclusiva de cada cuenca, que puede obtenerse examinando factores de la cuenca no incluidos en el índice. (Oras, 2005; Hezri y Dovers, 2006; Parris y Kates, 2003; Morse y Fraser, 2005; Ness *et al.*, 2007)

El índice de sostenibilidad de cuencas (ISC), desarrollado por Chávez y Alípaz (2007), es un índice específico de cuencas, donde se estiman sostenibilidades, teniendo en cuenta las relaciones de causa a efecto, y donde se consideran respuestas de políticas implementadas en determinado período como parte de la sostenibilidad de la cuenca. Los rangos de sustentabilidad

propuestos son del orden de: $WSI < 0,5$: Baja
 $WSI > 0,8$: Alta

$0,5 < WSI < 0,8$: Media

Entre algunos índices existentes están:

- Índice de sustentabilidad ambiental: 5 componentes, 21 indicadores y 76 variables – data intensivos, no específico para cuencas, de acuerdo con (Esty y Levy, 2004)
- Índice de sustentabilidad de la ASCE (1998): las funciones objetivas son eficiencia, supervivencia y sustentabilidad. Indicadores son de difícil obtención.
- Water Poverty Index: usa información sobre recursos hídricos, acceso al agua, y ambiente. No es específico para cuencas, y es correlacionado con el Índice de desarrollo humano IDH, de acuerdo con (Meigh y Sullivan, 2001)

1.2 Desarrollo sostenible o sostenibilidad

A partir de los setenta, la humanidad empezó a darse cuenta de que muchas de sus acciones producían un gran impacto sobre la naturaleza, por ello algunos especialistas señalaron la evidente pérdida de la biodiversidad y elaboraron teorías para explicar la vulnerabilidad de los sistemas naturales.

Por tanto, el objetivo fundamental del desarrollo económico pasa a ser la sostenibilidad. El concepto de desarrollo sostenible fue discutido en la reunión preparatoria sobre medio ambiente humano celebrado en Estocolmo en 1,972, y descrito por algunos autores durante los años setentas, como R. Dassmann, J. Miltum y P. Traeman en su libro *Ecological principles for economic development*, después de la presentación del informe de la comisión mundial sobre medio ambiente y el desarrollo, conocido como “Nuestro futuro común” o simplemente

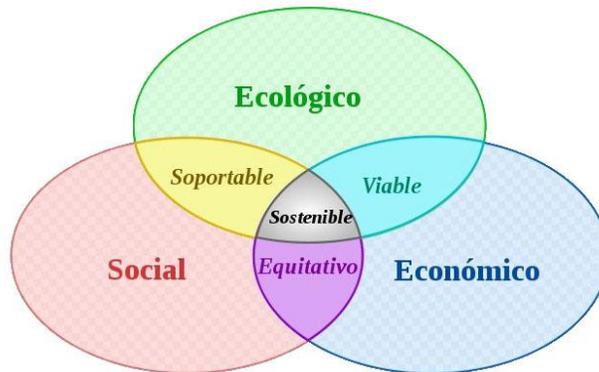
informe Brundtland (1987), en donde se dio a conocer el concepto de desarrollo sostenible como un desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus necesidades.

Es a partir de este informe que se acotó el término inglés *sustainable development*, y de ahí mismo nace la confusión entre si existe o no diferencia alguna entre los términos "desarrollo sostenible" y "desarrollo sustentable".

La única diferencia que existe entre desarrollo sostenible y desarrollo sustentable es la traducción al español que se le hizo al término inglés, así encontraremos que, en el caso mexicano, se tradujo como desarrollo sostenible y en otros países de habla hispana, como desarrollo sustentable, pero nótese que siempre guarda la misma esencia y significado que se dio en el informe de Brundtland, definiéndolo como el acto de satisfacer las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer las posibilidades de las del futuro para atender sus propias necesidades.

El ámbito del desarrollo sostenible puede dividirse conceptualmente en tres partes: ecológico, económico y social (figura 2). Se considera el aspecto social por la relación entre el bienestar social con el medio ambiente y la bonanza económica.

Figura 2. **Esquema de los tres pilares de desarrollo sostenible**

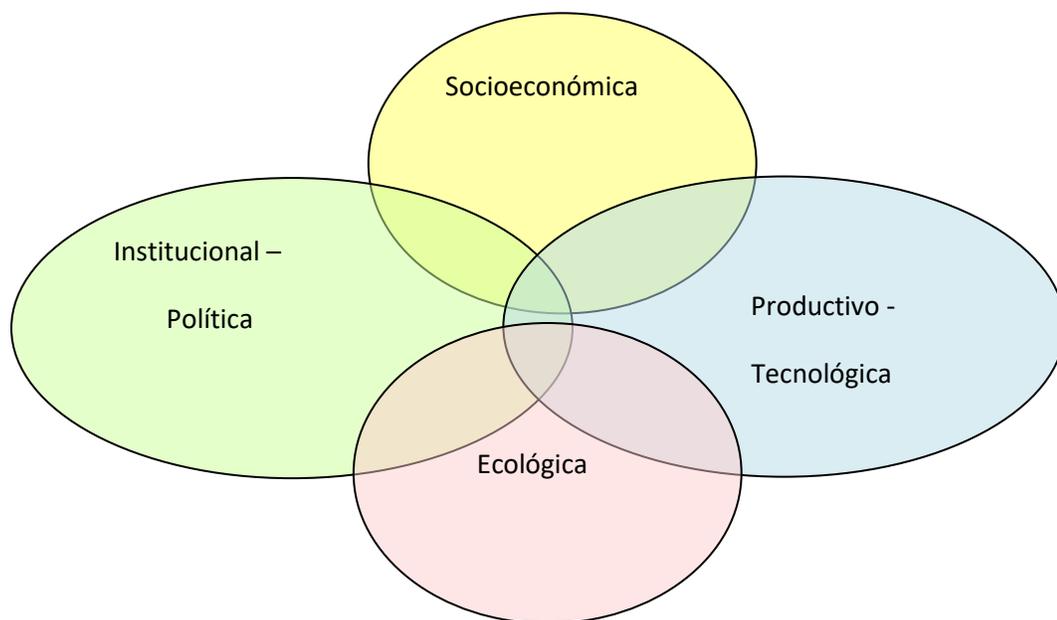


Fuente: Chávez (2008) *Desarrollo del Índice de Sustentabilidad de Cuencas*.

Otros autores asociaban la sostenibilidad con la capacidad de carga de los sistemas para soportar el desarrollo de la humanidad, lo que implica que el sistema económico debe mantenerse dentro de los márgenes de capacidad de carga del mundo entendiéndose la sustentabilidad como desarrollo sin crecimiento o como perfeccionamiento cualitativo sin aumento cuantitativos.

Diversos especialistas mencionan cuatro dimensiones del desarrollo sostenible, (figura 3).

Figura 3. **Esquemas de los tres pilares de desarrollo sostenible**



Fuente: Chávez (2008). *Desarrollo del Índice de Sustentabilidad de Cuencas*.

A pesar del tiempo transcurrido y la gran cantidad de publicaciones aún no hay consenso respecto a lo que significa realmente el desarrollo sostenible, y las innumerables interpretaciones varían según sea la disciplina, el paradigma o la ideología que sirvan como base para definirlo.

Ya en los años ochenta del siglo pasado la estrategia mundial de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) planteó que el desarrollo en relación con la naturaleza se debía concebir como la modificación de la biosfera y la aplicación de los recursos humanos y financieros para la satisfacción de las necesidades humanas y al mejoramiento de la calidad de vida.

Luego de este análisis se puede llegar a un concepto de desarrollo sostenible complementario: El desarrollo es un proceso de cambio

multidimensional sostenido que trae consigo el mejoramiento equitativo de la calidad de vida de las personas, mediante el cual se procura el crecimiento económico, social en una relación armónica con la protección del medio ambiente, de modo tal que se satisfagan las necesidades de las generaciones actuales, sin comprometer la posibilidad de desarrollo de las generaciones futuras.

1.3 Cuencas

La cuenca hidrográfica se define como: "El territorio o espacio de terreno que está limitado por cerros, partes elevadas y montañas, de los cuales se configura una red de drenaje superficial, que, en presencia de la precipitación o lluvias, forma el escurrimiento de un río, para conducir sus aguas a un río más grande o a otro río principal, lago o mar". (Bordelino, 2021, párr.1)

También a la cuenca hidrográfica se le reconoce como un área de terreno conformada por un sistema hídrico, el cual tiene un río principal, sus afluentes secundarios, terciarios o de cuarto orden. El sistema hídrico refleja un comportamiento de acuerdo con cómo se están manejando los recursos agua, suelo y bosque; y qué actividades o infraestructuras afectan su funcionamiento.

En la cuenca hidrográfica se ubican todos los recursos naturales y actividades que realiza el hombre, allí interactúan el sistema biofísico con el socioeconómico y están en una dinámica integral que permite valorar el nivel de intervención del hombre, los problemas generados en forma natural y antrópica.

Todo punto de la tierra puede relacionarse con el espacio de una cuenca hidrográfica, a veces corresponde a las partes altas, laderas, lugares ondulados,

sitios planos y zonas bajas, que pueden localizarse hasta en las zonas costeras, cuando la cuenca conduce su drenaje a un océano.

Algunos lugares que pertenecen a pequeños cauces o drenajes y que no forman un río mayor, que pueden desembocar directamente al océano o a otro cauce mayor, se denomina zonas de intercuenas y pueden asociarse físicamente con la cuenca limítrofe.

En las zonas planas llanura a veces es difícil configurar el límite de las cuencas, allí los ríos meándricos pueden formar cauces erráticos, de zonas inundables, a veces muy sedimentadas que dificultan la delimitación de la cuenca, los cursos de agua no son visibles, la orientación del drenaje será determinante. Existe la alternativa de usar una carta topográfica con curvas de nivel de menor equidistancia.

1.4 Delimitación de cuencas en el territorio estudiado

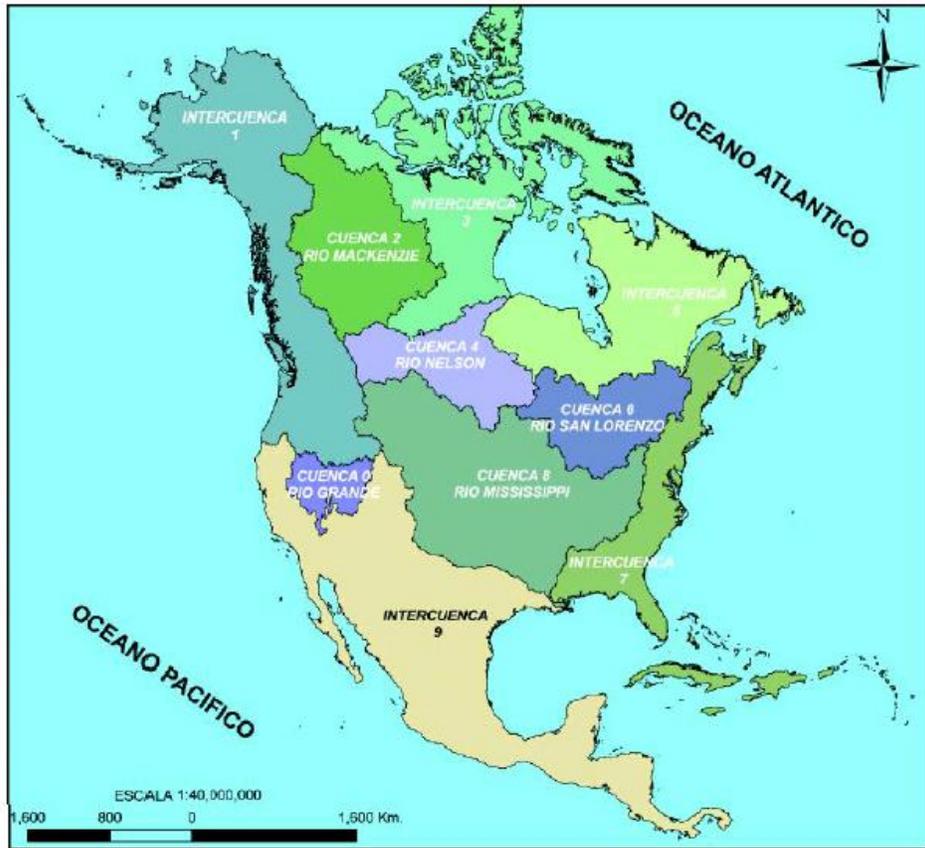
Los documentos constitutivos de MANCUERNA establecen que su intervención se basa en la cuenca del río Naranjo, en virtud de ello a continuación se explica la delimitación vigente de cuencas desde los criterios internacionales por el método Pfafstetter.

El mapa oficial de cuencas hidrográficas del país fue generado en 1,973 por el Instituto Geográfico Nacional (IGN) a escala 1:50,000; este mapa presenta la delimitación de las 38 principales cuencas del país (18 cuencas para la Vertiente del Pacífico, 10 para la Vertiente del Mar Caribe y 10 para el Golfo de México).

Después de revisar experiencias realizadas en otros países, se analizó el Sistema de Clasificación de Cuencas Hidrográficas del INRENA – IRH – DIRHI – SIG (1989) que delimitó cuencas con el método de un investigador brasileño (O. Pfafstetter); finalmente se llegó a la decisión de utilizar el sistema de clasificación de cuencas de este investigador tal y como se describe en el Método Pfafstetter de 1989. En este método se clasifican las cuencas por nivel y se las delimita como cuenca, intercuenca y cuenca interna; conforme el nivel de clasificación así es el grado de orden de los afluentes de la cuenca, en este método los términos de subcuenca, microcuenca e interfluvio ya no son utilizados en lugar de estos se utiliza el término nivel.

En función de lo anterior se tiene que, América del Norte se delimita para el nivel 1 en 9 cuencas correspondiéndole a México y Centro América el dígito 9. (figura 4)

Figura 4. **Delimitación continental de cuencas de América del Norte nivel 1**



Fuente: MAGA (s.f.) *Memoria de cuencas 50,000*.

Para el nivel 2 se delimitan a nivel continental 80 cuencas (figura 5). A Guatemala le corresponderían los dígitos 94 y 95.

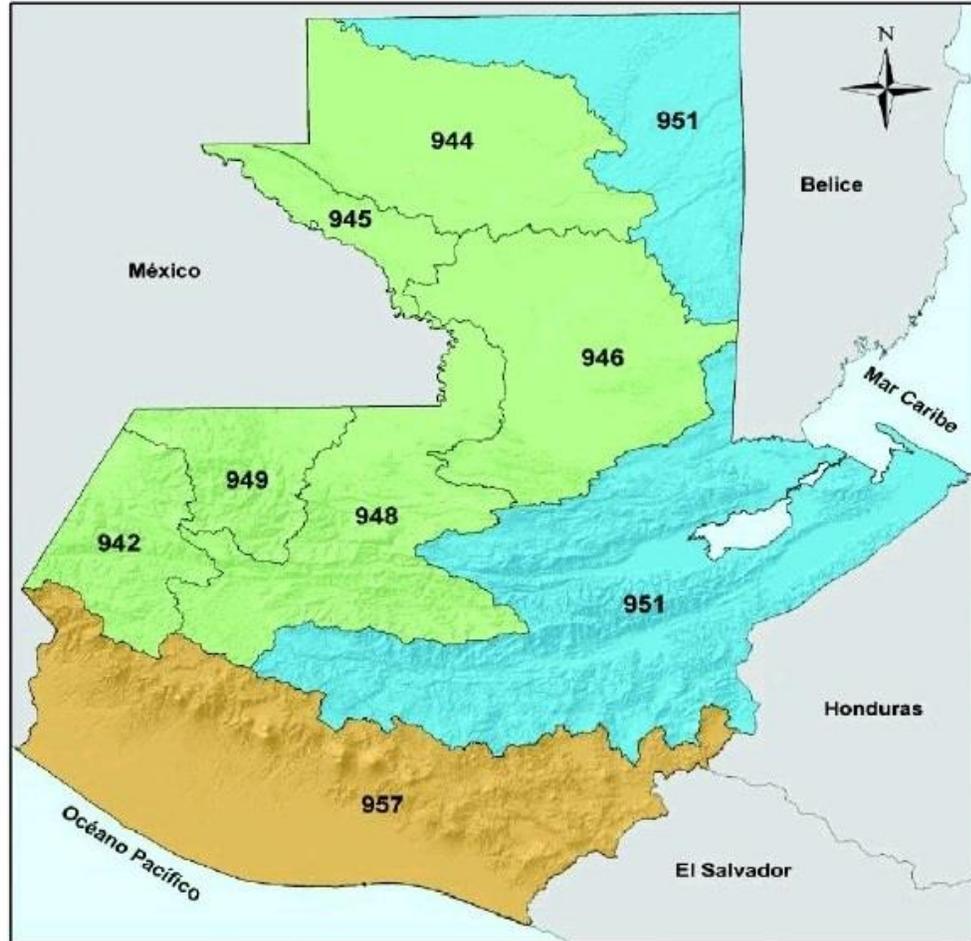
Figura 5. **Delimitación continental de cuencas de América del Norte y Centro América, nivel 2**



Fuente: MAGA (s.f.) *Memoria de cuencas 50,000*.

Readecuación del nivel 3 de la USGS (US Geological Survey) se delimitan 8 cuencas en el territorio Nacional. Para la cuenca de nuestro interés le corresponde el código 957.

Figura 6. Delimitación nacional de cuencas nivel 3



Fuente: MAGA (s.f.) *Memoria de cuencas 50,000*.

Readecuación del nivel 6 de la USGS (US Geological Survey). Para el Nivel 6 de la USGS se delimitan 773 cuencas en el territorio Nacional. Para la cuenca de nuestro interés le corresponde el código 957557.

Figura 7. Delimitación nacional de cuencas nivel 6

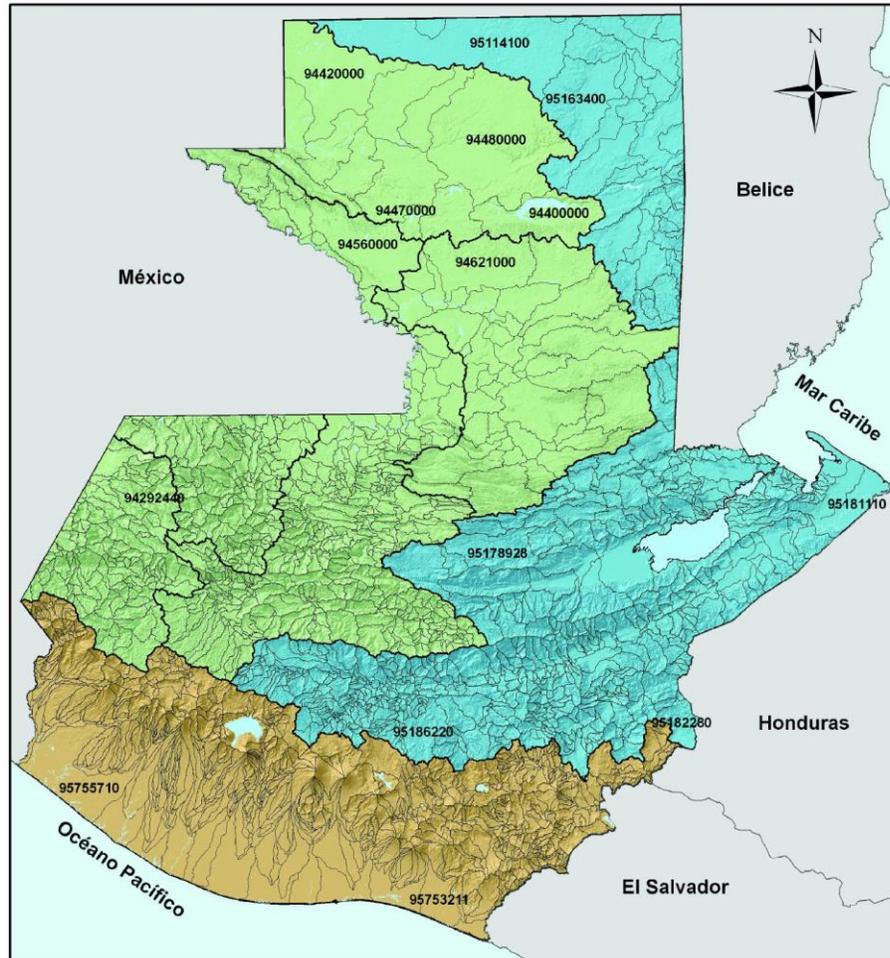


Fuente: MAGA (s.f.) *Memoria de cuencas 50,000*.

Readecuación del nivel 8 de la USGS (US Geological Survey). Para el Nivel 6 de la USGS se delimitan 2,391 cuencas en el territorio Nacional. Para la cuenca de nuestro interés le corresponde el código 95755710.

En función del último nivel se elabora un mapa de cuencas del nivel 8 de la parte alta de la cuenca del río Naranjo.

Figura 8. Delimitación nacional de cuencas, nivel 8



Fuente: MAGA (s.f.) *Memoria de cuencas 50,000*.

Finalmente, la delimitación de cuencas en el nivel 8 en el territorio de MANCUERNA se visualiza de manera contextualizada en los municipios que componen la mancomunidad.

1.5. Modelo para medir el índice de sostenibilidad de cuencas (ISC)

Uno de estos desarrollos ha sido el enfoque de “presión” “estado” “respuesta” (PER) propuesto y lanzado al debate internacional por parte de Adriance en 1993 y la Organización para la Cooperación y el desarrollo económico (OCDE) en 1991 al 1994. (Chávez, 2008.)

El enfoque PER se limita al segmento ambiental del desarrollo sostenible y tiene como objetivo principal crear un conjunto de indicadores que permitan reducir de manera correcta, la realidad compleja para identificar prioridades de problemas medulares y soluciones adecuadas en el ámbito del ambiente.

El enfoque “presión”, “estado”, “respuesta”, está basado en la premisa de que las acciones humanas ejercen presión sobre el ambiente y cambian el estado de la calidad y cantidad de los recursos naturales. La sociedad responde a estos cambios a través de la respuesta ambiental, económica y política. Basado en una lógica de causalidad determinística, asume que las actividades humanas ejercen una presión sobre el ambiente y afectan la calidad de sus elementos y la cantidad de sus recursos (estado); ante lo cual la sociedad responde a través de políticas ambientales, económicas y sectoriales, así como cambios en la percepción y comportamiento (respuesta social).

El marco de referencia PER es ampliamente usado, pero está continuamente en evolución. Uno de los mayores problemas ha sido tratar de diferenciar entre indicadores de presión y estado y la necesidad de expandir el marco de referencia para tratar más específicamente las necesidades de descripción del desarrollo sostenible.

El esquema PER se fundamenta en tres categorías básicas de interrogantes, que en relación con el tema ambiental son:

- ¿Cuál es el estado actual de los recursos naturales y el medio ambiente?
- ¿Qué y quien está afectando los recursos naturales y el medio ambiente?
- ¿Qué está haciendo la sociedad para resolver los problemas ambientales y fortalecer sus potencialidades?

1.5.1 Presión

Están a menudo clasificados como factores o fuerzas subyacentes tales como: Crecimiento poblacional, consumo o pobreza. Las presiones sobre medio ambiente son consideradas frecuentemente desde una perspectiva política y desde el punto de vista de indicador están disponibles para realizar análisis, toda vez que son derivadas sobre la base de datos de seguimiento socioeconómico, medioambientales y otros. Refleja el objetivo último de las políticas ambientales que incluyen aspectos tales como:

- Las características físicas, químicas y biológicas del entorno,
- La condición del ecosistema y las funciones ecológicas del medio natural
- La calidad de vida de la población

1.5.2 Estado

E “estado” se refiere a la condición del medio ambiente que resulta de las presiones arriba descritas, y el deterioro que en ellos generan las diferentes actividades humanas, los niveles de contaminación del aire, degradación de la tierra o deforestación.

El “estado” del medio ambiente afectará a su vez la salud humana y el bienestar, así como el tejido económico de la sociedad. Por ejemplo, un incremento en la degradación de la tierra conducirá a uno o varios de los siguientes factores: disminución en la producción de alimentos, incremento de alimento importado, incremento en el uso de fertilizante, malnutrición, entre otros.

Es importante entender tanto el “estado” del medio ambiente como los efectos indirectos. Los indicadores del estado deberían ser diseñados para responder a las presiones y al mismo tiempo facilitar acciones correctivas.

1.5.3 Respuesta

El componente de “respuesta” del marco de referencia PER está relacionado con las acciones tomadas por la sociedad individual y colectivamente, que son diseñadas para facilitar o prevenir impactos medioambientales negativos con el fin de corregir el daño existente o de conservar los recursos naturales.

Esas respuestas pueden incluir acciones reguladoras, gastos medioambientales o de investigación, opinión pública o preferencia del consumidor, cambios en las estrategias de manejo y suministro de información medioambiental.

Las respuestas deberían estar diseñadas para actuar sobre las presiones, pero puede al mismo tiempo tener un impacto modificador en los indicadores de estado. Existen diversos conjuntos de indicadores ambientales, cada uno con propósitos específicos.

Los indicadores suelen usarse en los informes ambientales, la información del desempeño ambiental o del enlace al desarrollo sostenible pero deberían ser una herramienta básica contribuyendo en la calidad de los objetivos de las políticas y el establecimiento de las prioridades ambientales o del avance hacia el desarrollo sostenible pero deberían ser una herramienta básica en la planeación, contribuyendo en la claridad de los objetivos de las políticas y el establecimiento de prioridades ambientales.

De acuerdo con el propósito para el cual el modelo PER es usado, este puede ser ajustado para mayor detalle o para incorporar algunos aspectos específicos. Un ejemplo es el modelo “presión – estado – impacto/efecto-respuesta” (P-E-I/E – R) que ha sido desarrollado por Wino Grand 1995 – 1997 para el proyecto de indicadores CIAT/PNUMA para América Latina.

El modelo (P-E-I/E – R) tiene tres rasgos principales:

- Supone una interacción de presión hacia adelante y de respuesta hacia atrás, únicamente entre el sistema socioeconómico y el sistema ambiental que se consideran como equivalentes en términos de significado relativo y funcionamiento del sistema.
- Los indicadores económicos y sociales quedan mayormente enfocados en la categoría de presión con origen en el sistema socioeconómico, mientras tanto los indicadores ambientales y de recursos naturales representan en particular la categoría de estado la cual se percibe como cualidad propia del sistema ambiental.

- Se introduce dentro del ámbito de la calidad ambiental una interacción de impacto, efecto, mutuo entre el ambiente y los recursos, además entre la naturaleza y la sociedad. Lo que sugiere que una secuencia causa – efecto entre ambas dimensiones del sistema ambiental y entre este y la sociedad, así como una reacción funcional ante estos impactos en forma de respuesta y gestiones en materia de información, educación y política nacional/internacional en materia de recursos sean identificables y medibles.

A partir de las respuestas de la OCDE países como Canadá y Holanda fueron los primeros en adoptar indicadores ambientales y sectoriales como parte fundamental de la toma de decisiones, el establecimiento de políticas y la difusión de información a la sociedad. Esta tendencia se ha extendido a otros países de la OCDE en diversas agencias internacionales.

1.6. Ventajas y desventajas del efecto “presión, estado, respuesta”

A continuación, se presentan las ventajas y desventajas del efecto “presión, estado y respuesta”.

1.6.1 Ventajas

Teniendo en cuenta lo anterior, las principales ventajas del esquema PER son:

- Su estructura ha tenido gran difusión precisamente por basarse en un principio de causalidad determinística, ya que como vimos es insuficiente para abordar la complejidad propia de los problemas ambientales, no solo porque las interrogantes a las que responde son propias de un proceso de

gestión y toma de decisión en materia ambiental; no busca exclusivamente reflejar las fuerzas que modifican dicho estado (dinámica económica o social predominante en una región o país, entre otras) si el esfuerzo social que se lleva a cabo es para mejorarla y revertir las presiones que lo deterioran.

- Esto último es particularmente importante en tanto que la estructura PER permite establecer las bases para evaluar no solo la gestión realizada, la eficacia de la respuesta, sino su impacto medido en términos de las variaciones en el estado y la presión gracias a la respuesta de la sociedad.
- Proporciona al público en general de los tomadores de decisiones una visión integrada del ambiente y otros aspectos interconectados.
- Debido a ello, el esquema PER es el más utilizado en sistema de seguimiento y evaluación de políticas, planes, programas y proyectos de sostenibilidad.

1.6.2 Desventajas

- Se limita al segmento ambiental del desarrollo sostenible.
- Es insuficiente para abordar la complejidad propia de los problemas ambientales no solo porque las interrogantes a las que responden son propias de un proceso de gestión y toma de decisión en materia ambiental sino también porque no reflejan las fuerzas que modifican dicho estado (dinámica, económica o social predominante de una región o país entre

otras), ni el esfuerzo social que se lleva a cabo para mejorar dicho estado y revertir las presiones que lo deterioran.

- No siempre encontramos una secuencia metodológica al formular indicadores PER, son propuestos de manera independiente sin relación causa efecto directo sino indirecta, todos se relacionan con el tema que los motiva, pero no entre sí.
- No es posible establecer relación entre los distintos indicadores, cada indicador es válido por sí solo y como tal debe ser abordado debido a su lógica causal o lineal.
- No es un modelo preventivo. Derivado de su lógica la información obtenida solo permitirá establecer el diagnóstico de la situación, pero no puede ser utilizada en programas o políticas donde se aplique el principio de prevención.

1.7 Sostenibilidad hídrica

El índice de sostenibilidad de cuencas ISC o WSI (por sus siglas en inglés) integra los aspectos de Hidrología (H), medio ambiente (E), vida (L) y políticas (P) de una cuenca en el marco de tres parámetros: presión, estado y respuesta (PER).

$$WSI = \frac{H + E + L + P}{4}$$

El método PER es una metodología de evaluación de la sostenibilidad de los recursos hídricos, utilizado para cualificar los estándares de calidad del agua,

así como cuantificar el volumen total de agua utilizada por los habitantes de una determinada cuenca auxiliándose para ello de instrumentos de política. Para estimar el presente índice, se utilizan datos retrospectivos relacionados con la calidad y cantidad del recurso hídrico basado en poblaciones. Como resultado, se concluye si la región estudiada alcanza un valor aceptable de sostenibilidad tomando como punto de referencia de condiciones ideales de gobernabilidad o de gestión integrada de los recursos hídricos los valores cercanos a 1 o a 100 respectivamente.

1.8 Gestión integrada de recursos hídricos (GIRH)

La Gestión integrada de recursos hídricos (GIRH) fue definida como un proceso que promueve la gestión y desarrollo coordinado del agua, la tierra y los recursos relacionados, con el fin de maximizar el bienestar social y económico resultante de manera equitativa, sin comprometer la sostenibilidad de los ecosistemas. (GWP, 2011)

Enfoque GIRH en apoyo a optimizar el uso de los escasos recursos naturales y financieros.

- Contribuye a garantizar la coordinación de las inversiones entre distintos sectores, produciendo mejores resultados de lo que hubiera sido posible con un enfoque sectorial único.
- Realza las oportunidades que con frecuencia quedan oscurecidas por los planteamientos sectoriales. Por ejemplo, el examen conjunto de las necesidades del hogar en cuanto a agua corriente e instalaciones sanitarias y la seguridad del suministro alimentario puede dar lugar a

maneras más eficaces de proporcionar agua para uso doméstico, industrias rurales, cultivos, ganado, acuicultura, en sistemas de uso único, a menudo por un costo adicional muy reducido.

- Ayuda a evitar inversiones equivocadas y costosos errores. La toma de decisiones basada exclusivamente en una visión sectorial de corto plazo puede resultar en errores muy caros, en forma de beneficios no sostenibles, consecuencias inesperadas y oportunidades perdidas.
- Contribuye a disminuir las repercusiones negativas del desarrollo socioeconómico asociado a un desarrollo no sostenible y el elevado costo que implica la reparación del consiguiente perjuicio ambiental.

1.9 Gobernabilidad

Se entiende por gobernabilidad a la capacidad de un gobierno de:

- Administrar recurso hídrico y para el efecto se requiere conocer de la Cantidad, calidad, ubicación y temporalidad (sistema de información).
- Proveer servicios y para el efecto se requiere conocer: Demanda, oferta, capacidad de pago e inversiones necesarias (sistema de información).
- Formular e implementar políticas y regulaciones efectivas, para ello se requiere conocer necesidades, marco legal, recursos disponibles e inversiones necesarias (sistema de información)

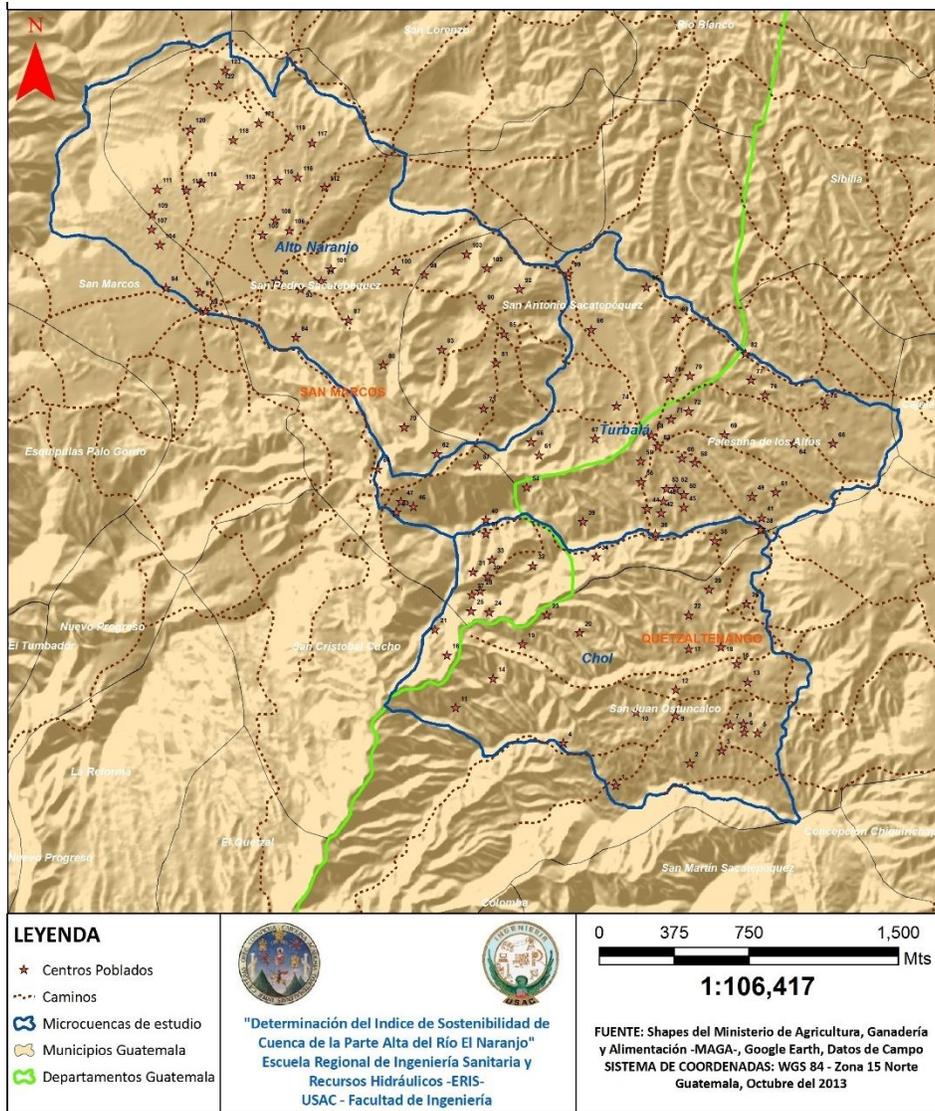
Para las primeras dos acciones se requiere disponer de Organización, procesos, planificación y normativa (sistema de gestión) y para la última se requiere adicionalmente de modelo de gestión y capacidad de planificación.

2. MARCO REFERENCIAL

2.1 Centros poblados en el área de estudio

En el área delimitada para el presente estudio existen: 31 comunidades del municipio de Palestina de los Altos, 18 Comunidades de San Antonio Sacatepéquez, 21 Comunidades de San Juan Ostuncalco, 7 comunidades de San Marcos y 46 Comunidades de San Pedro Sacatepéquez; en total hacen 123 comunidades. (Figura 10)

Figura 10. Mapa de centros poblados de las microcuencas de estudio



Fuente: elaboración propia, utilizando Google Earth con datos obtenidos de Shapes del MAGA.

De las anteriores, 83 poblados son caseríos, 23 son aldeas, 2 ciudades, 2 pueblos, 1 finca, 11 catalogados en otra categoría y 1 lotificación.

2.2 Crecimiento poblacional de las cuencas estudiadas (L)

En las cuencas de estudio han existido porcentajes de variación poblacional entre los años 2002 y el año 2008. Para la tabla I se puede ver que la cuenca Chol es la que tiene un % de variación mayor (19.83 %) y la cuenca Tacaná cuenta con una menor variación correspondiente a 12.44 % respecto al período de estudio.

Tabla I. **Cuencas en la parte alta de la cuenca del río Naranjo y variación poblacional**

No.	Nombre de la cuenca	Población	Población	Porcentaje
1	Ciéneca (Alto Naranjo)	3333	3973	16.11
2	Chol	2337	2915	19.83
3	Espunpunja (Alto Naranjo)	996	1151	13.47
4	San Ramón (Alto Naranjo)	4973	5734	13.27
5	Tacaná (Alto Naranjo)	2584	2951	12.44
6	Turbalá	7642	9,337	18.15
		21865	26,061	

Fuente: elaboración propia, utilizando datos del INE.

2.3 Índice de Desarrollo Humano /IDH de los municipios estudiados

De acuerdo con la tabla II se puede observar una comparación entre el IDH del año 1994 y el IDH del año 2002. En todos los municipios existió una leve mejora en la segunda temporalidad de medición. Si se comparan los grandes bloques se puede notar la diferencia entre el IDH de los municipios de San Marcos con el IDH de los municipios de Quetzaltenango. San Marcos tiene un IDH de 0.746 para el año 2002 y mientras que Palestina de los Altos tiene un IDH de 0.489.

Tabla II. **IDH de los municipios que conforman la parte alta de la cuenca del río Naranjo**

Municipio	IDH / Índice de Desarrollo Humano		Índice de Salud		Índice de Educación		Índice de Ingresos	
	1994	2002	1994	2002	1994	2002	1994	2002
Municipios del departamento de San Marcos								
San Marcos	0.67	0.74	0.76	0.83	0.68	0.74	0.58	0.62
San Pedro	0.61	0.71	0.64	0.82	0.63	0.71	0.56	0.60
San Antonio	0.55	0.59	0.59	0.61	0.55	0.62	0.50	0.55
Municipios del departamento de Quetzaltenango								
San Juan	0.48	0.56	0.47	0.61	0.46	0.52	0.51	0.56
Palestina de	0.40	0.48	0.39	0.52	0.35	0.41	0.46	0.52
Cuenca del	0.54	0.62	0.59	0.71	0.51	0.58	0.51	0.41

Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de PNUD (2005) *Informe de IDH Nacional*.

2.4 Hidrología: cantidad de agua en las cuencas estudiadas (H1) red hídrica

La red hídrica en las cuencas de estudio incluye por lo menos cuatro ríos, en total hacen una longitud de 42.15 km. (Tabla III) (figura 11).

Tabla III. **Red hídrica y la longitud de estas**

Red Hídrica	Longitud (km)
Río Chol	8.83
Río Naranjo	7.96
Río Palatzá	0.14
Sin nombre	25.22
TOTAL	42.15

Fuente: elaboración propia, utilizando datos de Shapes del MAGA.

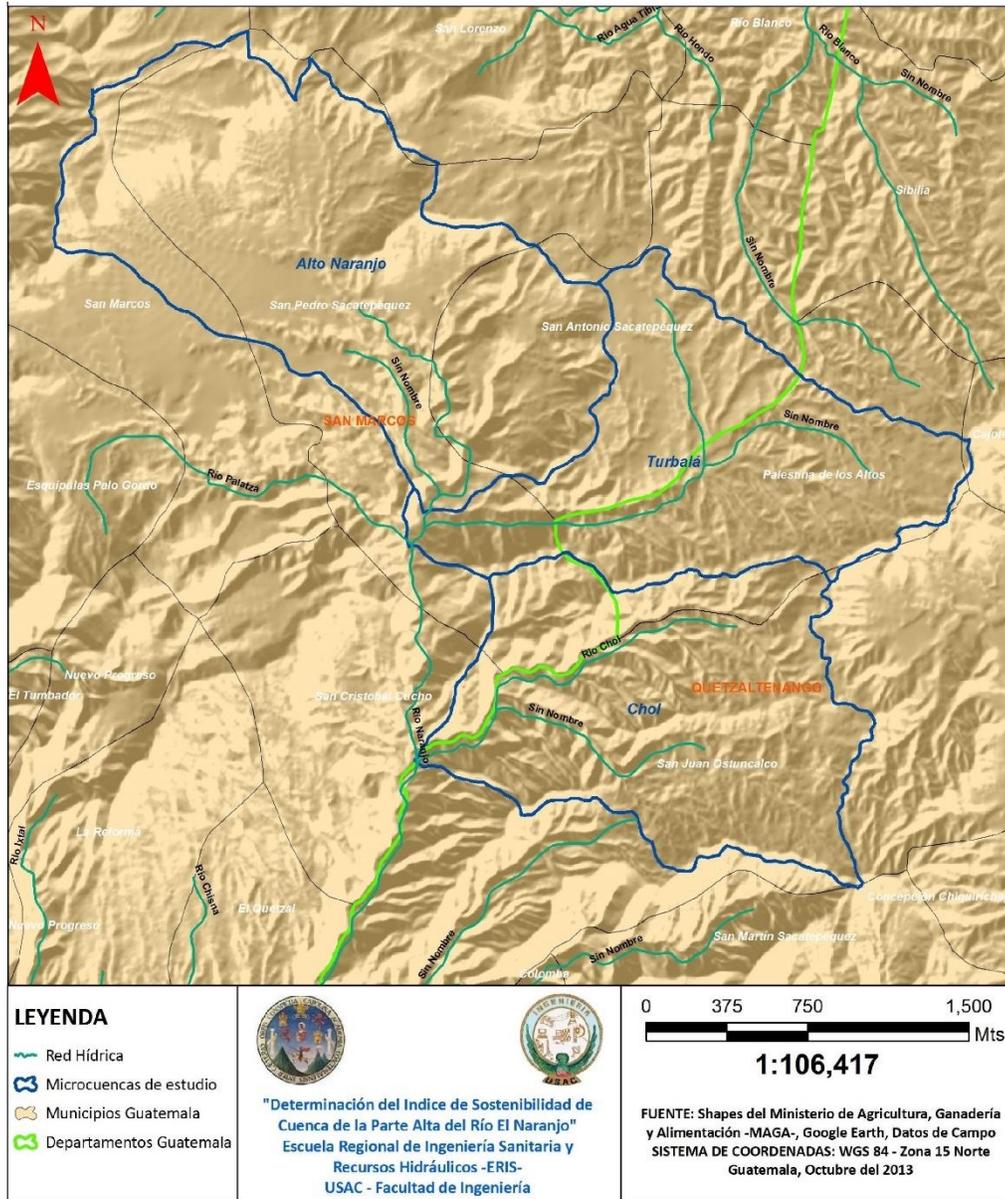
El área de las cuencas de estudio abarca un área de 159.3 km² (Tabla IV).

Tabla IV. **Área en km² de las cuencas de estudio**

Cuenca	Nombre de cuenca	Área (km²)
Río Naranjo	Alto Naranjo	48.13
	Chol	44.35
	Turbalá	66.82
	TOTAL	159.3

Fuente: elaboración propia, utilizando datos de Shapes del MAGA.

Figura 11. Mapa de red hídrica en las cuencas de estudio



Fuente: elaboración propia, utilizando Google Earth con datos obtenidos de Shapes del MAGA.

2.5 Hidrología: cantidad de agua en las cuencas estudiadas (H1) balance hídrico

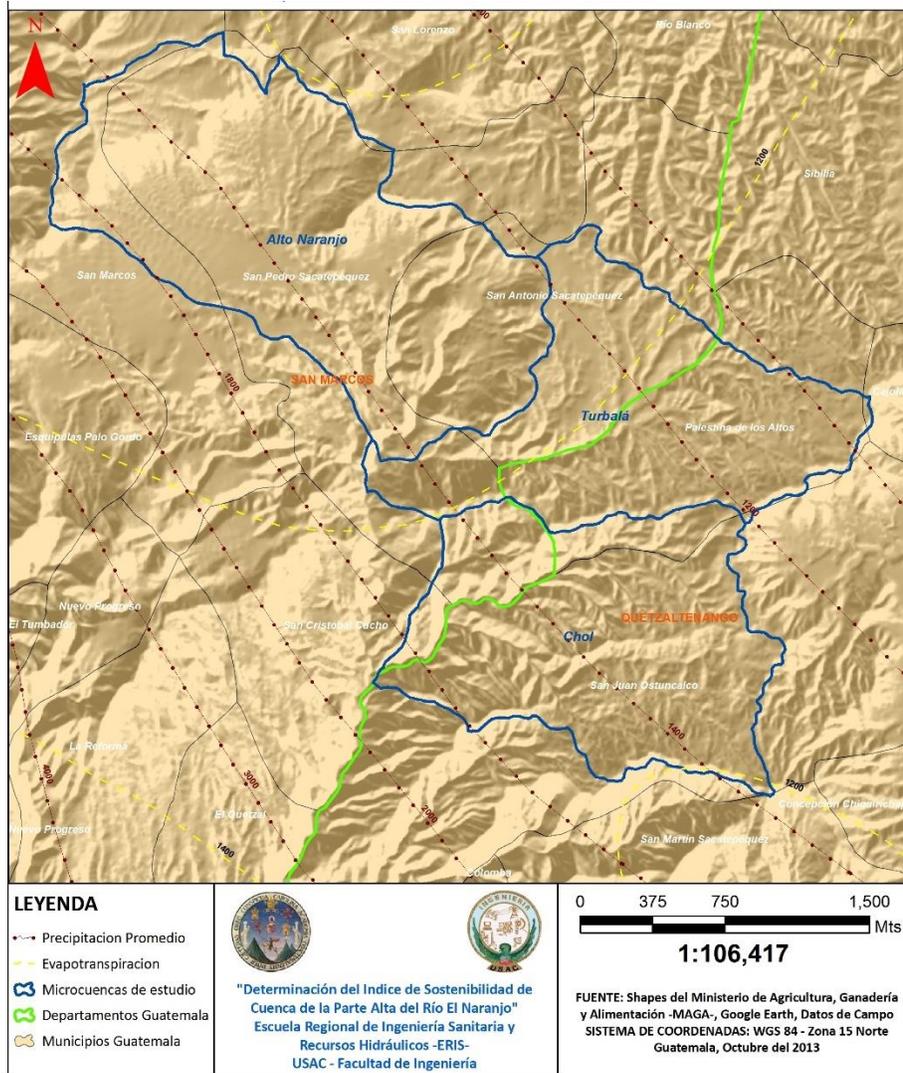
De acuerdo con los datos de la tabla V se tiene una precipitación promedio de 1350 mm anuales, respecto de la evapotranspiración se cuenta con un dato de 1200 mm. Por lo anterior, al realizar la diferencia se cuenta con un Balance hídrico en las cuencas de estudio de 150 mm de superávit. (Figura 12)

Tabla V. **Área en km² de las cuencas de estudio**

Balance Hídrico (mm)		Media (mm)	Diferencia (mm)
Precipitación promedio	1000	1350	
	1200		150
	1400		
	1800		
Evapotranspiración	1200	1200	

Fuente: elaboración propia, utilizando datos de Shapes del MAGA.

Figura 12. Mapa de balance hídrico en las cuencas de estudio

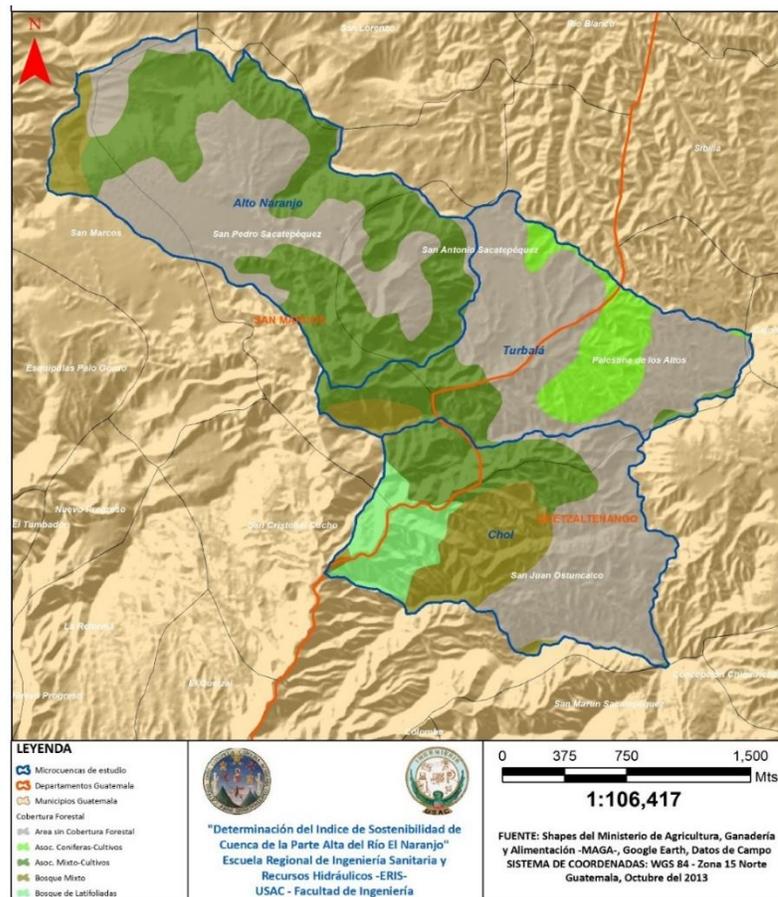


Fuente: elaboración propia, utilizando Google Earth con datos obtenidos de Shapes del MAGA.

2.6 Ambiente: cobertura forestal en las cuencas estudiadas (E)

El área en las cuencas de estudio incluye aproximadamente 159.31 kms². De lo anterior, 75.78 km² es área sin cobertura forestal (47.56 %), 52.08 km² es Asoc. Mixto-cultivos (32.69 %), 7.34 km² Bosque de Latifoliadas (4.6 %), 15.16 km² Bosque Mixto (9.51 %) y 8.95 km² Asoc. Coníferas-cultivos (5.61 %). (Figura 13)

Figura 13. Mapa de cobertura forestal en las microcuencas de estudio



Fuente: elaboración propia, utilizando Google Earth con datos obtenidos de Shapes del MAGA.

2.7 Ambiente: uso del suelo en las cuencas estudiadas (E)

En la tabla VI se puede contrastar el uso del suelo en las diferentes cuencas, se observa que el 67.67 % del área en Hectáreas que ocupan las cuencas están sobre utilizadas, el 32.27 % están con un uso apropiado de las mismas.

Tabla VI. **Intensidad de uso del suelo en las cuencas de estudio**

Cuencas	Uso apropiado	%	Sobre utilizado	%	Sub utilizado	Total
	En Ha.		En Ha.		En Ha.	En Ha.
Cieneca (Alto Naranjo)	26.38	6.03	410.78	93.76		437.16
Chol	390.6	39.13	607.5	60.86		998.1
Espunpunja (Alto Naranjo)	10.07	2.13	463.27	97.87		473.34
San Ramón (Alto Naranjo)	416.59	51.22	396.79	48.78		813.38
Tacaná (Alto Naranjo)	544.6	58.32	389.2	41.68		933.8
Turbalá	506.78	22.87	1706.1	77.00	3.07	2215.95
	1895.02		3973.64		3.07	5871.73
Porcentaje	32.27		67.67			100.00

Fuente: elaboración propia, utilizando datos del MAGA.

2.8 Política: instrumentos de política para la GIRH en cuencas estudiadas (P)

En las tablas VII y VIII se puede observar un listado de instrumentos de política referido a inventarios hídricos, diagnósticos de las microcuencas, planes de manejo de cuenca, así como actualización de diagnósticos y planes respectivamente. Respecto a cada tabla se identifica los actores relevantes tanto gubernamentales como de la sociedad organizada que ha sido partícipe del impulso de estos procesos.

Tabla VII. Instrumentos de política en las cuencas de estudio (2006-2009)

Nombre cuenca Nueva delimitación	Nombre cuencas anterior delimitación	Inventarios Hídricos 2006	Diagnósticos de la cuenca 2009	Planes de Manejo de la cuenca 2009
Alto Naranjo	San Ramón		MAGA	MANCUERNA
	Alto Nahuan			
	Tacaná	MARN – FUNSOLAR		MANCUERNA
	Nahualá			
	Alto Talcanac			
	Talcanac			
	Cieneca			MANCUERNA
	Espumpuja			MANCUERNA
Turbalá	Turbalá	MARN – FUNSOLAR	MAGA	MANCUERNA
Chol	Chol		MAGA	MANCUERNA
	Ixchol, Chanchil			

Fuente: elaboración propia.

Tabla VIII. Instrumentos de política en las cuencas de estudio (2011)

Nombre cuenca Nueva delimitación	Nombre cuencas anterior delimitación	Diagnóstico de la cuenca 2011	Planes de Manejo de la cuenca 2011
Alto Naranjo	San Ramón	FAO – MANCUERNA	FAO – MANCUERNA
	Alto Nahuan		
	Tacaná		
	Nahualá		
	Alto Talcanac		
	Talcanac		
	Cieneca		
	Espumpuja		
Turbalá	Turbalá	FAO – MANCUERNA	FAO – MANCUERNA
Chol	Chol		
	Ixchol, Chanchil		

Fuente: elaboración propia.

En las tablas IX, X y XI se puede observar un resumen por cada uno de municipios de MANCUERNA estudiados, así como los esfuerzos que impulsan en dicho territorio para construir la gobernabilidad del agua creando institucionalidad a lo interno de sus municipalidades, construyendo participativamente planes al respecto y alcanzando finalmente cierto equilibrio social fruto de la interacción de los componentes anteriores.

Tabla IX. **Proceso de institucionalización social -técnica - administrativa en apoyo de A&S en el marco de la GIRH**

	INSTRUMENTOS (I)		
Municipio	Diagnósticos y Planes Directores en Agua y Saneamiento	Política Hídrica Municipal Elaborada / Validada	Planes Municipales y Reglamentación De Servicios de agua y saneamiento
1. San Juan Ostuncalco	Validado por concejo Municipal	Si/No	Si
2. San Antonio Sacatepéquez	Validado por concejo Municipal	Si/Si	Si
3. San Marcos	Validado por concejo Municipal	Si/No	Si
4. San Pedro Sacatepéquez	Validado por concejo Municipal	Si/Si	Si
5. Palestina de los Altos	Validado por concejo Municipal	Si/No	Si

Continuación tabla IX.

Municipio	ORGANOS DE CONTROL			
	Gerencias Municipales JAM OMP, OSMP, AFIM, OMAS	Mesas Municipales de diálogo del Agua	Comisiones de Agua y Saneamiento (Comunitario Microcuenca)	RED GIRH
1. San Juan Ostuncalco	Si	No Vigente	+/- / No	Si
2. San Antonio Sacatepéquez	Si	Vigente	+/- / Si	Si
3. San Marcos	Si	No Vigente	+/- / No	Si
4. San Pedro Sacatepéquez	Si	Vigente	+/- / Si	Si
5. Palestina de los Altos	Si	Vigente	+/- / Si	Si

Continuación tabla IX.

	RESPUESTA SOCIAL		ESTADO
Municipio	Proyectos de Sostenibilidad ambiental	Mejora curricular con énfasis en GIRH y Formación	Gobernabilidad
1. San Juan Ostuncalco	----	Si	Conflictos sociales prevalecen
2. San Antonio Sacatepéquez	Invernadero forestal / CRIDETA / Eco emprendedores Juv / PTAR	Si	En proceso de estabilidad social
3. San Marcos	Proyecto Municipal de Desechos Sólidos / PTAR	Si	En proceso de estabilidad social
4. San Pedro Sacatepéquez	Invernadero forestal / Hidroeléctrica / Microempresas, MIRS	Si	En proceso de estabilidad social
5. Palestina de los Altos	invernadero funcionando	Si	En proceso de estabilidad social

Fuente: elaboración propia.

3. MECANISMO DE MEDICIÓN DE INDICADORES

Esta medición de indicadores tiene sustento teórico del método explicado en el capítulo 1, sección 1.5 Presión, Estado y Respuesta.

3.1 Presión

La medición y el control de presión son las variables de proceso más usadas en los más distintos sectores de la industria de control de procesos. Además, a través de la presión se puede inferir fácilmente una serie de otras variables, tales como, nivel, volumen, flujo y densidad.

3.1.1 Hidrología - indicador de cantidad de agua (H 1)

Utiliza el parámetro de variación de la disponibilidad de agua por persona, sobre la base de un periodo de referencia, en relación con el registro de agua disponible a largo plazo o histórico. El resultado se compara con la tabla de nivel y se obtiene la puntuación.

Tabla X. **Variación de la disponibilidad de agua per cápita en el periodo (m³/persona/año)**

NIVEL	PUNTUACIÓN
Variación de disponibilidad de AGUA H1 < -20 %	0.00
-20% < Variación de disponibilidad de AGUA H1 < -10 %	0.25
-10% < Variación de disponibilidad de AGUA H1 < 0 %	0.5
0% < Variación de disponibilidad de AGUA H1 +10 %	0.75
Variación de disponibilidad de AGUA H1 >+10 %	1.00

Fuente: elaboración propia, utilizando datos de Chávez, 2008.

3.1.2 Hidrología -indicador de calidad de agua (H2)

El parámetro utilizado como indicador para calidad de agua fue la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅). Los registros por utilizar para el periodo de análisis (10 años) debieran corresponder al promedio de las estaciones sin embargo es escasa dicha información para las áreas de las microcuencas.

Tabla XI. **Variación del DBO₅ de la cuenca en el periodo**

NIVEL	PUNTUACIÓN
Variación del DBO ₅ de la cuenca en el periodo H2 > 20 %	0.00
20 % > Variación del DBO ₅ de la cuenca en el periodo H2 > 10 %	0.25
10 % > Variación del DBO ₅ de la cuenca en el periodo H2 > 0 %	0.5
0 % > Variación del DBO ₅ de la cuenca en el periodo H2 >- 10 %	0.75
Variación del DBO ₅ de la cuenca en el periodo H2 < -10 %	1.00

Fuente: elaboración propia, utilizando datos de Chávez, 2008.

3.1.3 Indicador de ambiente (E)

Para el desarrollo de este indicador se utilizó información de usos del suelo para los periodos de referencia. El análisis de este indicador se ha hecho con criterio de experto con cierto nivel de subjetividad, lo que puede implicar algunos niveles de incertidumbre en los resultados. Para próximas versiones, es necesario adquirir imágenes satelitales que permitan realizar comparaciones precisas.

Tabla XII. **Variación en el uso apropiado del suelo en el periodo de estudio**

NIVEL	PUNTUACIÓN
Uso apropiado del suelo UAP > 20 %	0.00
Uso apropiado del suelo 30 % > UAP >40 %	0.25
Uso apropiado del suelo 40 % > UAP > 50 %	0.5
Uso apropiado del suelo 50 % >UAP > 80 %	0.75
Uso apropiado del suelo > 80 %	1.00

Fuente: elaboración propia.

3.1.4 Indicador de vida (L)

Emplea como indicador, la variación del índice del ingreso per cápita en el período de estudio para las poblaciones seleccionadas.

Tabla XIII. **Variación del índice de ingresos per cápita en la cuenca en el periodo**

Nivel	Puntuación
Variación del índice de ingresos per cápita < -20 %	0.00
-20 % < Variación del índice de ingresos per cápita < -10 %	0.25
-10 % < Variación del índice de ingresos per cápita < 0 %	0.5
0 % < Variación del índice de ingresos per cápita +10 %	0.75
Variación del índice de ingresos per cápita >+10 %	1.00

Fuente: elaboración propia.

3.1.5 Indicador de políticas (P)

Utiliza como parámetro la variación en el Índice de Desarrollo Humano, subindicador de educación (índice de conocimiento); lo que describe la variación entre dos períodos de las potencialidades de las personas para participar activa y conscientemente en el mejoramiento de su entorno familiar, comunitario, y social; de convivir en armonía con otras personas; y de incrementar la propensión a una vida sana.

Tabla XIV. **Variación del índice de educación en la cuenca en el periodo**

Nivel	Puntuación
Variación del índice de educación < -20 %	0.00
-20% < Variación del índice de educación < -10 %	0.25
-10% < Variación del índice de educación < 0 %	0.5
0% < Variación del índice de educación < +10 %	0.75
Variación del índice de educación > +10 %	1.00

Fuente: elaboración propia, utilizando datos de Chávez, 2008.

3.2 Estado

A continuación, los elementos y situación que se deben tomar en cuenta con respecto al “estado”.

3.2.1 Hidrología - indicador de cantidad de agua (H 1)

La disponibilidad de agua ($W_a = m^3/\text{persona/año}$) corresponde a la división entre el promedio histórico del agua disponible o escorrentía neta y la población existente de las cuencas.

Tabla XV. **Disponibilidad per cápita de agua en la cuenca superficial y subterránea (m³/persona/año)**

Nivel	Puntuación
Wa = < 1,700	0.00
1700 < Wa < 3400	0.25
3400 < Wa < 5100	0.5
5100 < Wa < 6800	0.75
Wa > 6800	1.00

Fuente: elaboración propia, utilizando datos de Chávez, 2008.

3.2.2 Hidrología -indicador de calidad de agua (H2)

El parámetro utilizado como indicador para calidad de agua fue la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO en mg/l.). Los registros por utilizar para el periodo de análisis (10 años) debieran corresponder al promedio de las estaciones, sin embargo, es escasa dicha información para las áreas de las cuencas de estudio.

Tabla XVI. **Promedio de la DBO₅ de la cuenca (largo plazo) en mg/l.**

Nivel	Puntuación
> 10	0.00
5 < DBO ₅ < 10	0.25
3 < DBO ₅ < 5	0.5
1 < DBO ₅ < 3	0.75
1 < DBO ₅	1.00

Fuente: elaboración propia, utilizando datos de Chávez, 2008.

3.2.3 Indicador de ambiente (E)

Se refieren a la calidad del ambiente, así como a la cantidad y estado de los recursos naturales existentes dentro de la cuenca. Este parámetro hace referencia al porcentaje de vegetación natural remanente en la cuenca (Av).

Para el presente estudio se tomaron como vegetación natural los bosques naturales, los rastrojos, y matorrales. Para obtener el porcentaje de las cuencas con vegetación natural se utilizó la cobertura vegetal para el año 2006.

Tabla XVII. **Recursos naturales existentes (cobertura forestal)**

Nivel	Puntuación
Cobertura Forestal < 5 %	0.00
5% < Cobertura Forestal < 10%	0.25
10% < Cobertura Forestal < 25%	0.5
25 < Cobertura Forestal <40%	0.75
Cobertura Forestal > 40%	1.00

Fuente: elaboración propia, utilizando datos de Chávez, 2008.

3.2.4 Indicador de vida (L)

El parámetro utilizado es el IDH ponderado por la población asentada en cada cuenca para cada comunidad en el período anterior.

Tabla XVIII. **IDH ponderado de cuenca del periodo anterior**

Nivel	Puntuación
Índice de Desarrollo Humano < 0.5	0.00
0.5 < Índice de Desarrollo Humano < 0.6	0.25
0.6 < Índice de Desarrollo Humano < 0.75	0.5
0.75 < Índice de Desarrollo Humano < 0.9	0.75
Índice de Desarrollo Humano > 0.9	1.00

Fuente: elaboración propia, utilizando datos de Chávez, 2008.

3.2.5 Indicador de políticas (P)

Refleja la efectividad de la capacidad legal e institucional, en el manejo de los recursos del agua, a través de la evaluación de la existencia del marco legal (L), de la existencia del marco institucional (I), y del manejo de la participación (P).

Tabla XIX. **Marco legal (L), marco institucional (I) y manejo de la participación (P)**

Nivel	Puntuación
Muy pobre	0.00
Pobre	0.25
Media	0.5
Buena	0.75
Excelente	1.00

Fuente: elaboración propia, utilizando datos de Chávez, 2008.

- Marco legal (L)

Con el fin de establecer una metodología para medir la existencia de un marco legal adecuado, se ha determinado que es necesario realizar un análisis de la recopilación de las leyes que regulan el manejo integrado de cuencas.

- Marco institucional (I):

La existencia de un marco institucional adecuado se basa en valorar los logros de la gestión realizada por la Comisión Interinstitucional de Cuencas, Red para la Gestión Integrada de Recursos Hídricos (REDGIRH). Lo anterior obedece a que la REDGIRH, tiene el propósito de coordinar las actividades de organismos gubernamentales y no gubernamentales con responsabilidad e intereses en la cuenca del río el Naranjo.

- Manejo de la participación (P):

El nivel de manejo adecuado de la participación de la comunidad en la Cuenca Hidrográfica del río el Naranjo, será establecido a través de los esfuerzos realizados a través de la REDGIRH, para involucrar a la comunidad.

La información del marco legal, institucional y manejo de la participación es de carácter global para todas las cuencas del área de estudio. Una vez realizado el análisis correspondiente se puede establecer el nivel del marco legal, marco institucional y manejo de la participación y atribuirle un puntaje de acuerdo con la metodología establecida y basándose en la tabla XVIII.

3.3 Respuesta

Por último, se presentan los elementos por tomar en consideración.

3.3.1 Hidrología - indicador de cantidad de agua (H 1)

Mide la optimización o evolución en la eficiencia que se haga en la gestión del agua tanto para consumo humano, hidroelectricidad, riego y otros usos en la cuenca en el periodo.

Tabla XX. **Evolución en la eficiencia de uso de agua en la cuenca en el periodo**

Nivel	Puntuación
Muy Pobre	0.00
Pobre	0.25
Media	0.5
Buena	0.75
Excelente	1.00

Fuente: elaboración propia, utilizando datos de Chávez, 2008.

3.3.2 Hidrología -indicador de calidad de agua (H2)

Mide las acciones/ (evolución en el tratamiento) que se han estado realizando en las cuencas en materia de tratamiento y disposición de aguas servidas en los últimos cinco a diez años, relativo al período de largo plazo.

Tabla XXI. **Evolución en el tratamiento y disposición de aguas residuales en la cuenca en el periodo**

Nivel	Puntuación
Muy Pobre	0.00
Pobre	0.25
Media	0.5
Buena	0.75
Excelente	1.00

Fuente: elaboración propia, utilizando datos de Chávez, 2008.

3.3.3 Indicador de ambiente (E)

La respuesta en el tema “ambiente” presenta los esfuerzos realizados por la sociedad o por una institución dada para reducir o mitigar la degradación del ambiente. Este parámetro mide la evolución de la conservación en las áreas de la cuenca, en un período determinado, tomando en cuenta dos variables: área protegida (AP) y buenas prácticas de manejo (BPM). Evolución en la capacidad de organizarse y planificar en la cuenca en el período.

Tabla XXII. **Evolución en la capacidad de organizarse y planificar en la cuenca en el periodo**

Nivel	Puntuación
Muy Pobre	0.00
Pobre	0.25
Media	0.5
Buena	0.75
Excelente	1.00

Fuente: elaboración propia, utilizando datos de Chávez, 2008.

3.3.4 Indicador de vida (L)

Para este subíndice se utiliza como parámetro la variación del Índice de Desarrollo Humano (IDH) durante el período de estudio.

Tabla XXIII. **Variación del IDH en la cuenca en el periodo**

Nivel	Puntuación
Índice de Desarrollo Humano < -10	0.00
< -10 < Índice de Desarrollo Humano < 0	0.25
0 < Índice de Desarrollo Humano < 10	0.5
10 < Índice de Desarrollo Humano < 20	0.75
Índice de Desarrollo Humano > 20	1.00

Fuente: elaboración propia, utilizando datos de Chávez, 2008.

3.3.5 Indicador de políticas (P)

Este indicador se refiere a la evolución en la inversión en el manejo integrado de los recursos del agua, a través del cual se refleja la respuesta de los actores y de los tomadores de decisiones para tomar acción en los problemas de los recursos hídricos.

Tabla XXIV. **Evolución en la inversión en la gestión integrada de los recursos hídricos (GIRH)**

Nivel	Puntuación
Evolución en la inversión en la GIRH < -20 %	0.00
Evolución en la inversión en la GIRH entre -20 % y -10 %	0.25
Evolución en la inversión en la GIRH entre -10 % y 0 %	0.5
Evolución en la inversión en la GIRH entre 0 % y 10 %	0.75
Evolución en la inversión en la GIRH > 10 %	1.00

Fuente: elaboración propia, utilizando datos de Chávez, 2008

4. PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 Presión

A continuación, se presentan los resultados obtenidos para la “presión”.

4.1.1 Hidrología - indicador de cantidad de agua (H 1)

$$\Delta_1 = \left\{ \frac{(Q_{1977-1984}) - (Q_{1970-1984})}{(Q_{1970-1984})} \right\} * 100$$

$$\Delta_1 = \left\{ \frac{(55.93 \text{ MMC}) - (69.46 \text{ MMC})}{(69.46 \text{ MMC})} \right\} * 100$$

$$\Delta_1 = -19 \% \text{ Puntuación basada en la tabla de nivel: } 0.25$$

De acuerdo con información de INSIVUMEH en la serie de registros históricos de agua se cuenta con la siguiente información: la disponibilidad de agua en el periodo estudiado (promedio de 55.93 millones de metros cúbicos - MMC-) es un 19 % menor que el registro histórico (promedio de 69.46 MMC). La puntuación para un rango entre -20 % y -10 % corresponde a 0.25.

4.1.2 Hidrología -Indicador de Calidad de Agua (H 2)

En la implementación de un inventario hídrico efectuado por Comunidades Asociadas para el Desarrollo Integral Sostenible de la Cuenca del río Naranjo (CADISNA) en las microcuencas en cuestión se determinaron los resultados siguientes: En la microcuenca Cieneca de 12 fuentes monitoreadas todas son aptas para consumo humano, de la microcuenca Chol 13 de 17 son aptas, de la

Espunpunja, 2 de 6 son aptas, de San Ramón, 3 de 4, de Tacaná 4 de 5, de Turbalá 27 de 47. El valor de "presión" es de 0.5.

4.1.3 Indicador de ambiente (E)

Describe la presión ejercida sobre el ambiente por las actividades humanas. Este parámetro originalmente involucra dos variables: áreas agropecuarias y áreas pobladas. Para efectos del presente estudio se basará sobre la intensidad de uso de la tierra en las cuencas, analizando la tabla VI se sabe que únicamente el 32.27 % del total de Hectáreas (5,871.73) cuentan con un "uso apropiado" y 3973.64 Ha están siendo "sobre utilizadas". En función de lo anterior le corresponde una puntuación de 0.25.

4.1.4 Indicador de vida (L)

De acuerdo con la tabla de aplicación del WSI, este valor se ubica en el rango de -10 % A 0 %, que corresponde a una puntuación de 0.5

e) Indicador de Políticas -P-

Para calcular el indicador se utiliza la siguiente fórmula:

Donde:

$$\Delta = \left\{ \frac{(IC_2 - IC_1)}{(IC_1)} \right\} * 100$$

IC₁ = Índice de conocimiento período anterior

IC₂ = Índice de conocimiento período bajo evaluación

Δ = Porcentaje de cambio.

$$\Delta = \left\{ (0.584 - 0.514) \right\} * 100$$

0.514

$$\Delta = 13.61 \%$$

Al introducir las variables en la fórmula dio como resultado 13.61 %, lo que de acuerdo con la tabla de aplicación del WSI, significa que el puntaje es de 1.00, equivalente a un avance excelente en el período estudiado

Tabla XXV. **Resumen del índice de sostenibilidad de cuencas "presión"**

Indicador	Valor	Puntaje
Hidrología / Cantidad	-20 % < Variación de disponibilidad de agua H1 < -10 %	0.25
Hidrología / Calidad	10 % > Variación del DBO ₅ de la cuenca en el periodo H2 > 0 %	0.50
Ambiente	Uso apropiado del suelo 30 % > UAP >40 %	0.25
Vida	-10 % < Variación del índice de ingresos per cápita < 0 %	0.50
Políticas	Variación del índice de educación > +10 %	1.00
Promedio		0.5

Fuente: elaboración propia.

En resumen, la suma y promedio correspondiente a la variable de "presión" nos da lo siguiente:

$$\text{PRESIÓN} = \left\{ \frac{(\text{Hidrología "Cantidad" H1}) + (\text{Hidrología "Calidad" H2}) + (\text{Ambiente "E"}) + (\text{Vida "L"}) + (\text{Políticas "P"})}{5} \right\}$$

$$\text{PRESIÓN} = \left\{ \frac{(0.25) + (0.50) + (0.25) + (0.50) + (1.00)}{5} \right\} = 0.50$$

4.2 Estado

A continuación, se presentan los resultados obtenidos acerca del "estado".

4.2.1 Hidrología - Indicador de Cantidad de Agua (H 1)

La disponibilidad de agua (W_a : water availability) corresponde a la división entre el promedio histórico del agua disponible o esorrentía neta y la población existente de las microcuencas.

$$W_a = 69.46\text{MMC}/26,061 \text{ Habitantes}$$

$$W_a = 2,665.28 \text{ m}^3 / \text{ Habitante}$$

Se asume que la población que habita en esa área es la que consume el recurso disponible, es decir los habitantes de las cuencas de Cieneca, Chol, Espunpunja, Tacana, San Ramón y Turbala. El cálculo resulta en 2,665.28 m³ / Habitante que tiene una puntuación de 0.25.

4.2.2 Hidrología -indicador de calidad de agua (H2)

El valor de "estado" es de 0.5, en el Anexo se cuenta con información de Indicadores de Calidad de Agua a partir del inventario Hídrico en cuencas de MANCUERNA.

4.2.3 Indicador de ambiente (E)

Se refieren a la calidad del ambiente, así como a la cantidad y estado de los recursos naturales existentes dentro de la cuenca. Este parámetro hace referencia al porcentaje de vegetación natural remanente en la cuenca (A_v).

Sobre los datos del apartado 9.6 y con base en la fórmula se tiene lo siguiente:

El área en las microcuencas de estudio incluye aproximadamente 159.31 kms². De lo anterior, 75.78 km² es Área sin cobertura forestal (47.56 %), 52.08 km² es Asociación Mixto-cultivos (32.69 %), 7.34 km² Bosque de Latifoliadas (4.6 %), 15.16 km² Bosque Mixto (9.51 %) y 8.95 km² Asociación Coníferas-cultivos (5.61 %). (Figura 5)

$$Av = \left\{ \frac{\text{Superficie de vegetación natural existente en la cuenca}}{\text{Superficie total de la cuenca}} \right\} * (100)$$

$Av = (52.08 \text{ km}^2 \text{ Asoc. Mixto-cultivos} + 7.34 \text{ km}^2 \text{ Bosque Latifoliadas} + 15.16 \text{ km}^2 \text{ Bosque Mixto} + 8.95 \text{ km}^2 \text{ Asoc. Coníferas-cultivos}) / 159.31 \text{ km}^2 \text{ área total de la microcuenca}) \times 100$

Av: 0. 52 x 100

Av: 52.43 %

Para el presente estudio se tomaron como vegetación natural los bosques naturales y áreas reforestadas. Para obtener el porcentaje de las cuencas con vegetación natural se utilizó la cobertura vegetal para el año 2006. Para la parte alta de la cuenca del río Naranjo se obtuvo un 52.43 % de cobertura, de vegetación natural, correspondiendo a un puntaje de 1.00. Este valor indica que la calidad ambiental en la cuenca es buena; así como la cantidad y estado de sus recursos naturales.

4.2.4 Indicador de vida (L)

El parámetro utilizado es el IDH ponderado por la población asentada en cada microcuenca para cada comunidad en el período anterior. Del cálculo efectuado con los datos disponibles resultó un valor de 0.5805 (Promedio entre IDH 1,994 y 2,002 0.54+0.621); De acuerdo con la tabla de puntaje corresponde a un valor de 0.25 que se clasifica como un valor bajo de calidad de vida para estas cuencas.

4.2.5 Indicador de políticas (P)

Refleja la efectividad de la capacidad legal e institucional, en el manejo de los recursos del agua, a través de la evaluación de la existencia del marco legal, de la existencia del marco institucional, y del manejo de la participación.

Para calcular este parámetro se utiliza la siguiente formula:

$$CI = \left\{ \frac{(L + I + P)}{3} \right\}$$

Donde:

CI = Capacidad Institucional

L = Nivel de efectividad del marco legal

I = Nivel de efectividad del marco institucional

P = Nivel del involucramiento de la comunidad en los temas relacionados con el manejo de los recursos hídricos.

Con el criterio experto y en base a los parámetros siguientes: Marco Legal (L), Marco Institucional (I) y Manejo de la participación (P) en base a consulta multidisciplinaria se asignaron las siguientes valoraciones: a) Marco Legal:

Buena: 0.75. b) Marco Institucional: Buena, 0.75 y c) Manejo de la participación: Buena, 0.75. Promedio: 0.75

$$CI = \left\{ \frac{(L + I + P)}{3} \right\}$$

$$CI = \left\{ \frac{(0.75 + 0.75 + 0.75)}{3} \right\} = 0.75$$

Tabla XXVI. Resumen del índice de sostenibilidad de cuencas "estado"

Indicador	Valor	Puntaje
Hidrología / Cantidad	Disponibilidad per cápita de agua en la cuenca > 1700 y < 3400	0.25
Hidrología / Calidad	DBO5 entre 5 y 3	0.5
Ambiente	Cobertura forestal > 40%	1.00
Vida	IDH entre 0.5 y 0.6	0.25
Políticas	Marco legal (L) Marco institucional (I) y Manejo de la participación (P) fortalecido	0.75
Promedio		0.55

En resumen, la suma y promedio de los siguientes valores correspondiente a la variable de "estado" nos da lo siguiente:

$$\text{ESTADO} = \left\{ \begin{array}{l} \text{(Hidrología "Cantidad" H1) + (Hidrología "Calidad" H2) + (Ambiente "E") + (Vida "L") + (Políticas "P")} \\ \hline \text{(0.25) + (0.5) + (1.00) + (0.25) + (0.75)} \end{array} \right\} = 0.55$$

5

4.3 Respuesta

A continuación, los datos de los resultados obtenidos para “respuesta”.

4.3.1 Hidrología - indicador de cantidad de agua (H1)

La evolución o mejoras en el manejo del recurso hídrico en las microcuencas en el período ha sido Regular, ya que entre los indicadores de bajo alcance está el estado actual sobre la capacidad de uso del suelo que es bajo y que por ende contribuye al deterioro de la calidad de las zonas de recarga hídrica. El puntaje correspondiente a un nivel o valor de Regular es 0.5.

4.3.2 Hidrología -indicador de calidad de agua (H2)

El indicador de respuesta (acciones que se han estado realizando en las cuencas en materia de tratamiento y disposición de aguas servidas en los últimos 5 años, relativo al periodo de largo plazo) se estimó sobre la base de una revisión de la normativa y cumplimiento de la misma en las cuencas respectivas, por parte de las instituciones competentes en esta materia, al revisar la información contenida en la tabla 8 se puede apreciar que únicamente dos de cinco municipios están implementando obras de infraestructura relacionados con evitar la contaminación ambiental. El valor es de 0.5, correspondiente a Regular.

4.3.3 Indicador de ambiente (E)

En los cinco municipios estudiados se cuenta a nivel municipal con gerencias municipales relacionadas con el manejo del agua, así como con oficinas de servicios públicos municipales; en tres municipios cuentan con comisiones de agua y saneamiento a lo interno de los Consejos Municipales de

Desarrollo (COMUDE), adicionalmente en los mismos tres se cuentan con consejos comunitarios de cuenca y en los cinco municipios se están desarrollando mejoras curriculares con enfoque de GIRH. Basado en la tabla 8 de Instrumentos para la GIRH en cuencas estratégicas el valor asignado a la respuesta de la sociedad en el tema ambiente es de buena con una puntuación de 0.75.

4.3.4 Indicador de vida (L)

El valor obtenido del indicador de respuesta para este subíndice fue de 14 % y está dentro del rango de 10 % a 20 % cuya puntuación es de 0.75. Se refiere básicamente a la variación positiva en el IDH en la cuenca en el período de estudio.

4.3.5 Indicador de políticas (P)

Este indicador se refiere a la evolución en la inversión en el manejo integrado de los recursos del agua, a través del cual se refleja la respuesta de los actores y de los tomadores de decisiones para tomar acción en los problemas de los recursos hídricos.

La fórmula del indicador es:

$$\Delta = \left\{ \frac{(G_2 - G_1)}{G_1} \right\} * 100$$

Dónde:

Δ = Porcentaje de cambio

G_1 = Inversión monetaria en la cuenca en el periodo anterior

G₂ = Inversión monetaria en la cuenca en el periodo actual.

Tabla XXVII. **Resumen de las inversiones en la zona del proyecto en el periodo de estudio**

	Gastos durante el período de informe Enero 2008 – marzo 2009 (15 meses)				Gasto acumulativo Octubre 2005 – marzo 2009 (42 meses)			
	Mujeres		Hombres		Mujeres		Hombres	
	Monto	%	Monto	%	Monto	%	Monto	%
Salarios (incluyendo consultores, jornales de beneficiarios, entre otros.)	69,241	54	58,182	46	294,868	39	451,935	61
Pago a capacitaciones (dividido sobre la base de participación)	31,339	36	55,714	64	76,598	43	100,496	57
Pago por servicios prestados	7,654	36	13,497	64	28,099	22	101,293	78

Fuente: elaboración propia.

La fórmula del indicador es:

$$\Delta = \left\{ \frac{(1,053,289 - 500,000)}{500,000} \right\} * 100 = 110.65$$

El valor obtenido del indicador de respuesta para este subíndice fue de 110.65 % y está dentro del rango de mayor a 10 % cuya puntuación es de 1.00.

Tabla XXVIII. **Resumen del índice de sostenibilidad de cuencas**
"respuesta"

Indicador	Valor	Puntaje
Hidrología / Cantidad	Evolución en la eficiencia de uso de agua	0.5
Hidrología / Calidad	Evolución en el tratamiento y disposición de aguas residuales	0.5
Ambiente	Evolución en la capacidad de organizarse y planificar en la cuenca	0.75
Vida	Variación del IDH en la cuenca en el periodo entre 10 % y <20 %	0.75
Políticas	Evolución en la inversión en la GIRH > 10 %	1.00
Promedio		0.7

Fuente: elaboración propia.

En resumen, la suma y promedio de los siguientes valores correspondiente a la variable de "RESPUESTA" nos da lo siguiente:

$$\left\{ \frac{(\text{Hidrología "Cantidad" H1}) + (\text{Hidrología "Calidad" H2}) + (\text{Ambiente E}) + (\text{Vida L}) + (\text{Políticas P})}{5} \right\}$$

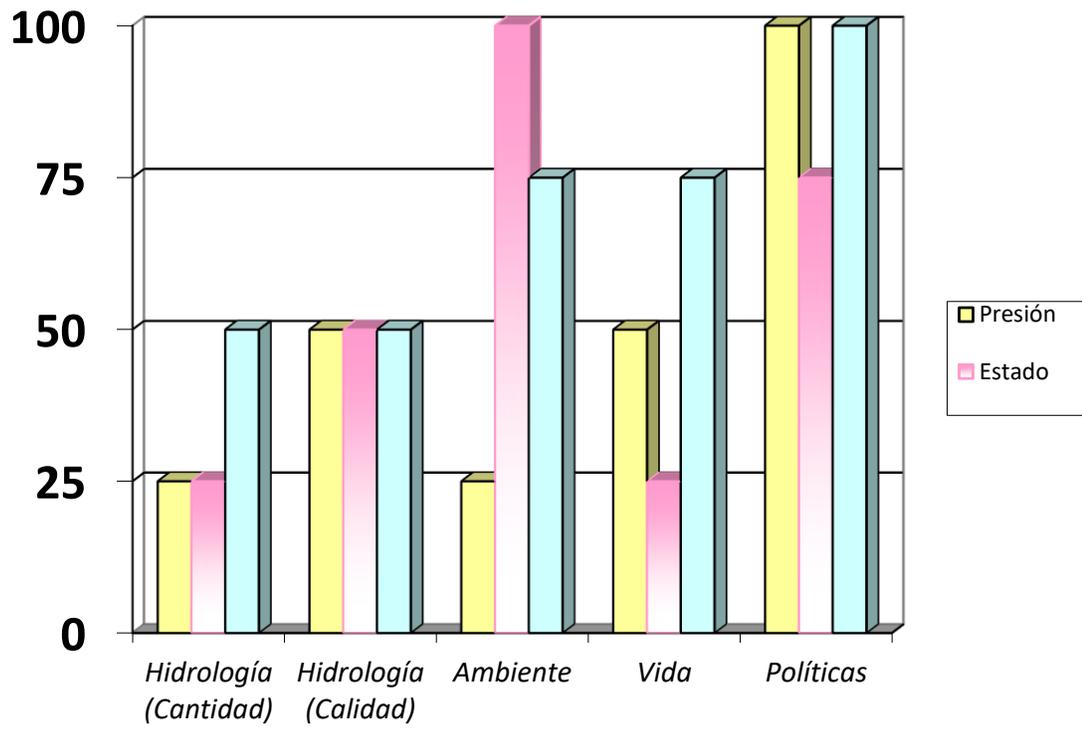
$$\text{RESPUESTA} = \left\{ (0.50) + (0.5) + (0.75) + (0.75) + (1.00) / 5 \right\} = 0.70$$

Tabla XXIX. Índice de sostenibilidad de cuencas "integrado"

	Presión	Estado	Respuesta
Indicador			
H 1 (Hidrología)	0.25	0.25	0.50
Cantidad de agua	-20 % < Variación de disponibilidad de AGUA H1 < -10 %	-Disponibilidad per cápita de agua en la cuenca > 1700 y < 3400	- Evolución en la eficiencia del uso del agua en el período
H 2 (Hidrología)	0.5	0.50	0.50
Calidad de agua	10 % > Variación del DBO5 de la cuenca en el periodo H2 > 0 %	- DBO5 de la cuenca (promedio de largo plazo) entre 5 y 3	- Evolución en el tratamiento y disposición de aguas residuales
E (Ambiente)	0.25	1.00	0.75
	- Uso apropiado del suelo 30 % > UAP >40 %	- Cobertura forestal > 40%	- Variación del IDH en la cuenca en el periodo entre 10 % y <20 %
L (Vida)	0.5	0.25	0.75
	-10 % < Variación del índice de ingresos per cápita < 0 %	- IDH de la cuenca en el periodo anterior (ponderado) entre 0.5 y 0.6	- Evolución del IDH de la cuenca en el periodo
P (Política)	1.00	0.75	1.00
	Variación del índice de educación > +10 %	- Marco legal (L) institucional (I) y Manejo de la participación (P)	-Evolución en la inversión en la GIRH > 10%
Promedio	0.50	0.55	0.70
WSI = (0.5 + 0.55 + 0.7) / 3		WSI = 0.58	

Fuente: elaboración propia.

Figura 14. Gráfica del comportamiento de los índices de Presión, Estado y Respuesta



Fuente: elaboración propia.

CONCLUSIONES

1. No se cumple la hipótesis, ya que el índice de sostenibilidad de cuencas obtenido para el territorio de la Cuenca del Río Naranjo tiene un valor de 0.58, es decir 12 puntos menos al valor de 70 planteado en la hipótesis del presente estudio. lo que significa que, si bien es cierto, las acciones desarrolladas contribuyen con la Gestión Integrada de los recursos hídricos, aún hace falta para alcanzarla con un valor aceptable.
2. Aplicando la metodología propuesta, el índice de sostenibilidad hídrica de cuenca de la parte alta del río Naranjo tiene un valor positivo de 58 puntos, dicha metodología es aplicable y útil para medir el alcance de una Gestión Integrada de Recursos Hídricos.
3. El valor del indicador ambiental que ejerce mayor presión en la cuenca es el referido a uso apropiado del suelo correspondiente a 0.25, en esa misma escala se encuentra el indicador de variación en la disponibilidad de agua; en segunda instancia está el indicador social relacionado con los ingresos per cápita (0.5), dichos indicadores se correlacionan ya que al no contar con recursos la población hace mayor presión en los recursos naturales.
4. El valor de indicadores clave que abonan a la integridad ecológica y el alcance de las aspiraciones humanas en la parte alta de la cuenca del río Naranjo son los referidos a indicadores de cobertura forestal (1.00) e indicadores relacionados con el marco legal, institucional y manejo de la

participación (0.75). Ambos indicadores son el soporte de la sostenibilidad en la cuenca.

5. El valor del indicador de RESPUESTA mejor ponderado se refiere a las inversiones para la gestión integrada de recursos hídricos –GIRH-(1.00) aunado con el indicador de Evolución en la capacidad de organizarse y planificar en la cuenca (0.75).

RECOMENDACIONES

1. Socializar la presente metodología para que constituya un referente para medir la sostenibilidad de cuencas, en este caso tomando en consideración que el índice de sostenibilidad de cuencas (WSI) hallado tiene un valor positivo del 0.58, es decir del 58 %, recomendar incrementar las acciones de respuesta de la sociedad, autoridades e instituciones.
2. Profundizar en la investigación de los indicadores de “presión, estado y respuesta”, así como de la división de indicadores que evalúa incluyendo los respectivos subindicadores.
3. Sugerir la selección de áreas estratégicas piloto en las diferentes regiones del país con el objetivo de darle un seguimiento a la medición de sostenibilidad de estas e institucionalizar el alcance en la planificación de su desarrollo.
4. Incrementar la difusión de estas técnicas de tal manera de irlos perfeccionando y mejorando para mejorar las inversiones que el gobierno nacional y municipal realiza en compañía de la cooperación internacional.

REFERENCIAS

1. Bordino J. (26 de marzo 2021) *Cuencas Hidrográficas*. Ecología Verde. Recuperado de <https://www.ecologiaverde.com/cuencas-hidrograficas-que-son-tipos-e-importancia-3334.html>
2. Chaves, H. (2008) *Evaluación Preliminar de la aplicación y cálculo del índice de sostenibilidad de Cuenca PHI*. Uruguay: UNESCO.
3. Chaves, H. (2017). *Desarrollo del Índice de Sustentabilidad de Cuencas (WSI)*. Santiago de Chile: CEPAL.
4. Chaves, H. (2017). *La Sustentabilidad e Indicadores Integrados de Cuencas Hidrográficas*. Uruguay: UNESCO.
5. Comisión Brundtland (2004). *Nuestro Futuro Común*. Inglaterra: Oxford University Press.
6. FAO-MANCUERNA (2020). *Inventarios Hídricos de las cuencas del río el Naranjo*. Guatemala: CADISNA
7. GCI, 2018. *Evaluación preliminar de factores del uso de la tierra, causas y agentes de deforestación y degradación de bosques en Guatemala*. Guatemala: Autor.
8. GIMBUT (2019). *Cobertura Forestal de Guatemala 2016 y Dinámica de Cobertura Forestal 2010-2016*. Guatemala: Autor.

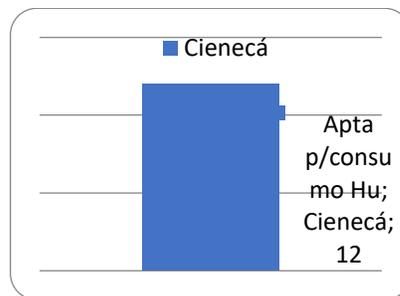
9. Global Water Partnership (16 de mayo 2003). *Gestión Integrada del recurso hídrico en Centro América*. GWP. Recuperado de <https://www.gwp.org>
10. Grau, A.; Maisonnave, J.B.; Calvo, G. y Flores, G. (2011). *Actualización del índice de sostenibilidad de cuencas (ISC) para la cuenca del Río Reventazón (Período 2005 – 2010)*. Venezuela: Playco Editores.
11. Hernández Sampieri, R.; Fernández, C. y Baptista, P. (2014). *Metodología de Investigación*. México: McGraw-Hill.
12. Instituto Nacional De Estadística. (1994). *X Censo de Población y V de habitación*. Guatemala: INE.
13. Instituto Nacional de Estadística. (2002). *Censo Nacional XI de población VI de habitación*. Guatemala: INE.
14. Instituto Nacional de Estadística. (2019). *XII Censo nacional de población y VII de vivienda*. Guatemala: INE.
15. López Cadenas, F. (1998). *Restauración hidrológica forestal de cuencas y control de la erosión: ingeniería medioambiental*. (2ª edición) Madrid: Tragsatec. Recuperado de <https://www.worldcat.org/title/restauracion-hidrologico-forestal-de-cuencas-y-control-de-la-erosion-ingenieria-medioambiental/oclc/318260837>
16. Parris, T. y Kates, R. (agosto 2003) Characterizing and measuring sustainable development. *Annual Environmental Resources* (28) 13.11-31.28.

17. PNUD (2005). *Diversidad étnico – cultural y desarrollo humano: La ciudadanía en un Estado*. Guatemala: Serviprensa S.A
18. PNUD (2011). *Cifras para el desarrollo humano*. Guatemala: Serviprensa S.A.
19. Sandoval-Solís (2011). Programa Hidrológico Internacional. Uruguay: UNESCO. Recuperado de [https://es.unesco.org/fieldoffice/montevideo/agua#:~:text=El%20Programa%20Hidrológico%20Intergubernamental%20\(PHI,gestión%20de%20los%20recursos%20hídricos.](https://es.unesco.org/fieldoffice/montevideo/agua#:~:text=El%20Programa%20Hidrológico%20Intergubernamental%20(PHI,gestión%20de%20los%20recursos%20hídricos.)
20. SEGEPLAN (2015). *Informe final de cumplimiento. de los Objetivos de Desarrollo del Milenio*. Guatemala: Autor.
21. UGAM (2016). *Informe de la Unidad de Gestión Ambiental Municipal* Guatemala: Municipalidad de Chimaltenango.
22. UNESCO (2008). *Evaluación preliminar de la aplicación y cálculo del índice de sostenibilidad de cuencas en la cuenca hidrográfica del Canal de Panamá*. Paris, Francia: Autor.
23. Winthrop Carty (2003). *Findings of the Workshop on Innovation and Quality*. México: Harvard University.

ANEXOS

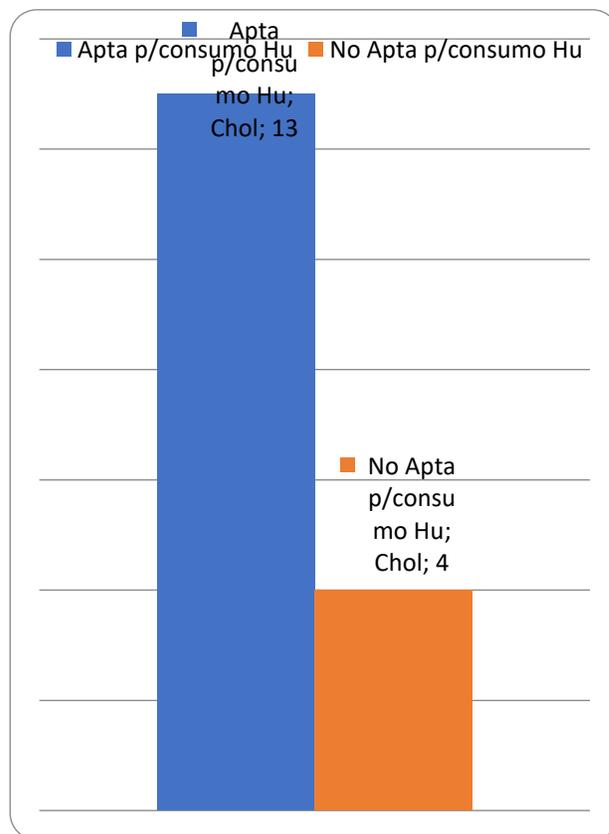
Anexo 1. Indicadores de calidad de agua a partir del inventario Hídrico en tres cuencas de MANCUERNA

Dentro de la cuenca Cieneca se identificaron 12 fuentes de agua y todas son aptas para consumo humano.



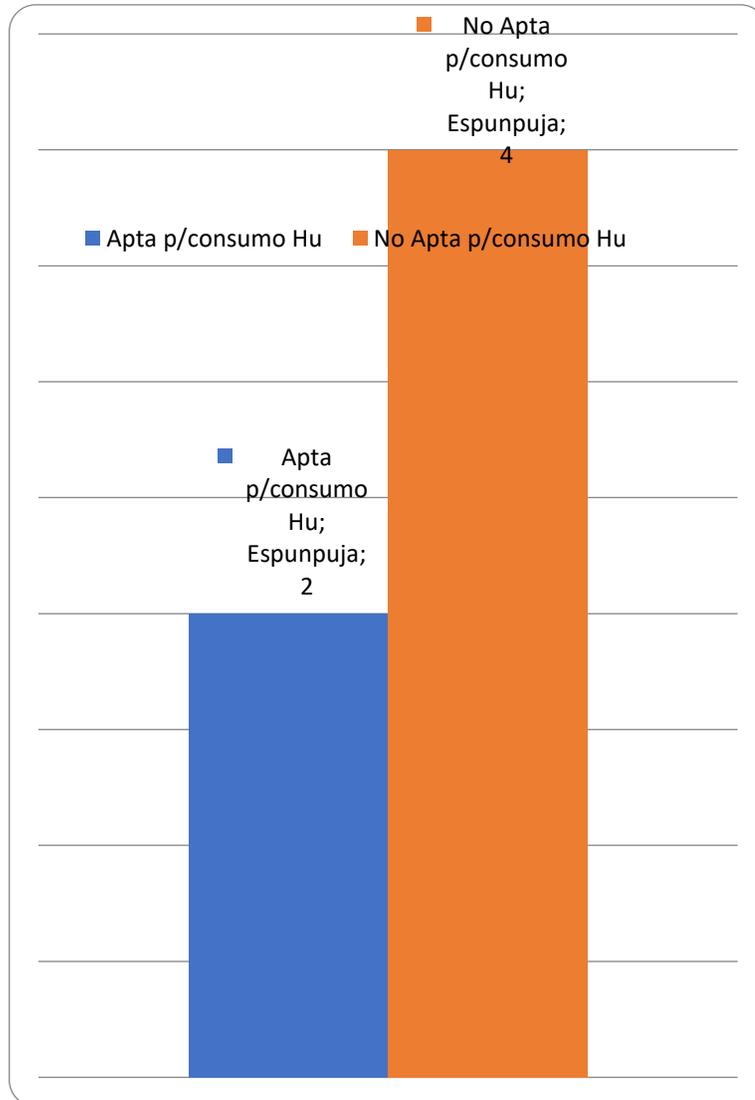
En el caso de la cuenca Chol fueron identificadas e inventariadas un total de 17 fuentes de agua, ubicadas en las comunidades de cantón Alta Vista, aldea El Cedro, caserío buena Vista y caserío San Miguel las Flores, en la gráfica siguiente se detallan el número de fuentes por comunidad. Del total de fuentes inventariadas el 70 % de estas son aptas para consumo humano y el 30% restante no son aptas para consumo humano, como puede observarse en la gráfica siguiente:

Continuación anexo 1.



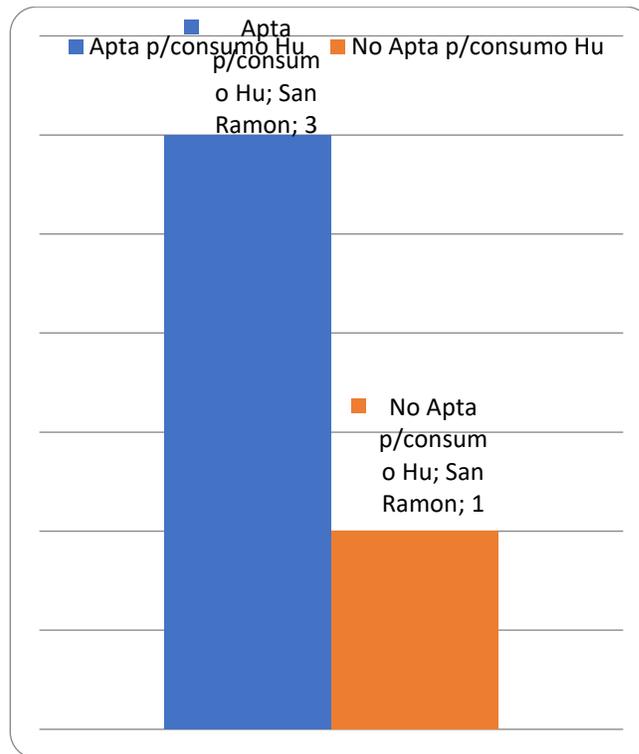
En la cuenca Espumpunja se determinó la existencia de 6 fuentes de agua de cuales solo el 33 % era apta para consumo humano y el 67 % restante no lo era. Es importante hacer notar que para poder realizar este inventario sólo se tomaron en cuenta aquellas que eran conocidas por los pobladores del lugar y tenían un fin de uso, además de contar con la aprobación de los dueños del terreno para hacer dicho inventario.

Continuación anexo 1.



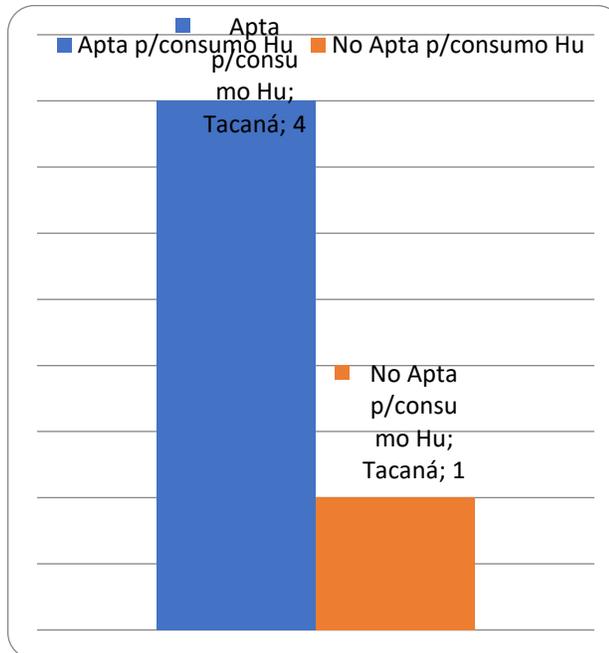
En la cuenca San Ramón solo cuatro fuentes de agua pudieron ser inventariadas de las cuales 1 (25 %) no es apta para el consumo humano y 3 (75 %) son aptas para el consumo humano.

Continuación anexo 1.



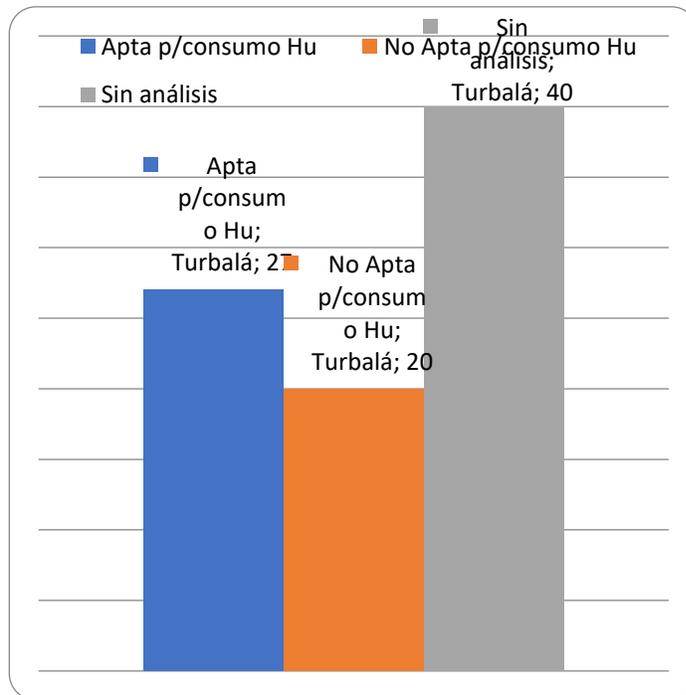
En la cuenca Tacaná se identificaron 5 fuentes de agua de las cuales 1 (el 20 %) no es apta para consumo humano y 4 de ellas (80 %) son aptas para consumo humano tal y como se muestra en la gráfica siguiente.

Continuación anexo 1.



Dentro del inventario en la cuenca Turbala se pudieron identificar 87 fuentes de agua, de las anteriores, se realizaron análisis de potabilidad a 47 fuentes correspondiente al 54 % del total de fuentes de agua analizadas. Únicamente 27 son aptas para consumo humano (31 % del total) y 20 no son aptas para el consumo humano (23 % del total), las restantes fuentes de agua inventariadas no cuentan con análisis de potabilidad.

Continuación anexo 1.



Fuente: ONG Ambiental (2009). *Informe de inventario hídrico de la cuenca del río Naranjo.*

Anexo 2. Información secundaria corroborada en campo acerca de las microcuencas

Consolidado de problemas que afectan a nivel general.

- Tala de árboles.
- Basura.
- Falta de puesto de salud.
- Falta de tratamiento del agua para el consumo Humano.
- Falta de protección a las fuentes de agua.
- Mala disposición de excretas.
- Falta de infraestructura y personal docente en las escuelas.
- No toda la comunidad cuenta con agua potable.

Continuación anexo 2.

- Mucha erosión de los suelos.
- No hay mantenimiento de caminos.
- Aguas servidas a la intemperie.
- Plagas en la agricultura.
- Tierras agotadas por el uso de químicos.
- Falta de proyectos productivos agropecuarios.
- No hay interés por organizarse y participar.

Proyectos posibles para mitigar la situación.

- Reforestación, viveros. Estufas mejoradas.
 - Mejorar la disposición de la basura.
 - Infraestructura para la salud y la educación.
 - Manejo y conservación de las fuentes de agua.
 - Drenaje.
 - Ampliación para proporcionar otros servicios de agua potable.
 - Conservación de suelos.
 - Mantenimiento y conservación de caminos.
 - Manejo de aguas servidas.
 - Agricultura orgánica.
 - Proyectos productivos agropecuarios.
 - Fortalecimiento de la participación y organización comunitaria.
-
- La asociación de comunidades asociadas por el agua, el medio ambiente y la infraestructura de la cuenca del río Naranjo –CADISNA- realizó un inventario hídrico en el segundo semestre del año 2008 obteniéndose la siguiente información.

Fuente: ONG Ambiental (2009). *Informe de inventario hídrico de la cuenca del río Naranjo.*

