

Guatemala, 28 de diciembre, 2020.

Señor Director
Dr. Félix Alan Douglas Aguilar Carrera
Director General de Investigación
Universidad de San Carlos de Guatemala



17-02-2021

Señor Director:

Adjunto a la presente el informe final **“Determinación del Índice de Sostenibilidad de las cuencas Xayá y Pixcayá en el departamento de Chimaltenango”** con partida presupuestal **4.8.54.0.10**, coordinado por el Ing. Agr. Victor Lionel Mux Caná y avalado por el Centro Universitario de Chimaltenango de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Este informe final fue elaborado con base en la guía de presentación de la Dirección General de Investigación, el cual fue revisado su contenido en función del protocolo aprobado, por lo que este centro universitario da la aprobación y aval correspondiente.

Así mismo, el coordinador(a) del proyecto, se compromete a dar seguimiento y cumplir con el proceso de revisión y edición establecido por Digi del informe final y del manuscrito científico. El manuscrito científico debe enviarse, por el coordinador del proyecto, para publicación al menos en una revista de acceso abierto (*Open Access*) indexada y arbitrada por expertos en el tema investigado.

Sin otro particular, suscribo atentamente.

“Id y enseñad a todos”



Ing. Agr. Victor Lionel Mux Caná
Coordinador del proyecto de investigación

Firma y sello



Lie Helmer Reyes
Director del Centro Universitario de Chimaltenango



Universidad de San Carlos de Guatemala
Dirección General de Investigación
Programa Universitario de Investigación de
Cultura, Pensamiento e Identidad de la Sociedad Guatemalteca

Informe final

**“Determinación del Índice de Sostenibilidad de las cuencas Xayá y Pixcayá en el
departamento de Chimaltenango”**

Equipo de investigación

Victor Lionel Mux Caná

Nombre de investigadores

Jerónimo Marvin Tomás López.

Smaily Enrique Hernández Gil.

Guatemala, 25 de diciembre de 2020

Centro Universitario de Chimaltenango
Centro de Estudios conservacionistas CECON – USAC.

Dr. Félix Alan Douglas Aguilar Carrera

Director General de Investigación

Ing. Agr. MARN Julio Rufino Salazar

Coordinador General de Programas

Dr. José Cal

Coordinador

Programa Universitario de Investigación de
Cultura, Pensamiento e Identidad de la Sociedad Guatemalteca.

Ing. Agr. Victor Lionel Mux Caná

Coordinador Proyecto de investigación

Nombre de investigadores

Ing. For. Jerónimo Marvin Tomás López.

Ing. Civ. Smaily Enrique Hernández Gil.

Universidad de San Carlos de Guatemala, Dirección General de Investigación, 2020. El contenido de este informe de investigación es responsabilidad exclusiva de sus autores.

Esta investigación fue cofinanciada por la Dirección General de Investigación de la Universidad de San Carlos de Guatemala a través de la Partida Presupuestaria **4.8.54.0.10** durante el año 2020 en el Programa Universitario de Investigación de Cultura, Pensamiento e Identidad de la Sociedad Guatemalteca.

Contenido

1.	<i>Resumen</i>	5
2.	<i>Palabras clave</i>	5
3.	<i>Abstract and keyword</i>	6
4.	<i>Introducción</i>	7
5.	<i>Planteamiento del problema</i>	9
6.	<i>Preguntas de investigación</i>	11
7.	<i>Delimitación en tiempo y espacio</i>	12
	7.1 Delimitación en tiempo:	12
	7.2 Delimitación espacial:	12
8.	<i>Marco teórico</i>	14
9.	<i>Estado del arte</i>	21
10.	<i>Objetivo general</i>	23
11.	<i>Objetivos específicos</i>	23
12.	<i>Hipótesis</i>	23
13.	<i>Materiales y métodos</i>	24
	13.1 Enfoque y tipo de investigación:	24
	13.2 Recolección de información:	25
	13.3 Para investigación cuantitativa:.....	25
	13.4 Para investigación cualitativa:	26
	13.5 Técnicas e instrumentos:.....	26
	13.6 Operacionalización de las variables o unidades de análisis:	27
	13.7 Procesamiento y análisis de la información:	28
14.	<i>Vinculación, difusión y divulgación</i>	28
15.	<i>Productos, hallazgos, conocimientos o resultados</i> :	29
16.	<i>Análisis y discusión de resultados</i> :	53
17.	<i>Conclusiones</i>	54
18.	<i>Impacto esperado</i>	55
19.	<i>Referencias</i>	56
20.	<i>Apéndice</i>	58

“Determinación del Índice de Sostenibilidad de las cuencas Xayá y Pixcayá en el departamento de Chimaltenango”

1. Resumen

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. Actualmente las cuencas Xaya y Pixcayá que abarca municipios como Tecpán Guatemala, Comalapa, Zaragoza, Santa Cruz Balanya y Chimaltenango han sido sujetas a presiones de toda índole, desde el crecimiento poblacional per se hasta el uso desmedido y contaminación de recursos naturales como el agua, los bosques y la ausencia de medidas mitigadoras para la gestión ambiental. El objetivo de la investigación consistió en determinar los indicadores relacionados con las presiones recibidas por los ecosistemas, determinar los indicadores del estado actual de los territorios ante tales presiones y sobre todo evaluar los indicadores que corresponden a las respuestas que los conglomerados sociales le han dado a este tipo de presiones. En la presente investigación no se cumple la hipótesis, ya que el índice de sostenibilidad de cuencas obtenido para el territorio de las Cuencas Xayá y Pixcayá tiene un valor de 0.48 o el equivalente a 48%, es decir 22 puntos abajo del valor de 70 planteado en la hipótesis del presente estudio. El índice de sostenibilidad hídrica de las Cuencas Xayá y Pixcayá basada en la evaluación de los indicadores tiene un valor de 48 puntos apoyando débilmente el alcance de una Gestión Integrada de Recursos Hídricos.

2. Palabras clave

Ecología, Sustentable, Agua y Saneamiento, Chimaltenango.

3. Abstract and keyword

The PER method is a methodology for evaluating the sustainability of water resources, used to qualify water quality standards, as well as to quantify the total volume of water used by the inhabitants of a given basin, using policy instruments to do so. Currently, the Xayá and Pixcayá basins, which include municipalities such as Tecpán Guatemala, Comalapa, Zaragoza, Santa Cruz Balanya and Chimaltenango, have been subject to all kinds of pressures, from population growth per se to the excessive use and contamination of natural resources such as water and forests, and the absence of mitigating measures for environmental management. The objective of the research was to determine the indicators related to the pressures received by the ecosystems, to determine the indicators of the current state of the territories in the face of such pressures, and above all to evaluate the indicators that correspond to the responses that the social conglomerates have given to these types of pressures. This hypothesis is not fulfilled in this research, since the basin sustainability index obtained for the territory of the Xayá and Pixcayá basins has a value of 0.48 or the equivalent of 48%, that is, 22 points below the value of 70 stated in the hypothesis of this study. The water sustainability index of the Xayá and Pixcayá Basins based on the evaluation of the indicators has a value of 48 points, weakly supporting the scope of an Integrated Water Resources Management.

Ecology, Sustainable, Water and Sanitation, Chimaltenango.

4. Introducción

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.

Actualmente las cuencas Xayá y Pixcayá que abarca municipios como Tecpán Guatemala, Comalapa, Zaragoza, Santa Cruz Balanyá y Chimaltenango están sujetas a presiones de toda índole, desde el crecimiento poblacional per se hasta el uso desmedido y contaminación de recursos naturales como el agua, los bosques y la ausencia de medidas mitigadoras para la gestión ambiental. El objetivo de la investigación consistió en determinar los indicadores relacionados con las presiones recibidas por los ecosistemas, determinar los indicadores del estado actual de los territorios ante tales presiones y sobre todo evaluar los indicadores que corresponden a las respuestas que los conglomerados sociales le dan a este tipo de presiones ya sea formulando participativamente instrumentos normativos y/o aplicando medidas específicas para resolver la presión en el agua, en el suelo y el bosque.

Las cuencas de estudio tienen un alto potencial para desarrollar compensación por los servicios ambientales que presta, derivado de su recurso forestal e hídrico, sin embargo tales territorios están altamente empleados por agricultura limpia anual, en constante deterioro y sujeta a proliferación de contaminantes al río por consumo de químicos y residuos líquidos y desechos sólidos; sólo en San Juan Comalapa hay más de 22 botaderos de desechos a cielo abierto¹ y en el municipio de Chimaltenango se han contabilizado hasta 32², el 90% de su territorio está siendo explotado por diversos cultivos, por ello es de suma importancia crear procesos de negociación y compensación a través de propuestas que permitan invertir en el saneamiento ambiental y recuperación forestal en la microcuenca, para beneficio de las comunidades aledañas.

Según el Código Municipal en su artículo 68 le compete al gobierno municipal el abastecimiento domiciliario de agua potable debidamente clorada y el alcantarillado, así como la formulación y la coordinación de políticas, planes y programas relativos a la recolección, tratamiento y disposición final de residuos y desechos sólidos; por las condiciones de exclusión que han prevalecido en el país se ha vedado el acceso a los servicios públicos básicos de agua y saneamiento a un buen porcentaje de la población influyendo en esto el traslape de competencias institucionales. En los municipios objeto de estudio existe presión por los recursos naturales y la débil organización desde la sociedad civil han incidido en indicadores de salud muy precarios, que a su vez inciden en el incremento de pobreza de la población indígena y en particular de las mujeres, el Pueblo Indígena Kaqchikel que habita dicha zona cuenta con algunos de los índices de desarrollo humano más bajos de Guatemala.

¹ Fundación Iximche 2009

² Informe de la Unidad de Gestión Ambiental Municipal –UGAM- Municipalidad de Chimaltenango; 22 de diciembre de 2016.

5. Planteamiento del problema

Las cuencas de estudio tiene un alto potencial para desarrollar compensación por los servicios ambientales que presta, derivado de su recurso forestal e hídrico, sin embargo dichos territorios están altamente cubiertos por agricultura limpia anual, en constante deterioro y sujeta a proliferación de contaminantes al río por consumo de químicos y residuos líquidos y desechos sólidos; sólo en San Juan Comalapa hay más de 22 botaderos de desechos a cielo abierto³ y en el municipio de Chimaltenango se han contabilizado hasta 32⁴, el 90% de su territorio está siendo explotado por diversos cultivos, por ello es de suma importancia crear procesos de negociación y compensación a través de propuestas que permitan invertir en el saneamiento ambiental y recuperación forestal en las cuencas para beneficio de las comunidades aledañas.

Según el Código Municipal en su artículo 68, le compete a los gobiernos municipales el abastecimiento domiciliario de agua potable debidamente clorada y el alcantarillado, así como la formulación y la coordinación de políticas, planes y programas relativos a la recolección, tratamiento y disposición final de residuos y desechos sólidos; por las condiciones de exclusión que han prevalecido en el país se ha vedado el acceso a los servicios públicos básicos de agua y saneamiento a un buen porcentaje de la población influyendo en esto el traslape de competencias institucionales. En los municipios objeto de estudio existe presión por los recursos naturales y la débil organización desde la sociedad civil inciden en indicadores de salud muy precarios, que a su vez incidían en el incremento de pobreza de la población indígena y en particular de las mujeres, el Pueblo Indígena Kaqchikel que habita dicha zona cuenta con algunos de los índices de desarrollo humano más bajos de Guatemala.

³ Fundación Iximche 2009

⁴ Informe de la Unidad de Gestión Ambiental Municipal –UGAM- Municipalidad de Chimaltenango; 22 de diciembre de 2016.

En la república de Guatemala no existe un índice que mida la sostenibilidad hídrica en los territorios. Las cuencas objeto de estudio son Xayá y Pixcayá donde el crecimiento poblacional presiona los recursos naturales como el bosque y el agua; según un estudio realizado por Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza UICN, 2012, las principales fuentes de agua que abastecen en un 38% a la ciudad capital, se localizan en las partes altas de las cuencas Xayá y Pixcayá

En publicaciones relacionadas con el informe de cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo del milenio⁵ se identifican los rezagos que se tienen como país en temas ambientales sectoriales pero no lo vinculan con otras variables como lo es la Seguridad Alimentaria, la “Energía” así como con temas socioeconómicos y de política para medir de manera integrada la sostenibilidad hídrica de los territorios. En el caso de la proporción de la superficie cubierta por bosques (en porcentajes) tomando como base el año 2001 y midiendo al año 2015 se tiene una evolución negativa, ya que de 38.10% del año base se finaliza con una superficie cubierta de 33.74% al 2012⁶.

⁵ Guatemala. Secretaria de Planificación y Programación de la Presidencia -Segeplan. Informe final de cumplimiento. de los Objetivos de Desarrollo del Milenio. Guatemala: Segeplan.2015.

⁶ Grupo Interinstitucional de Monitoreo de Bosques y Uso de la Tierra (Gimbot) (2014)

6. Preguntas de investigación

-¿Qué y quien está afectando los recursos naturales y el medio ambiente en las cuencas Xayá y Pixcayá?

¿Ha existido variación en la disponibilidad de agua per cápita en el período de referencia?

¿Ha existido variación en la calidad de agua en la cuenca en el período de Registro?

¿Qué cantidad y tipo de letrinas están contaminando los mantos freáticos?

¿El uso apropiado del Suelo ha prevalecido en la cuenca objeto de estudio?

-¿Cuál es el estado actual de los recursos naturales y el medio ambiente en las cuencas Xayá y Pixcayá?

¿Cuántos desfogues de aguas residuales existen hoy en día en las cuencas de estudio y qué nivel de presión están produciendo en suelo y fuentes hídricas?

¿Cuántos botaderos a cielo abierto sin manejo están afectando los ecosistemas de las cuencas estudiadas?

¿Cuál ha sido el % de variación en cobertura forestal en los últimos años en las cuencas estudiadas?

-¿Qué acciones está impulsando la sociedad en las cuencas Xayá y Pixcayá para resolver los problemas ambientales y fortalecer sus potencialidades?

¿Existen acciones de optimización del agua para consumo humano, riego, hidroelectricidad y otros usos?

¿Existe evolución en el tratamiento y disposición del H₂O residual?

¿Qué cantidad, tipo y nivel de cobertura de plantas de tratamiento de aguas residuales PTAR están atendiendo los sistemas de agua y saneamiento?

¿Cuáles son las respuestas como esfuerzo de la Sociedad para mitigar la degradación del ambiente?

¿Existen usos energéticos del recurso hídrico?

7. Delimitación en tiempo y espacio

7.1 Delimitación en tiempo:

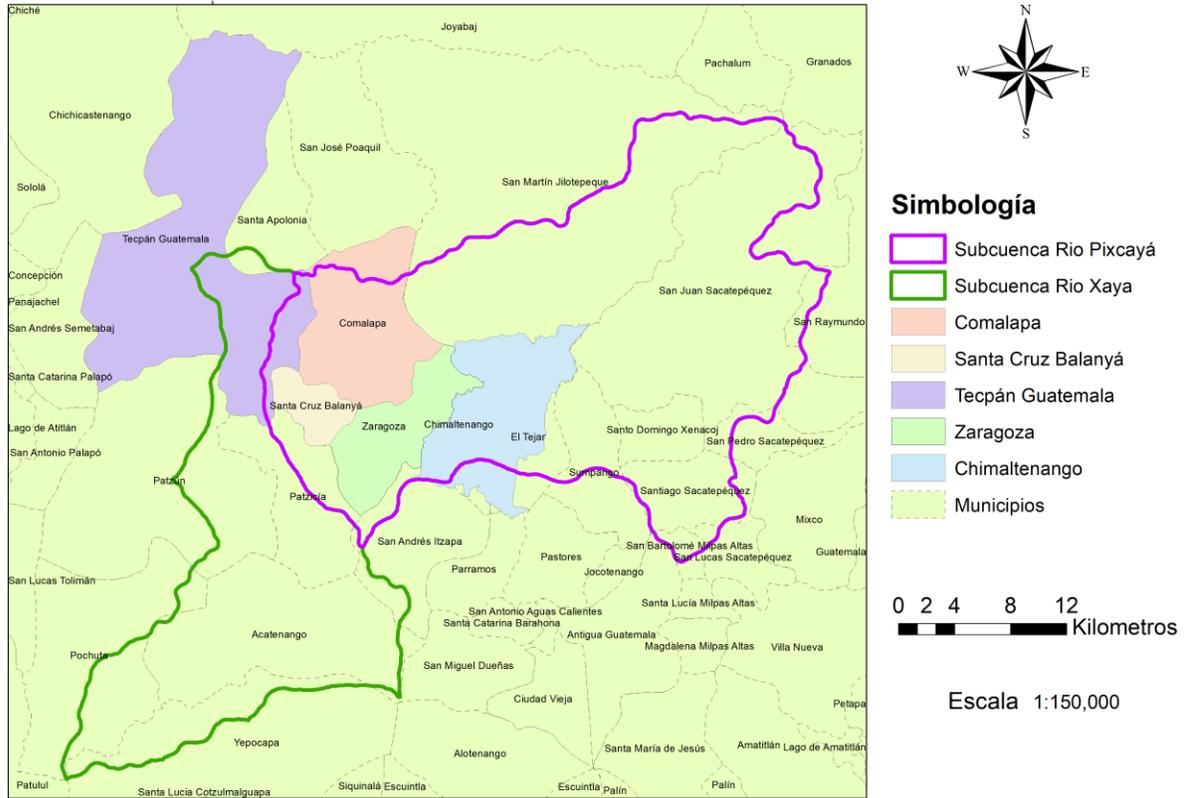
El proyecto tuvo una duración de once meses, de febrero a diciembre del año 2,020, en marzo se planificó realizar talleres participativos con autoridades municipales pero debido al tema de la pandemia del COVID 19 se aplazaron las actividades presenciales durante por lo menos tres meses, tiempo en el cual se avanzó en revisión de literatura y búsqueda de información secundaria para alcanzar los resultados previstos en la presente investigación. Respecto a una delimitación temporal se enfatizó en algunas variables con datos de los últimos 10, 20 o 30 años en temas forestales, hidrológicos y socioeconómicos respectivamente.

7.2 Delimitación espacial:

Dada la extensión territorial del área en estudio, así como de la disponibilidad de información que se ha generado alrededor de la temática, se enfatizará en evaluar datos de dos cuencas priorizadas conjuntamente entre las entidades de gobierno rectoras a nivel nacional, así como con autoridades departamentales y que son Xayá y Pixcayá, los márgenes de ambas están ubicadas aproximadamente a 83 y 30 kilómetros respectivamente de la ciudad de Guatemala con destino hacia el occidente guatemalteco. (Ilustración 1)

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

Ilustración 1: Mapa de cuenca Xaya y Pixcayá.



Fuente: Hernández Gil, E. 2020.

8. Marco Teórico

Modelo para medir la sostenibilidad: Presión – Estado – Respuesta

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 1994⁷.

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 comportamiento⁸ (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.

⁷ UNESCO, 2008. Evaluación preliminar de la aplicación y cálculo del índice de sostenibilidad de cuencas

⁸ Comisión del Desarrollo y Medio Ambiente citado en Ramírez et al, 2004: 55. Comisión Brundtland: Nuestro Futuro Común

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

Estado

EL 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, etc.

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.

Respuesta⁹

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 pueden 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/EFEECTO-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.

⁹ Chávez, E. 2008 Evaluación Preliminar de la aplicación y cálculo del índice de sostenibilidad de Cuenca -PHI - UNESCO

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.

Ventajas y Desventajas del Efecto Presión, Estado – Respuesta

Ventajas del efecto Presión, estado y Respuesta

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.

Desventajas del efecto Presión, estado y Respuesta

- 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 unas secuencias metodológicas al formular indicadores PER, son propuestas 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.

Sostenibilidad hídrica

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.

Gestión integrada de recursos hídricos (GIRH)

La Gestión integrada de recursos hídricos (GIRH) fue definida por el Comité Técnico de la Asociación Mundial para el Agua¹⁰ (GWP, por sus siglas en inglés) 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".

¹⁰ Global Water Partnership, 2003. Tool Book. Gestión Integrada del recurso hídrico en Centro América.

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.

Gobernabilidad

Se entiende por gobernabilidad a la capacidad de un gobierno de: Administrar recurso hídrico,

Se requiere conocer:

- Cantidad, calidad, ubicación y temporalidad (sistema de información)

Se requiere disponer de:

- Organización, proceso, planificación y normativa (sistema de gestión)

Proveer servicios,

Se requiere conocer:

- Demanda, oferta, capacidad de pago e inversiones necesarias (sistema de información).

Se requiere disponer de

- Organización, proceso, planificación y normativa (sistema de gestión).

Formular e implementar políticas y regulaciones efectivas,

Se requiere conocer:

- Necesidades, marco legal, recursos disponibles e inversiones necesarias (sistema de información)

Se requiere disponer de:

- Modelo de gestión, proceso, normativa y capacidad de planificación (sistema de gestión).

9. Estado del arte

La historia de los indicadores ambientales para medir la sustentabilidad inicia en la década de los años setenta, cuando la defensa del medio ambiente se convirtió en uno de los temas más importantes de las campañas y agendas políticas en distintos países. Fue precisamente en junio de 1972, durante la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente Humano, celebrada en Estocolmo, Suecia, cuando creció la convicción de que se estaba atravesando por una crisis ambiental en el mundo.

El índice de sustentabilidad de cuencas identifica políticas para preservar o mejorar la gestión del agua en las cuencas¹¹. Con este índice es posible evaluar y comparar políticas de manejo del agua en las cuencas en función de su sustentabilidad.

¹¹ Sandoval-Solís et al., 2011

En el Programa Hidrológico Internacional de la UNESCO (PHI), a través de su Programa de Hidrología, Ambiente, Vida y Políticas (HELP) (UNESCO, 2005), se contempla establecer una red mundial de cuencas para mejorar los enlaces entre hidrología y las necesidades de la sociedad. En este contexto, HELP inició la búsqueda de un índice que estuviera más acorde con su estrategia de desarrollo.

Con este propósito optó por el Índice de Sustentabilidad de Cuencas (WSI), desarrollado por los doctores Henrique Chaves y Susana Allipaz en el año 2007, en donde consideran para su formulación los factores de hidrología, medio ambiente, vida y política, con el fin de establecer una dimensión integral, que refleje el estado en el cual se encuentra la gestión de una cuenca en análisis.

Sandoval-Solís *et al.* (2011) aplicaron esta metodología para la cuenca transfronteriza del Río Grande y concluyeron que el índice hace más sencilla la evaluación, comparación e identificación de políticas adaptativas que mejoran la gestión del agua cuando existen variaciones entre diferentes criterios. Asimismo, indican que esta metodología promueve una evaluación política de la gestión del agua debido a que incorpora criterios a la medida en la estructura del índice y usa diferentes estructuras con el mismo criterio.

10. Objetivo general.

Determinar el índice de sostenibilidad de cuenca de los ríos Xayá y Pixcayá basada en la evaluación de los indicadores que apoyan el alcance de una Gestión Integrada de Recursos Hídricos.

11. Objetivos específicos

Determinar el valor de indicadores ambientales, sociales y de política “clave” que ejercen la mayor “PRESION” en la cuenca de los ríos Xayá y Pixcayá.

Determinar el valor de indicadores “clave” que evalúe la integridad ecológica y las aspiraciones humanas para conocer el ESTADO del ambiente y recursos naturales.

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.

12. Hipótesis.

En las cuencas de los ríos Xayá y Pixcayá el índice de sostenibilidad de cuenca tiene un valor positivo de 70¹² puntos, lo que significa que se contribuye con la Gestión Integrada de los recursos hídricos.

¹² El 70 es un valor generalmente aceptado en la sociedad guatemalteca, significa un criterio de “aceptabilidad” o “aprobación” a un parámetro a medir.

13. Materiales y métodos

13.1 Enfoque y tipo de investigación:

El enfoque que se empleó para la presente investigación fue una combinación de enfoque cuantitativo y cualitativo usando recolección de datos históricos de precipitación pluvial, cobertura forestal, registros de educación, salud e ingresos económicos así como información de calidad de agua relacionadas con desfogues de aguas residuales para establecer patrones de comportamiento teniendo como meta principal la construcción de teorías.

El enfoque cualitativo fue empleado en aquellos casos para evaluar el nivel de conocimiento, actitudes y prácticas relacionadas al cuidado de los ecosistemas y con énfasis en la gestión del agua y el saneamiento así como la capacidad de organizarse en conglomerados sociales para proponer normativas locales para la gestión integrada de recursos hídricos lo que sirvió para interpretar comportamientos, actitudes o valoraciones humanas, con base en descripciones detalladas de situaciones, eventos, personas, interacciones, conductas observadas y sus manifestaciones.

El enfoque mixto que se empleó en esta investigación implicó la recolección y análisis de datos cuantitativos y cualitativos, su integración y discusión conjunta, para realizar inferencias de toda la información recabada a fin de lograr un mayor y mejor entendimiento del fenómeno en estudio.

Se tuvo un tipo de investigación exploratoria, documental y correlacional para la búsqueda o profundización del conocimiento. En algunos casos se solicitaron análisis de laboratorios para conocer la calidad del agua y se solicitaron mediciones in situ para conocer caudales de algunas fuentes de agua.

Se emplearon visitas de campo para el reconocimiento de cuencas, reconocimiento de ubicación de fuentes de agua, así como reconocimiento de puntos de contaminación por aguas residuales o residuos y desechos sólidos, la población aledaña fue encuestada y se realizó en simultáneo la crítica de fuentes, entre otros.

13.2 Recolección de información:

Con la finalidad de hacer efectiva la investigación a nivel de las cuencas Xayá/Pixcayá, ubicada en el departamento de Chimaltenango, el equipo de investigadores del Centro Universitario de Chimaltenango coordinó con Técnicos de las municipalidades, en específico con Técnicos de las Unidades de Gestión Ambiental Municipal –UGAM-, así como con técnicos ministeriales presentes en cada municipio. Parte de la información de carácter social se obtuvo de comisiones de medio ambiente de algunos municipios y específicamente de las comisiones de agua y saneamiento o de las comisiones de Fomento Económico, turismo y ambiente.

13.3 Para investigación cuantitativa:

Para la obtención de algunos datos cuantitativos se enfatizaron en los municipios seleccionados en el marco de la investigación con datos de ministerios o institutos estatales. Lo anterior se hizo sobre la base de la disponibilidad del tiempo, presupuesto y recurso humano. Adicionalmente se investigó sobre datos históricos de precipitación pluvial provisto por el INSIVUMEH, así como de datos de cobertura forestal y uso apropiado del suelo provisto por INAB y el MAGA.

13.4 Para investigación cualitativa:

Los sujetos que se seleccionaron para la investigación cualitativa originalmente pertenecían a una unidad técnica municipal o a un conglomerado social organizado como parte de una comisión del COMUDE o del COCODE relacionada con temas de agua y saneamiento o de recursos naturales. Se consultó bibliografía especializada del Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo, la Comisión Económica para América Latina y El Caribe –CEPAL- así como de la Red de Agua y Saneamiento de Guatemala. Todos aquellos datos relacionados con niveles de educación, acceso a fuentes de agua y saneamiento fueron consultados de las Encuestas de Condiciones de Vida implementadas en años recientes en el país.

13.5 Técnicas e instrumentos:

Las estrategias y procedimientos que se siguieron consistieron en la revisión preliminar de literatura especializada relacionada con indicadores de desarrollo humano, así como información histórica desglosada de datos hidrológicos relacionados con series históricas de precipitación pluvial, bosques e incendios y la posterior confrontación tanto en talleres participativos, así como en grupos focales y entrevistas a personas seleccionadas integrantes de instituciones y de colectivos sociales. Para darle sustento a lo anterior se desarrollaron algunas entrevistas con entidades especializadas para conocer experiencias similares e información que pueda ser de interés en función de los hallazgos detectados. Para recolectar y registrar la información se utilizaron cuestionarios con preguntas cerradas en la mayoría de los casos.

13.6 Operacionalización de las variables o unidades de análisis:

Tabla 1

Operacionalización de las variables o unidades de análisis

Objetivos específicos	VARIABLES o unidades de análisis que serán consideradas	Forma en que se midieron, clasificaron o cualificaron
Determinar el valor de indicadores ambientales, sociales y de política “clave” que ejercen la mayor “PRESION” en la cuenca de los ríos Xayá y Pixcayá.	<ul style="list-style-type: none"> -Variación en la disponibilidad de agua per cápita por período de referencia. -Variación DBO₅ de la cuenca en el período de Registro -Uso apropiado del Suelo -Variación del índice de ingresos per cápita -Variación en el IDH, subíndice de Educación (Índice de conocimiento) 	<ul style="list-style-type: none"> -Revisión de Información estadística retrospectiva y cartográfica sobre comunidades y municipios de las cuencas Xayá y Pixcayá. -Identificación y geoposicionamiento de las fuentes de agua así como sitios de contaminación -Aforos de fuentes de agua (nacimientos y caudal principal) -Aplicación de fórmulas matemáticas sobre variaciones.
Determinar el valor de indicadores “clave” que evalúe la integridad ecológica y las aspiraciones humanas para conocer el ESTADO del ambiente y recursos naturales.	<ul style="list-style-type: none"> -Disponibilidad de agua, promedio histórico dividido entre la población en la cuenca. -DBO₅ histórico en mg/lts -% Cobertura forestal -IDH Ponderado -Marco Legal, marco institucional, manejo de la participación (L + I + P) 	<ul style="list-style-type: none"> -Revisión y análisis de registros del MSPAS, MARN, MAGA respecto a disponibilidad de agua -Revisión y análisis de la cobertura forestal. -Talleres participativos para conocer el marco legal, marco institucional y el manejo de la participación en territorios. -Aplicación de fórmulas matemáticas sobre variaciones.
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.	<ul style="list-style-type: none"> -Optimización del agua para consumo humano, riego y otros usos. - Evolución en el tratamiento y disposición del H₂O residual. -“R” Esfuerzo de la Sociedad para mitigar la degradación del ambiente (área protegida) - Variación IDH en el período. -Evolución en inversión para la GIRH R de actores y decisores 	<ul style="list-style-type: none"> -Talleres participativos y grupos focales para conocer la optimización del agua para consumo humano, riego y otros usos. -Revisión de instrumentos normativos comunitarios, municipales y/o mancomunados. -Aplicación de fórmulas matemáticas sobre variaciones.

Fuente: Elaboración propia

13.7 Procesamiento y análisis de la información:

Para investigación cuantitativa:

Para el procesamiento y análisis de la información cuantitativa se revisaron expedientes de series de datos históricos de precipitación pluvial, registros de cobertura forestal, datos de población, estadísticas socioeconómicas, así como de provisión y disposición de servicios de agua y saneamiento de las comunidades priorizadas. Todo lo anterior contrastado con datos de censos poblacionales e información socioeconómica.

Para investigación cualitativa:

Una vez desarrolladas las jornadas participativas de consulta, entrevistas, medición en campo y revisión de datos de fuentes secundarias se procedió a analizar la información transcribiéndolas a tablas de tabulación de información de tal manera de ir estructurando cuadros analíticos que posteriormente se emplearon en la aplicación de fórmulas.

14. Vinculación, difusión y divulgación

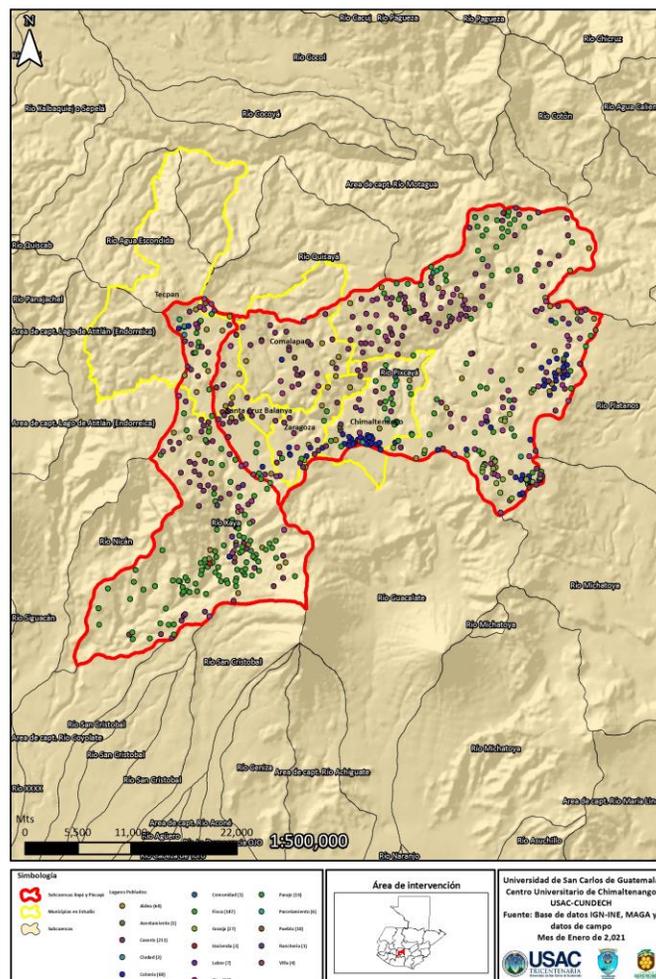
Los resultados de la presente investigación han sido socializados con concejos municipales de los cinco municipios estudiados, se ha acordado con cada uno de ellos construir participativamente un plan de seguimiento a la problemática identificada y en la medida de lo posible será de manera mancomunada, actualmente se cuentan con cartas de respaldo en los apéndices de la presente investigación en coordinación con la Asociación Civil Ambiental Xayá y con el respaldo institucional de la carrera de Agronomía del Centro Universitario de Chimaltenango.

15. Hallazgos:

15.1 Centros Poblados en el área de estudio

El área de toda la cuenca de los ríos Xayá y Pixcayá incluye: 60 aldeas, 1 asentamiento, 211 caseríos, 3 ciudades, 68 colonias, 1 comunidad, 187 fincas, 27 granjas, 2 haciendas, 7 labores, 16 parajes, 6 parcelamientos, 10 pueblos o municipios, 1 ranchería, 4 villas y 69 lugares poblados catalogados como otros. (Ilustración 2). Los municipios en estudio están señalados con línea amarilla y son: Comalapa, Santa Cruz Balanyá, Zaragoza, Tecpán Guatemala y Chimaltenango cabecera.

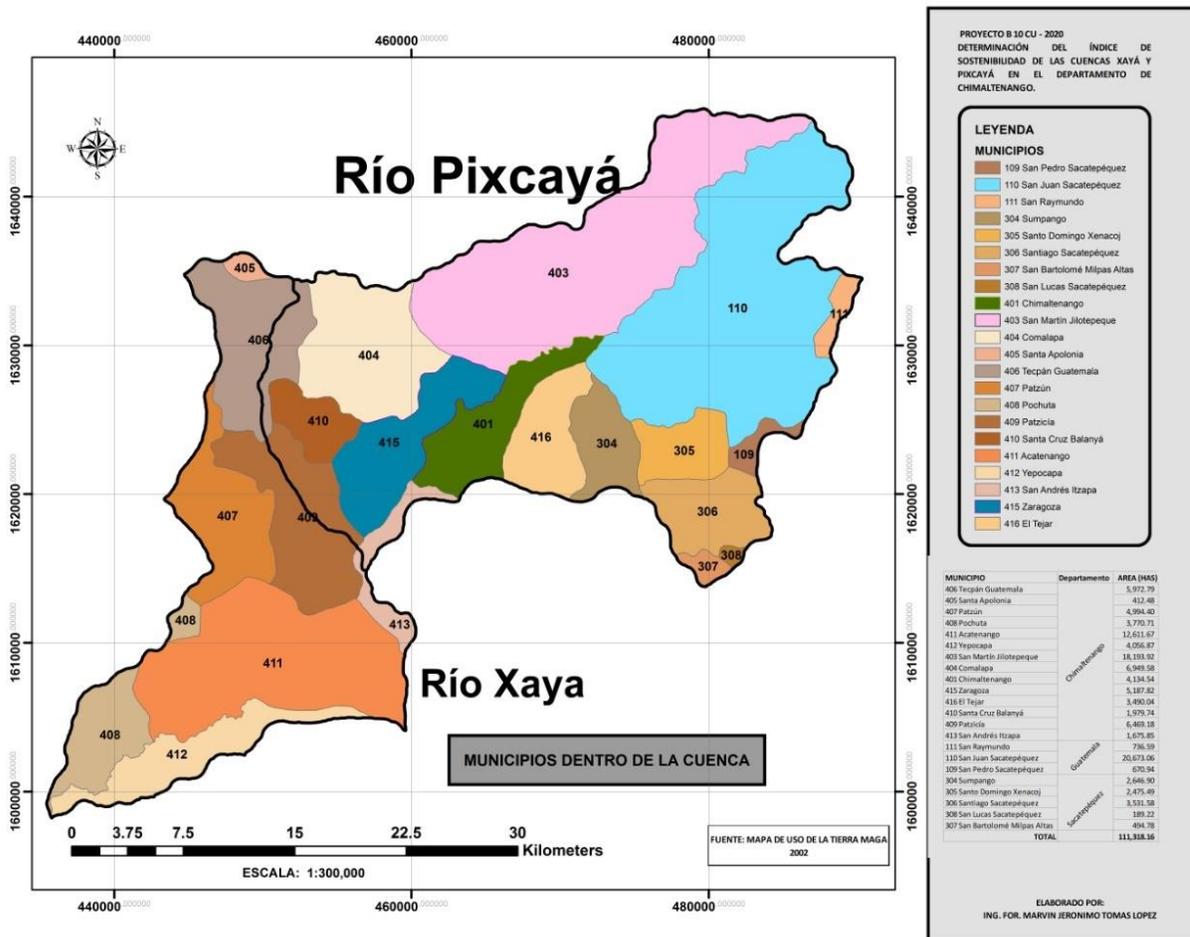
Ilustración 2: Centros poblados en el área de estudio.



Fuente: Elaboración propia con base a datos de IGN, INE, MAGA

En la categoría de pueblos se incluyen municipios del departamento de Chimaltenango (codificación 400), del Departamento de Sacatepéquez (codificación 300) y del departamento de Guatemala (codificación 100), razón por la cual estas cuencas cobran importancia estratégica en la provisión de agua a la ciudad capital.

Ilustración 3: Cuenca Xaya y Pixcayá.



Fuente: Elaboración propia con base a datos de IGN, INE, MAGA

15.2 Crecimiento Poblacional de los municipios estudiados

El crecimiento poblacional en los municipios de estudio ha sido evidente en los últimos cuarenta años con base a los datos disponibles de los censos nacionales de los años 1981, 1994, 2002 y 2018.

Tabla 2.

Total de habitantes por municipio según censos realizados por el INE.

Año	Datos estadísticos de los censos			
	1981 ^a	1994 ^b	2002 ^c	2018 ^d
Chimaltenango	27017	44696	74077	96985
Comalapa	20422	27827	35441	48597
Tecpán Guatemala	29564	41152	59859	91927
Santa Cruz Balanyá	3607	5113	6504	9479
Zaragoza	8442	12467	179008	24022
Total	89052	131255	354889	271010

Fuente: ^a(Centro Centroamericano de Población , 1982)· ^b(Instituto Nacional De Estadística, 1994)· ^c(Instituto Nacional de Estadística , 2002), ^d(Instituto Nacional de Estadística , 2019)

La mayoría de los municipios aproximadamente han triplicado su población desde el censo del año 1981 en comparación a los resultados obtenidos en el censo del año 2018. Los municipios con mayor población son Tecpán Guatemala y cabecera municipal de Chimaltenango, en tercer lugar está Comalapa, en cuarto lugar Zaragoza y el municipio más pequeño lo constituye el municipio de Santa Cruz Balanyá.

15.3 Índice De Desarrollo Humano /IDH de los municipios estudiados

El Índice de desarrollo humano (IDH) es un indicador nacido de la mano del Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) que mide el nivel de desarrollo de cada país, región, departamento o municipio, atendiendo a variables como la esperanza de vida, la educación y el ingreso per cápita.

Tabla 3.
Departamento de Chimaltenango (2002): IDH por municipio según componente

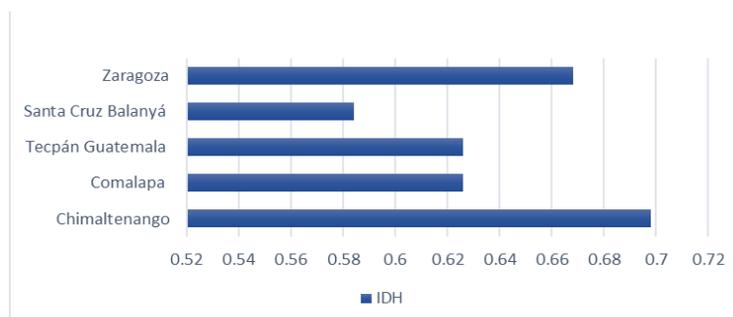
Municipio	IDH	Salud	Educación	Ingresos
Chimaltenango	0.698	0.745	0.719	0.629
Comalapa	0.626	0.614	0.678	0.586
Tecpán Guatemala	0.626	0.719	0.593	0.567
Santa Cruz Balanyá	0.584	0.413	0.746	0.595
Zaragoza	0.668	0.699	0.698	0.606

Fuente: (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, 2011)

Como puede observarse tanto en la tabla como en la gráfica, los municipios de Chimaltenango cabecera, así como Zaragoza tienen los índices de desarrollo humano más altos, San Juan Comalapa está en igualdad con Tecpán Guatemala y en última posición está Santa Cruz Balanyá.

Ilustración 4

Comparación del IDH por municipio



Fuente: Elaboración propia

Los últimos datos desglosados por municipio respecto el índice de Desarrollo Humano data del año 2002, posteriormente se generaron datos, pero a nivel de región o a nivel departamental y de esa cuenta en la tabla siguiente se puede apreciar la comparación desglosada entre IDH con base a salud, educación e ingresos respectivamente de los años 2006 y 2014. Mientras el IDH en salud muestra un dato estable, el IDH en educación tuvo una variación positiva y el IDH de ingresos una variación negativa.

Tabla 4.

Índice de Desarrollo Humano y subíndices en el departamento de Chimaltenango.

	IDH salud		IDH educación		IDH ingresos		2000	IDH		
	2006	2014	2006	2014	2006	2014		2006	2011	2014
Chimaltenango	0.412	0.416	0.432	0.472	0.609	0.589	s.d.	0.477	0.459	0.487

Fuente: (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, 2016)

El IDH en el departamento de Chimaltenango ha variado llegando a alcanzar su máximo valor en 1999 y volvió a retroceder en 2014 casi al punto inicial.

Tabla 5.

Evolución del índice de Desarrollo Humano a lo largo de los años.

AÑO	IDH
1989 ^{*a}	0.48
1994 ^{*a}	0.54
1995 ^b	0.438
1998 ^{*a}	0.58
1999 ^c	0.5938
2006	0.477
2011	0.459
2014	0.487

Fuente: ^a (Sistema de las Naciones Unidas en Guatemala , 1999), ^b (Sistema de las Naciones Unidas en Guatemala , 1998), ^c (Sistema de Naciones Unidas en Guatemala, 2001), *los datos corresponden al índice de la región central, correspondiente a Chimaltenango y Sacatepéquez.

15.4 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 de diversos órdenes: los principales son Xayá y Pixcayá, teniendo como tributarios a los ríos Pacorral, así como Pacho y Balanyá respectivamente. El río Xayá tiene una longitud de 16.83 Km dentro del municipio de Tecpán Guatemala y el río Pixcayá su mayor extensión lo tiene dentro de Zaragoza seguido de Comalapa y Chimaltenango respectivamente.

Tabla 6

Longitud de río por cuenca (Km)

Municipio	Xayá	Pixcayá	Localización
Tecpán Guatemala	16.8369	1.2000	Parte alta de la cuenca
Santa Cruz Balanyá	0	2.9189	Parte alta de la cuenca
Comalapa	0	21.6278	Parte alta de la cuenca
Zaragoza	0	25.9087	Parte alta de la cuenca
Chimaltenango	0	21.33692	Parte alta y media de la cuenca

Fuente: Elaboración propia con base a Shape de MAGA e IGN.

De acuerdo a los datos morfométricos, el área de la cuenca del río Pixcayá es de 755.83 Km² y de la cuenca Xayá es de 357.34 Km², respecto a perímetro la cuenca Pixcayá es la mayor y en cuanto a altitud la cuenca Xayá tiene el punto más alto así como el punto más bajo. La cuenca del río Pixcayá tiene la mayor longitud.

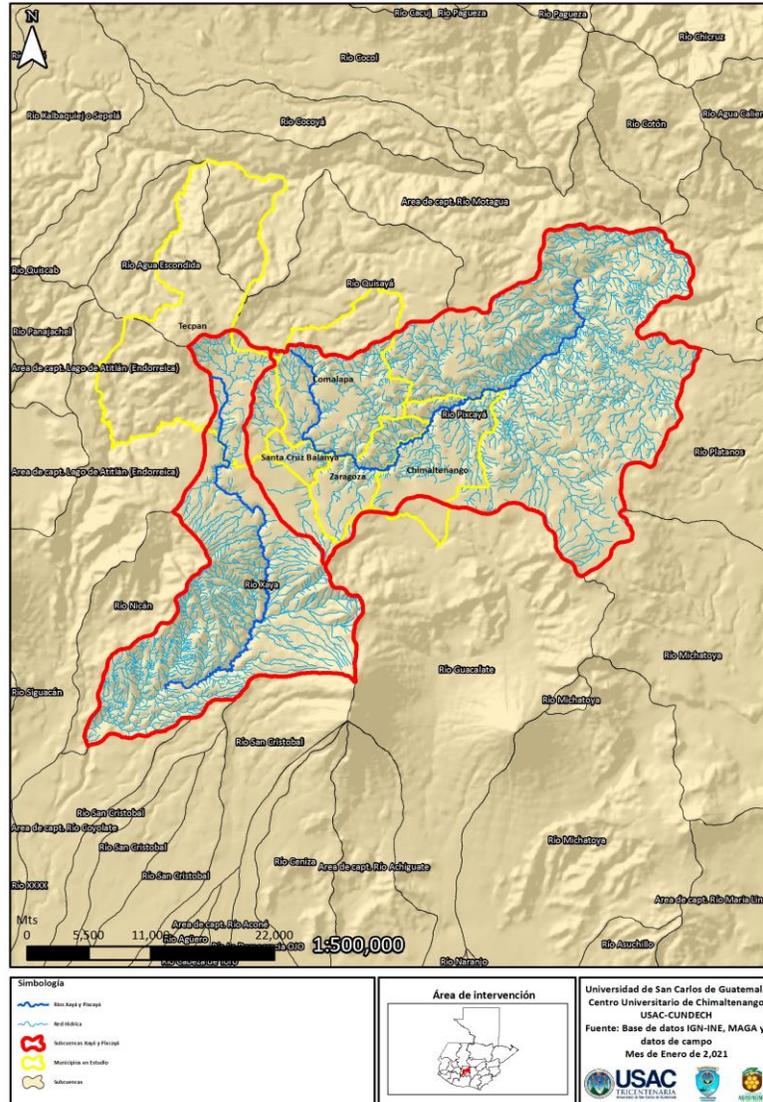
Tabla 7

Datos Morfométricos de cada subcuenca

Descripción	Xayá	Pixcayá
Área (Km ²)	357.3483	755.8333
Perímetro (Km)	118.5500	146.9335
Punto más alto (msnm)	2612	2407
Punto más bajo (msnm)	610	680
Longitud de ríos permanentes (Km)	133.6388	237.8592

Los cinco municipios están referenciados con la línea amarilla, la línea de la cuenca es color roja y la red hídrica son los colores azul intenso y celeste en cuanto a corriente principal y secundarias respectivamente.

Ilustración 5: Red hídrica en las cuencas Xayá y Pixcayá.

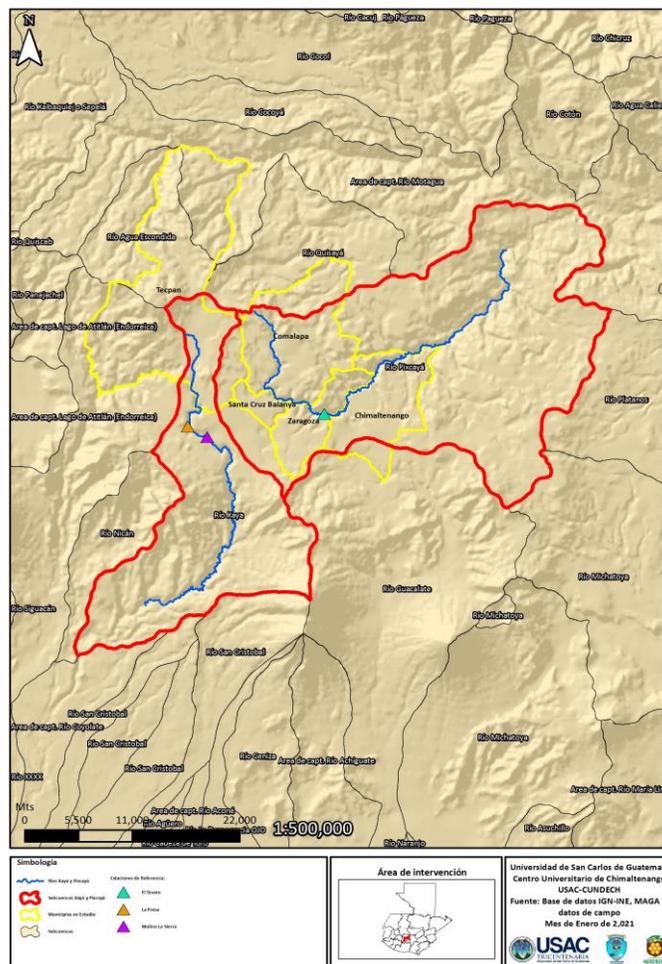


Fuente: Elaboración propia con base a datos de IGN, INE, MAGA

15.5 Hidrología: Estaciones Hidrométricas en las cuencas estudiadas (H1) Red Hídrica

Para efecto de medición de caudales se encuentran algunas estaciones hidrométricas a saber: a) Estación Molino La Sierra, pertenece al río Xayá, está ubicada a una altitud de 2041 msnm, área de 81.025 Km², pertenece a la vertiente del pacífico y drena hacia la cuenca del Coyolate, está ubicada en el municipio de Patzún, b) Estación El Tesoro, pertenece al río Pixcayá, está ubicada a una altitud de 1718 msnm, área de 159.40 Km², drena hacia la vertiente del atlántico como parte de la cuenca del río Motagua. En ambas estaciones existe la infraestructura para el transvase hacia ciudad de Guatemala.

Ilustración 6: Estaciones hidrométricas en las cuencas Xayá y Pixcayá.

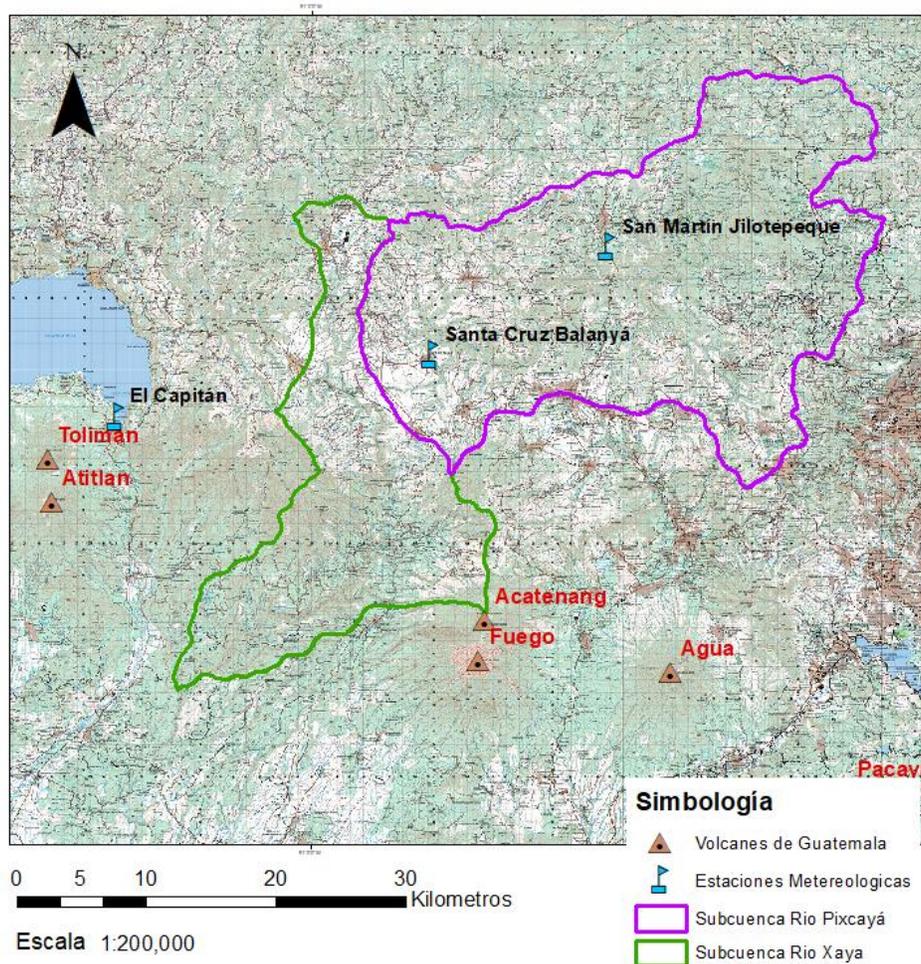


Fuente: Elaboración propia con base a datos de IGN, INE, MAGA

15.6 Hidrología: Estaciones Meteorológicas en las cuencas estudiadas (H1)

Como se puede observar en la imagen se tiene ubicado las estaciones San Martín Jilotepeque y Santa Cruz Balanyá cercanas a las cuencas del Xayá y Pixcayá de las cuales se tienen registros completos para los años de 1980 al 2018. Por criterio al observar la dinámica de la lluvia, distancia hacia la cuenca y por tener posibles alteraciones pluviales por la dinámica de los volcanes cercanos se descarta con datos representativos para las subcuencas a la estación El Capitán.

Ilustración 7: Estaciones Meteorológicas en las cuencas Xayá y Pixcayá.

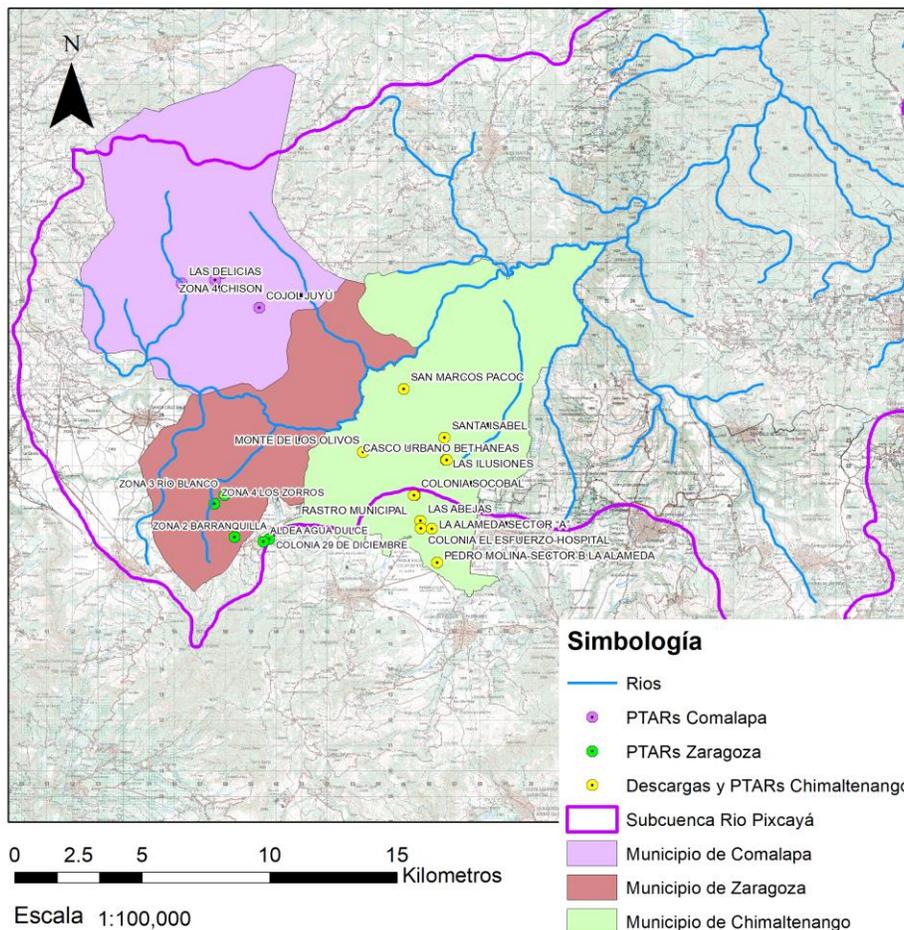


Fuente: Elaboración propia con base a datos de IGN, INE, MAGA

15.7 Hidrología: Calidad de agua en las cuencas estudiadas (H2)

Para el municipio de Chimaltenango por lo menos existen 12 puntos de descargas de aguas residuales, en Comalapa hay cuatro PTAR, en Zaragoza existen 5, Santa Cruz Balanyá 1 y en Tecpán Guatemala ninguna; las mismas constituyen puntos de contaminación ambiental al no tener la infraestructura en óptimas condiciones. Para el caso de Chimaltenango cuentan con caudales considerables rondando los dos metros cúbicos por hora hasta los 7 metros cúbicos por hora (Apéndice).

Ilustración 8: Puntos de descargas de aguas residuales en la cuenca Pixcayá.



Fuente: Elaboración propia con base a datos de IGN, INE, MAGA

15.8 Ambiente: Cobertura Forestal en las cuencas estudiadas (E)

En el caso específico para el departamento de Chimaltenango, durante el período 2010 contaba con 61,323 ha de bosque y para el periodo de 2016 se reportaba una cobertura forestal de 68,622 ha, sin embargo, para ese período 2010 al 2016, se reportaba una pérdida de cobertura forestal de 12.488 ha de bosque, y una recuperación cobertura forestal por reforestación de 19.787 ha, lo que significaba una ganancia de bosque de 7.299 ha de bosque, lo que significa 11.90% de ganancia de bosque de lo que existía con respecto al año 2010. En ese sentido, para el departamento de Chimaltenango se tiene una tasa de recuperación forestal de 1.242 ha/año, equivalente al 2.03% anual, según el bosque existente al año 2010 (GIMBUT, 2017).

Para el área de estudio, tomando como base los municipios del área de influencia de los ríos de las subcuencas Xayá/Pixcayá. Departamento de Chimaltenango, se genera el siguiente cuadro:

Tabla 8:

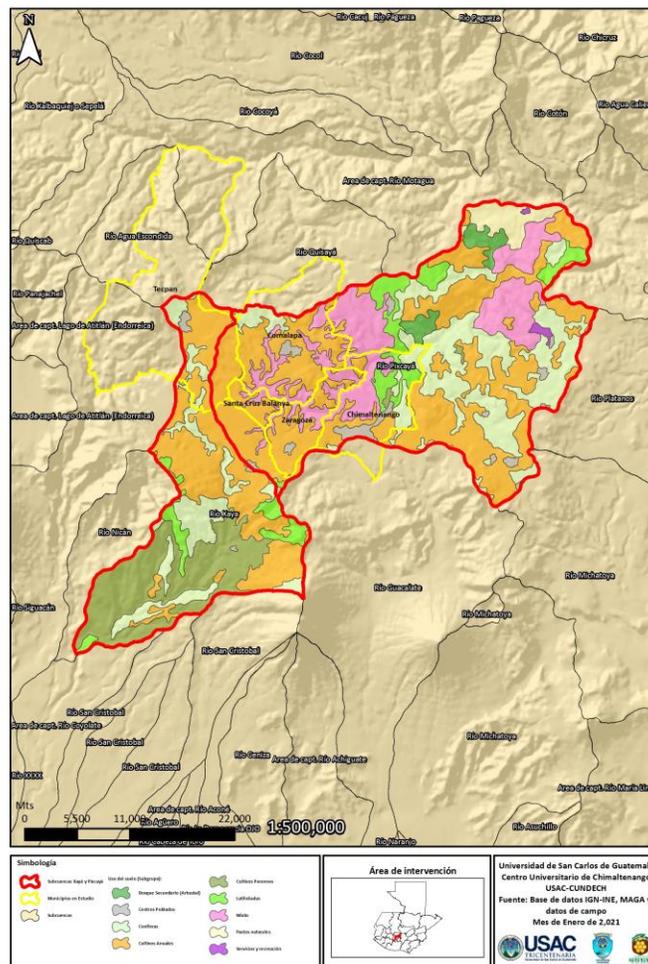
Información de Cobertura Forestal en cinco municipios del área de influencia de las subcuencas Xayá Pixcayá, en el departamento de Chimaltenango:

No.	Municipio	Cobertura 2010 (ha)	Cobertura 2016 (ha)	Cambio Neto 2010-2016 (ha)	Cambio Anual (ha/año)	Tasa de cambio anual (%)
1	Chimaltenango San Juan	1891	1970	79	14	0.71
2	Comalapa Tecpán	3068	3756	688	118	3.83
3	Guatemala Santa Cruz	9768	11447	1679	287	2.94
4	Balanyá	421	433	12	2	0.48
5	Zaragoza	1846	1885	39	7	0.36
Total		16994	19491	2497	428	8.32

Fuente: Adaptado GIMBUT (2017), Cobertura Forestal de Guatemala 2016 y Dinámica de Cobertura Forestal 2010-2016.

La situación de las áreas protegidas dentro de las cuencas Xayá y Pixcayá son de la siguiente manera: De acuerdo con la base de datos se reflejan cuatro áreas protegidas distribuidas en dos categorías de manejo: 1) Categoría 4; abarca un polígono del parque regional municipal Astillero Municipal de Tecpán. 2) Categoría 5; incluye a las reservas naturales privadas “Los Laureles”, “Finca Chirijuyú” y “El Pacaño”¹³, ninguna cuenta con Plan Maestro.

Ilustración 9: Cobertura forestal en las cuencas Xayá y Pixcayá.



Fuente: Elaboración propia con base a datos de IGN, INE, MAGA

¹³ Mediante resolución del 28 de agosto del 2020 el Consejo Nacional de Áreas Protegidas - CONAP- a través de la Dirección Regional del Altiplano central

15.9 Ambiente: Incendios forestales en las cuencas estudiadas (E)

Según el cuadro siguiente, durante 19 años se han reportado una cantidad de 4,382.34 hectáreas de bosques afectados por incendios forestales, de los cuales el municipio de Chimaltenango ha sido más afectado, con un área de 2,493.51 hectáreas, seguidas de San Juan Comalapa con 580.30 ha, Zaragoza con 564.67 ha, Santa Cruz Balanyá con 449.69 ha y por último por Tecpán Guatemala con 294.17 ha.

Tabla 9

Incendios forestales en cinco municipios de las cuencas Xayá y Pixcayá (Años 2001 al 2019).

Distribución de Área por municipio, en hectáreas y Porcentaje		
Municipio	Área Afectada (ha)	Área en %
Chimaltenango	2,493.51	56.90
Zaragoza	564.67	12.89
Balanyá	449.69	10.26
Comalapa	580.30	13.24
Tecpán G.	294.17	6.71
Total	4,382.34	100

Fuente: Elaboración propia con base a datos de Incendios Forestales (2001 al 2019), por INAB, CONAP, CONRED. 2020

Ilustración 10: Incendios en las cuencas Xayá y Pixcayá.



Fuente: Elaboración propia con base a datos de INAB, CONAP, CONRED

15.10 Política: Instrumentos de política para la GIRH¹⁴ en cuencas estudiadas (P)

A continuación, se puede observar un listado de instrumentos de política referido a inventarios hídricos, diagnósticos de las microcuencas, planes de manejo de la microcuenca. Se identifica a los actores relevantes que fueron partícipe del impulso de estos procesos, en la cuenca Pixcayá se cita a Fundación Solar y en la cuenca Xayá se cita a la Asociación Civil Ambiental Xayá - ACAX-.

Tabla 10

Instrumentos técnicos con enfoque de cuenca en los municipios de estudio

Cuenca	Municipio	Inventarios Hídricos	Diagnósticos de Microcuenca	Planes de Manejo de Microcuenca
Xayá	Tecpán Guatemala	Ninguno	2009. ACAX	2009. ACAX
	Comalapa	Ninguno	2009. Fundación Solar	2009. Fundación Solar
Pixcayá	Zaragoza	Ninguno	2009. Fundación Solar	2009. Fundación Solar
	Chimaltenango	Ninguno	Ninguno	Ninguno
	Santa Cruz Balanyá	Ninguno	2009. Fundación Solar	2009. Fundación Solar

Fuente: Elaboración propia

En la tabla anterior se visualiza un resumen por cada uno de municipios estudiados, los mismos datan del año 2009. Para el caso del municipio de Tecpán Guatemala dicho diagnostico dio lugar a la implementación de planes de acción con enfoque de cuenca que a la fecha prevalecen. Se elaboró un diagnóstico de la microcuenca Balanyá que está ubicada entre los municipios de Zaragoza, Comalapa y Santa Cruz Balanyá. Para el municipio de Chimaltenango no se identificaron instrumentos con enfoque de cuenca de períodos anteriores ni vigentes.

¹⁴ Gestión Integrada de recursos hídricos

Dado el incipiente desarrollo de la gestión del agua en los municipios, ninguno de los cinco municipios cuenta con Diagnósticos y Planes Directores en Agua y Saneamiento, así como tampoco Política Hídrica Municipal. Respecto a Reglamentos de servicios de agua y saneamiento si se cumplen algunas ordenanzas municipales en los municipios referidos a pagos simbólicos por la dotación del servicio de agua y prestación del servicio de drenaje, aunque únicamente Zaragoza reportó contar con un instrumento oficializado publicado en el Diario de Centro América.

Tabla 11

Instrumentos de política y normativa en los municipios de estudio

Cuenca	Municipio	Diagnósticos y Planes Directores en Agua y Saneamiento	Política Hídrica Municipal	Reglamentos de servicios de agua y saneamiento
Xayá	Tecpán Guatemala	No	No	Si
	Comalapa	No	No	Si
Pixcayá	Zaragoza	No	No	Si
	Chimaltenango	No	No	Si
	Santa Cruz Balanyá	No	No	Si

Fuente: Elaboración propia

En aras de contar con un soporte para el control de las infracciones y/o planificar la gestión de nuevos proyectos, reconstruir los que hayan llegado a su vida útil o regular la prestación de tales servicios todos los municipios cuentan con Dirección Municipal de Planificación -DMP-, Juzgado de Asuntos Municipales -JAM-, Oficina de Servicios Públicos Municipales -OSPM- y Unidad de Gestión Ambiental Municipal -UGAM-. Ningún municipio de las cinco cuencas con Oficina Municipal de Agua y Saneamiento, en el marco de los Consejos Municipales de Desarrollo -COMUDES- están conformadas las Comisiones de Fomento Económico, Turismo, Ambiente y Recursos Naturales y en las comunidades existes comités de agua, no Comisiones de Agua y Saneamiento.

Tabla 12

Órganos de Control en los municipios de estudio

Cuenca	Municipio	DMP, JAM, OSPM, UGAM	Oficinas Municipales de Agua y Saneamiento	COFETARN/CAS ¹⁵
Xayá	Tecpán Guatemala	Si	No	No
	Comalapa	Si	No	No
Pixcayá	Zaragoza	Si	No	No
	Chimaltenango	Si	No	No
	Santa Cruz Balanyá	Si	No	No

Fuente: Elaboración propia

Organizaciones de Sociedad Civil con financiamiento externo impulsan en los municipios iniciativas ambientales de corto alcance geográfico y temporal, la sociedad civil organizada, así como la comunidad educativa no están impulsando mejoras curriculares como estrategia de trabajo a mediano y largo plazo; incipientemente se ha constituido una red agroclimática en la cuenca Xayá y en la cuenca Pixcayá no existe.

Tabla 13

Respuesta Social en los municipios de estudio

Cuenca	Municipio	Proyectos de Sostenibilidad Ambiental	Mejora curricular con énfasis en GIRH	Constitución de redes agroclimáticas
Xayá	Tecpán Guatemala	Sí	No	No
Pixcayá	Comalapa	Sí	No	No
	Zaragoza	No	No	No
	Chimaltenango	Sí	No	No
	Santa Cruz Balanyá	No	No	No

Fuente: Elaboración propia

¹⁵ COFETARN/CAS: Comisión de Fomento Económico, turismo, ambiente y recursos naturales y Comisión de Agua y Saneamiento.

16. Resultados:

16.1 Presión

Hidrología - Indicador De Cantidad De Agua (H 1)

Utilizando los datos tabulados, se obtuvo la lluvia diaria para diferentes años, lo cual al sumar la lluvia proveniente de un año se tiene la tabla de datos de lluvia acumulados la cual nos ayuda a poder calcular la variación de la disponibilidad de agua per cápita en las cuencas de Xayá y Pixcayá para un periodo analizado (2008 a 2018), con relación al registro de lluvias anual a largo plazo (1980 a 2018). A continuación, se muestra la fórmula:

$$\Delta = \frac{Q_{2008-2018} - Q_{1980-2018}}{Q_{1980-2018}} * 100$$

Donde:

Δ es la variación de la disponibilidad de agua per cápita en el período

Q es el promedio del caudal disponible en los años indicados

Para el caso de la cuenca Xayá se utilizarán el 100% de los datos de la Estación Santa Cruz Balanyá:

$$Q_{2008-2018} = \frac{1022.04mm}{1000mm} m * 357348300 m^2 = 365,224,256.5 \frac{m^3}{año}$$

$$Q_{1980-2018} = \frac{971.86mm}{1000mm} m * 357348300 m^2 = 347,292,518.8 \frac{m^3}{año}$$

$$\Delta = \frac{365,224,256.5 - 347,292,518.8}{347,292,518.8} * 100 = 5.16\%$$

La puntuación en la variación de la disponibilidad de agua per cápita en la cuenca Xayá es de 0.75, indicando que la capacidad anual es mayor en los últimos años (entre 2008 a 2018) y por lo tanto, aumentando la capacidad de abastecer de agua a la población.

Para el caso de la cuenca Pixcayá se utilizarán el 50% de los datos de la Estación Santa Cruz Balanyá 50% de la Estación San Martín Jilotepeque:

Estación Santa Cruz Balanyá:

$$Q_{2008-2018} = \frac{1022.04mm}{1000mm} m * 357348300 m^2 * 0.5 = 182,612,118.2 \frac{m^3}{año}$$

$$Q_{1980-2018} = \frac{971.86mm}{1000mm} m * 357348300 m^2 * 0.5 = 173,646,259.4 \frac{m^3}{año}$$

Estación San Martín Jilotepeque:

$$Q_{2008-2018} = \frac{1282.34mm}{1000mm} m * 357348300 m^2 * 0.5 = 229,121,009.5 \frac{m^3}{año}$$

$$Q_{1980-2018} = \frac{1325.29mm}{1000mm} m * 357348300 m^2 * 0.5 = 236,795,064.2 \frac{m^3}{año}$$

Calculo

$$Q_{2008-2018} Total = 182,612,118.2 + 229,121,009.5 = 411,733,127.7 \frac{m^3}{año}$$

$$Q_{1980-2018} Total = 173,646,259.4 + 236,795,064.2 = 410441,323.6 \frac{m^3}{año}$$

$$\Delta = \frac{411,733,127.7 - 410441,323.6}{410441,323.6} * 100 = 0.3147\%$$

La puntuación en la variación de la disponibilidad de agua per cápita en la cuenca Pixcayá es de 0.75, indicando que la capacidad anual es mayor en los últimos años (entre 2008 a 2018) y por lo tanto, aumentando la capacidad de abastecer de agua a la población.

Los datos de lluvia fueron utilizados para este análisis debido a que se carece de datos de caudales registrados en diferentes puntos en la subcuenca y datos de dotación a los habitantes de las diferentes áreas de los municipios analizados.

b) -Hidrología -Indicador de Calidad de Agua (H2)

Se carecen de datos de esta naturaleza en los cinco municipios. Actualmente las Plantas de Tratamiento de aguas residuales están operando con débil administración, operación y mantenimiento. Por el criterio experto se le asigna un valor de 0.5

c) Ambiente -E-

Describe la presión ejercida sobre el ambiente por las actividades humanas. Este parámetro originalmente involucra dos variables: áreas agropecuarias y áreas pobladas. Sin embargo, para efectos del presente estudio se basará sobre la intensidad de uso de la tierra en las cuencas.

Únicamente el 32.27 % del total de Hectáreas cuentan con un USO APROPIADO y el restante está siendo "sobre utilizadas". En función de lo anterior le corresponde una puntuación de 0.25.

d) Indicador de Vida -L-

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

Para calcular el indicador se utiliza la siguiente formula:

Donde:

$$\Delta = \left\{ (0.589 - 0.609)/0.609 \right\} * 100 = -3.28$$

I_{i1} = Índice de Ingresos período anterior¹⁶

I_{i2} = Índice de Ingresos período bajo evaluación

Δ = Porcentaje de Cambio.

Al introducir las variables en la fórmula dio como resultado -3.28 %, lo que de acuerdo con la tabla de aplicación del WSI, significa que el puntaje es de 0.5, equivalente a un avance medio en el período estudiado.

¹⁶ Como parte de la comparación de IDH de dos períodos.

e) Indicador de Políticas -P-

Para calcular el indicador se utiliza la siguiente formula:

Donde:

$$\Delta = \left\{ (0.472 - 0.432)/0.432 \right\} * 100 = 9.25$$

IC1 = Índice de Conocimiento período anterior¹⁷

IC2 = Índice de Conocimiento período bajo evaluación

Δ = Porcentaje de Cambio.

Al introducir las variables en la fórmula dio como resultado 9.25 %, lo que de acuerdo con la tabla de aplicación del WSI, significa que el puntaje es de 0.75, equivalente a un avance excelente en el período estudiado.

16.2 Estado

a) Hidrología - **Indicador De Cantidad De Agua (H 1)**

La disponibilidad de agua (Wa) corresponde a la división entre el promedio histórico del agua disponible o escorrentía neta y la población existente de las cuencas.

Para calcular el indicador se utiliza la siguiente formula:

Donde:

$$\Delta = \left\{ (347,292,518.8 + 410,441,323.6)/89,052 \right\}$$
$$\Delta = \left\{ (757,733,842.4)/ 89,052 \right\} = 8,508.9 \text{ m}^3/\text{Habitante}$$

Al introducir las variables en la fórmula dio como resultado 8,508.9, 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.

¹⁷ Como parte de la comparación de IDH de dos períodos.

b) -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 a 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 micro cuencas. Por el criterio experto se le asigna un valor de 0.25 dada la disfuncionalidad de las PTAR.

c) 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 calcular el indicador se utiliza la siguiente formula:

Donde:

$$\Delta = \left\{ (194.91 \text{ Km}^2 / 491.17 \text{ Km}^2) \right\} * 100$$
$$\Delta = \left\{ (0.316 * 100) \right\} = 39.68\%$$

Al introducir las variables en la fórmula dio como resultado 39.68%, lo que de acuerdo con la tabla de aplicación del WSI, significa que el puntaje es de 0.75, equivalente a un avance bueno en el período estudiado.

d) Indicador de Vida -L-

El parámetro utilizado es el IDH ponderado por la población asentada los territorios para cada comunidad en el período anterior. Del cálculo efectuado con los datos disponibles resultó un valor de 0.473 (Promedio entre IDH 2,011 y 2,014 0.487+0.459); De acuerdo a la tabla de puntaje corresponde a un valor de 0.00 que se clasifica como un valor bajo de calidad de vida para estas cuencas.

e) 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 el indicador se utiliza la siguiente formula:

Donde:

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

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: Media: 0.50. b) Marco Institucional: Media, 0.5 y c) Manejo de la participación: Media, 0.5. Promedio: 0.5.

16.3 Respuesta

a) Hidrología - **Indicador De Cantidad De Agua (H 1)**

Mide la optimización que se haga en la gestión del agua tanto para consumo humano, hidroelectricidad, riego y otros usos.

La evolución o mejoras en el manejo del recurso hídrico en las cuencas 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.

b) 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 correspondiente se puede apreciar que únicamente cuatro de cinco municipios están implementando obras de infraestructura relacionados con evitar la contaminación ambiental sin embargo a pesar de estar construida no tiene la correcta administración, operación y mantenimiento. El valor es de 0.25, correspondiente a Pobre.

c) Ambiente -E-

En los cinco municipios estudiados se cuenta a nivel municipal con Direcciones municipales de Planificación en apoyo a proyectos relacionados con agua y saneamiento sin embargo de manera incipiente únicamente Tecpán Guatemala ha creado recientemente su Oficina de Agua, en el caso comunitario son únicamente comités y no existe la figura legal de una comisión de agua y saneamiento. en tres municipios cuentan con COFETARN a lo interno de los Consejos municipales de desarrollo -COMUDE-, basado en la tabla de Instrumentos para la GIRH en cuencas estratégicas el valor asignado a la respuesta de la sociedad en el tema ambiente es de Media con una puntuación de 0.5.

d) Indicador de Vida -L-

El valor obtenido del indicador de respuesta para este subíndice fue de 0.028 y está dentro del rango de 0 a 10 cuya puntuación es de 0.5. Se refiere básicamente a la variación positiva en el IDH en la cuenca en el período de estudio.

e) 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.

Para calcular el indicador se utiliza la siguiente formula:

Donde:

$$\Delta = \left\{ (G2 - G1 / G1) * 100 \right\}$$

Δ = Porcentaje de Cambio

G1 = Inversión monetaria en la cuenca en el periodo anterior

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

Para afirmar que se invierte en gestión integrada de recursos hídricos implica invertir en educación ambiental, en normativa, en difusión e institucionalización de los diversos usos del agua, así como el saneamiento incluyendo la gestión integral de residuos y desechos sólidos. El valor asignado con base a la tabla es de 0.25.

17. Análisis y discusión de resultados:

Para cuencas con mayor desarrollo regularmente se dispone de información y dada la importancia estratégica de las mismas se planifican actividades en respaldo de su conservación, usos integrados del recurso hídrico y la correcta y sólida administración, operación y mantenimiento de los sistemas multifinalitarios del agua. Para la presente investigación no se disponen de datos de calidad de agua por varias razones, el reglamento 236 – 2006 que mandata el tratamiento y vigilancia de las aguas residuales se ha venido posponiendo en más de tres ocasiones de parte de las autoridades municipales con el respaldo del gobierno central y del ministerio de ambiente y recursos naturales.

Las valoraciones menores obtenidas en la construcción de este índice están justamente vinculados con temas de calidad de agua así como con temas relacionados con la evolución del índice de desarrollo humano, sin embargo la parte de organización social así como la construcción de normativas propias para la gestión de los territorios también favorecieron la baja consecución de resultados que pudieran incrementar el valor del índice. De acuerdo con un oficio remitido por CONAP se cita la existencia de áreas protegidas en territorio de la cuenca Xayá sin embargo de cuatro áreas protegidas ninguno cuenta con los planes de manejo respectivo no digamos aquellos bosques municipales que no están bajo ninguna categoría de manejo y están siendo hoy por hoy abandonados a la suerte y contaminándose.

Tabla 14

Resultados consolidados de Presión, Estado y Respuesta

Aplicación del WSI ¹⁸ en las cuencas Xayá y Pixcayá				
	Presión	Estado	Respuesta	WSI
Indicador	<i>Puntaje</i>	<i>Puntaje</i>	<i>Puntaje</i>	
Hidro - Q	0.75	1.00	0.50	0.75
Hidro - C	0.50	0.25	0.25	0.33
Ambiente	0.25	0.75	0.50	0.50
Vida	0.50	0.00	0.50	0.33
Políticas	0.75	0.5	0.25	0.50
Resultado	0.53	0.47	0.41	0.48

¹⁸ WSI: Índice de Sostenibilidad de Cuenca

18. Conclusiones

No se cumple la hipótesis, ya que el índice de sostenibilidad de cuencas obtenido para el territorio de las Cuencas Xayá y Pixcayá tiene un valor de 0.48 o el equivalente a 48%, es decir 22 puntos abajo del valor de 70 planteado en la hipótesis del presente estudio.

El índice de sostenibilidad hídrica de las Cuencas Xayá y Pixcayá basada en la evaluación de los indicadores tiene un valor de 48 puntos apoyando débilmente el alcance de una Gestión Integrada de Recursos Hídricos.

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 escala distinta se encuentra el indicador de variación en la disponibilidad de agua 0.75; 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.

El valor de indicadores clave que abonan a la integridad ecológica y el alcance de las aspiraciones humanas en la cuenca de los ríos Xayá y Pixcayá son los referidos a indicadores de cantidad de agua (1.00), cobertura forestal (0.75) e indicadores relacionados con el marco legal, institucional y manejo de la participación (0.5), tales indicadores son el soporte de la sostenibilidad en la cuenca.

El valor de los indicadores de RESPUESTA menos valorados se refiere a la calidad del agua así como a las inversiones para la Gestión Integrada de recursos hídricos, ambos tienen (0.25) catalogándose como pobres. (0.75).

19. Impacto esperado

El impacto que se espera de la presente investigación es que las municipalidades al conocer de manera integral la metodología, así como las variables en las cuales los municipios han obtenido baja valoración puedan repensar la estrategia de intervención.

En el caso de la academia podrán reflexionar sobre la articulación de temas interdisciplinarios que pueden ser acompañados a partir de la presente temática, así como posteriormente vincular grupos estudiantiles interdisciplinarios para Ejercicio Profesional Supervisado en sintonía a los valores a mejorar en cada plan municipal.

20. Referencias

- Sandoval-Solís et al. 2011. Programa Hidrológico Internacional de la UNESCO
- UNESCO, 2008. Evaluación preliminar de la aplicación y cálculo del índice de sostenibilidad de cuencas en la cuenca hidrográfica del Canal de Panamá. Documentos técnicos del PHI LAC.
- Ferrer, J. Análisis estadístico de caudales de avenida, 1993. Madrid. Centro de Estudios y experimentación de obras públicas. CEDEX; Ministerio de Obras públicas y transportes MOPT. 42 p.
- Fernández Cirelli, A. 1999, Aprovechamiento y gestión de recursos hidráulicos, CYTED
- Martín, A. 2,002. Uso y gestión eficiente del agua en abastecimientos urbanos. Madrid, Grupo Aires. 250 p.
- “Agua y medio Ambiente, hidrología, Modelación” Año 2009. Curso del 12 al 15 de mayo, Conferencia iberoamericana de directores de Agua, CODIA.
- Metodología para la determinación de caudales en América Latina, Año 2017. Red Latinoamericana de Centros de Conocimiento de Gestión de Recursos hídricos – RALCEA- 52 p.
- López Cadenas, F. 1,998. Restauración hidrológica forestal de cuencas y control de la erosión: ingeniería medioambiental. 945 p.
- URL, IARNA (Universidad Rafael Landívar, Instituto de Agricultura Recursos Naturales y Ambiente, 2004. Caracterización y diagnóstico del mercado nacional de la leña en Guatemala y formulación de una estrategia para la gestión pública de su uso como fuente energética (Propuesta de proyecto a AGROCYT). Manuscrito no publicado.
- Un nuevo criterio para el cálculo de caudal de agua residual urbana / canal de Isabel II.
- Hernández Sampieri, R. 2,003. Metodología de Investigación. McGrawHill Interamericana Editores S. A. de C. V.
- Chávez, E. 2008 Evaluación Preliminar de la aplicación y cálculo del índice de sostenibilidad de Cuenca -PHI - UNESCO
- Global Water Partnership, 2003. Tool Book. Gestión Integrada del recurso hídrico en Centro América.

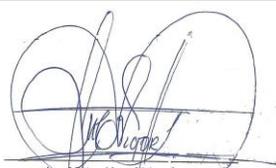
- PNUD. Diversidad étnico – cultural y desarrollo humano: La ciudadanía en un Estado
- Inventarios Hídricos de las cuencas del rio el Naranjo. FAO – MANCUERNA - CADISNA
- WINTHROP CARTY (Institute, for Government Innovation, J.F. Kennedy School of Government Harvard University)
- Comisión del Desarrollo y Medio Ambiente citado en Ramírez et al, 2004: 55. Comisión Brundtland: Nuestro Futuro Común
- Informe de la Unidad de Gestión Ambiental Municipal –UGAM- Año 2016 Municipalidad de Chimaltenango.
- Informe final de cumplimiento. de los Objetivos de Desarrollo del Milenio. SEGEPLAN, Guatemala. 2015 Guatemala. Secretaria de Planificación y Programación de la Presidencia.
- Grupo Interinstitucional de Monitoreo de Bosques y Uso de la Tierra (GIMBOT) 2014
- Centro Centroamericano de Población . (1982). IX Censo de Población de Guatemala 1981. Guatemala : Centro Centroamericano de Población .
- Instituto Nacional de Estadística. (2002). Censo Nacional Xi de población VI de habitación. Guatemala: INE .
- Instituto Nacional de Estadística. (2019). XII Censo nacional de población y VII de vivienda . Guatemala: INE.
- Instituto Nacional De Estadística. (1994). X Censo de Población y V de habitación. Guatemala : INE.
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. (2011). Cifras para el desarrollo humano. Guatemala: Serviprensa, S.A.
- GCI, 2018. Evaluación preliminar de factores del uso de la tierra, causas y agentes de deforestación y degradación de bosques en Guatemala. Estrategia Nacional de Reducción de la Deforestación y Degradación de Bosques en Guatemala (ENDDBG) bajo el mecanismo REDD+. Grupo de Coordinación Interinstitucional (MARN, MAGA, INAB y CONAP). Actualizado al 15 de enero de 2018. Con el apoyo técnico y financiero del BID y FCPF. Guatemala.
- GIMBUT. (2019). Cobertura Forestal de Guatemala 2016 y Dinámica de Cobertura Forestal 2010-2016.

21. Apéndice

Listado de los integrantes del equipo de investigación (en una sola hoja)

Tabla 15

Listado de investigadores

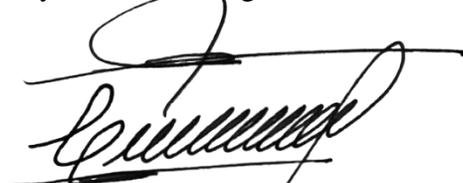
Contratados por la Dirección General de Investigación					
Nombre	Categoría	Registro de Personal	PAGO DIGI		FIRMA
			SI	NO	
Victor Lionel Mux Caná	Coordinador	20141848		X	
Jerónimo Marvin Tomás López	Investigador	20190722		X	
Smaily Enrique Hernández Gil	Investigador	20200970		X	

Guatemala 28 de diciembre de 2020



Nombre y firma Coordinador(a)

Proyecto de Investigación



Nombre y firma Coordinador(a)

Programa Universitario de Investigación



MARN
Salazar Pérez
General de Programas
USAC

Nombre y firma

Coordinador General de Programas

Apéndice 3: Descargas de Aguas Residuales en el municipio de Chimaltenango¹⁹

Tabla 16

Descargas de aguas residuales en el departamento de Chimaltenango

No.	Descarga	Descripción
01	Monte de los Olivos	Es un tubo de 08 pulgadas, la planta de tratamiento se encuentra destruida, el horario crítico de los caudales es de 10 de la mañana a 12 del día, el agua tiene como destino final un zanjón y se lixivia en el camino a un kilómetro ya no hay evidencias del agua pero se observó el cambio de la coloración del suelo por la presencia de grasas y aceites y presenta un caudal medido a través de recipientes de <u>3.6 metros cúbicos por hora</u> , las mediciones de caudal se realizaron durante 06 horas seguidas.
02	San Marcos Pacoc	Es un tubo de 08 pulgadas, de momento están conectados nada más 50 hogares y la planta de tratamiento se encuentra en construcción, al finalizarla estarán conectados 110 hogares, el caudal medido es de <u>1.96 metros cúbicos por hora</u> , el cual fue medido a través del uso de recipientes durante 06 horas continuas, el agua residual sigue un camino hacia un zanjón donde se lixivia y a 0.8 kilómetros desaparece pero al realizar el caminamiento se pudo observar que en ese trayecto el suelo cambia de coloración, se pudo observar la presencia de grasas y aceites, asimismo se observó la existencia excesiva de residuos de jabones.
03	Santa Isabel	En el lugar existe una planta de tratamiento que esta sin usarse, solamente se usa un canal que forma parte de la planta de tratamiento, a dicha tubería están conectados alrededor de 150 hogares, el horario crítico del caudal es de 8 a 9:30 horas, el caudal fue medido a través de recipientes y se calculó un <u>volumen de 2.00 metros cúbicos por hora</u> , dicho cálculo durante 06 horas continuas, el agua residual se une a un río que nace en finca la joya que tiene como destino final el río Xayá Pixcayá, las aguas residuales provenientes en este punto corresponden al sector no.1 ya que la aldea santa Isabel está dividida en 04 sectores, se pudo observar que se tratan de aguas de tipo domestico ya que los comercios en el lugar son

¹⁹ UGAM, 2018; Descripción de descargas y caudales de aguas residuales del municipio de Chimaltenango

		escasos y los pocos comercios se ubican en los otros sectores que aún no cuentan con un sistema de alcantarillado.
04	Rastro Municipal	<p>En el lugar de la medición de caudal y toma de muestras se juntan 02 descargas, una que viene de la parte alta de colonia Socobal y la otra que es una de las más grandes del municipio, se observó que dentro de la descarga más grande se encuentran conectados más de 2,000 hogares de las zonas 03 y 04 de Chimaltenango, así como también colonias y parte de la aldea buena vista sur, al momento de realizar la toma de muestras y la medición de caudales se pudo observar la existencia de distintos animales muertos dentro de la tubería la cual es un tubo de 42 pulgadas de concreto y del mismo modo se observó el aumento del caudal en horario de 10 de la mañana a 12 del día, para la medición de este caudal por la intensidad y cantidad de agua vertida se utilizó el método de la tabla en la cual se utilizó una tabla de 1.50 metros de largo por 40 cms de alto y 1 pulgada de grosor, la cual fue superada en 1 minuto y fue rebalsada en 10 segundos a una altura de 5 centímetros, lo cual al relacionarlo con el ancho y grosor de la tabla se tiene que $0.05\text{mts} \times 0.025\text{ mts} \times 1.5\text{ mts} = 0.001875$ metros cúbicos por segundo lo cual al multiplicarlo por 3600 segundos con los que cuenta una hora se obtiene que en dicho lugar existe un caudal aproximado de <u>6.75 metros cúbicos por hora</u>, esta medición se practicó durante 05 veces en el mismo lugar en diferentes horarios pudiendo observar de este modo el aumento del caudal en horario de 9 a 11 de la mañana y esto debido a que según versiones de vecinos y personas es que en este horario las amas de casa se ponen a lavar ropa, asimismo el efluente formado por esta descarga de aguas residuales recorre gran parte del municipio de Chimaltenango se une en el lugar denominado Presidios junto con aguas residuales del municipio de San Andrés Itzapa las cuales descargan en el rio negro o la virgen que a su vez forma parte de la cuenca Guacalate.</p>
05	Casco Urbano	<p>La descarga identificada como Casco urbano se encuentra ubicada dentro del lugar conocido como barranco Matuloj y a este punto de descarga van a dar las aguas residuales provenientes de las zonas 02, 03 y parte de la zona 01 del casco urbano de Chimaltenango, dichas aguas ya se encuentran canalizadas en un tubo de PVC de 42 pulgadas, la medición del caudal se realizó durante un periodo seguido de 3 horas y se observó que el caudal aumento en horario de 11:00 a 13:00 horas y luego de varias mediciones se pudo obtuvo un caudal <u>promedio de 4.23 metros cúbicos por hora</u>, ya que se realizó la medición de un recipiente con capacidad de 20 litros, el cual se llenaba en 17 segundos lo cual al realizar la relación de volumen y tiempo se obtuvo que</p>

		<p>el caudal era de 1.176 litros por segundo y al realizar la multiplicación de 3600 segundos que tiene una hora se obtuvo un resultado de 4233 litros por hora y al momento de realizar la división entre 1000 litros que tiene un metro cúbico se obtuvo que el caudal promedio era de 4.23 metros cúbicos; del mismo modo se pudo observar que dentro de la tubería llegaban varios animales muertos, restos vegetales, restos de materiales de construcción, entre otros materiales, asimismo se observó que la mayor hora de aparición de espuma en el agua es en el horario en donde aumenta el caudal, el efluente formado por esta descarga se pasa por el río del astillero comunal denominado Río Claro y 8 kilómetros después se une al río Xayá Pixcayá.</p>
06	Las Ilusiones	<p>Al igual que la descarga anteriormente descrita, la descarga de aguas residuales denominada Las Ilusiones se encuentra ubicada dentro del barranco denominado Matuloj y presenta características similares en cuanto a caudal y contenido de materiales dentro de dicho efluente y del mismo modo se encuentra canalizada dentro de un tubo de PVC de 42 pulgadas, el cual al realizarle la medición de caudal durante 04 horas continuas se obtuvo que dicha descarga cuenta con un caudal de 3.13 metros cúbicos por hora y el aumento de caudal se da en horario de 9:00 a 11:00 de la mañana, el cálculo para este caudal se realizó de la misma forma a la descarga anterior; y dicha agua residuales es proveniente de varias colonias denominadas Colonias Las Ilusiones y parte de la Colonia San Rafael y parte de la zona 02 del municipio de Chimaltenango, asimismo esta descarga se une a la descarga del casco urbano formando un efluente que se une al río de finca la joya y 8 kilómetros después de su origen se unen al río Xayá Pixcayá, dentro de esta descarga se pudo observar que presentaba menor cantidad de espuma de jabón pero se observó que presentaba mayor cantidad de sedimentos.</p>
07	Bethaneas	<p>La descarga descrita como Bethaneas se encuentra ubicada a pocos metros de las descargas anteriormente descritas dentro del barranco Matuloj, presenta un caudal no tan significativo pero según monitoreos realizados en el lugar se pudo observar que en horario de 6:00 a 8:00 de la mañana las aguas descargadas presentan un color rojizo y un aroma característico a sangre por lo que se consideró de importancia su análisis, por lo que al realizar la toma de muestras y medición de caudales se obtuvieron los datos que se describen, al momento de muestrear se pudo observar que el agua era de color rojizo y un olor muy fuerte a sangre, pero después de las 8 de la mañana el agua comenzó a presentar otro color grisáceo y comenzó a presentar gran presencia de espuma y asimismo comenzó a presentar un aumento en el caudal y</p>

		<p>desde ese momento comenzó a realizarse la medición del mismo a través de un recipiente con capacidad de 20 litros el cual durante las 04 horas de medición tardo en promedio 48 segundos en llenarse y de lo cual se obtuvo que presentaba un caudal de 0.41 litros por segundo lo cual al relacionarlo con los 3600 segundos con los que cuenta una hora de tiempo se obtuvo que presenta un caudal de 1476 litros por hora y al realizar la división entre 1000 que son los litros que contiene un metro cubico de agua se obtuvo que la descarga en mención presenta un caudal de <u>1.48 metros cúbicos por hora</u> y que es proveniente de Las colonias San José Betania y Villas Betania ubicadas en las zonas 02 y 06 del municipio de Chimaltenango respectivamente, asimismo la descarga se une a las anteriormente descritas formando un efluente que se une al rio de finca la joya el cual termina en el rio Xayá Pixcayá 8 kilómetros después de su descarga.</p>
08	La Alameda Sector "A"	<p>La descarga ubicada en el sector "A" del parcelamiento la Alameda se encuentra ubicada dentro de un barranco que a su vez es utilizado como basurero o vertedero clandestino y la descarga se ubica a 04 metros de altura del suelo y es vertida a través de un tubo de 16 pulgadas de diámetro, por lo que tanto para la toma de muestras y para la medición de caudales fue necesario ubicar un punto de muestreo y establecimiento de un punto para la toma de caudales a través de recipientes y a través del uso de flotadores, por lo que al momento de medir caudales se obtuvo que el recipiente con capacidad de 20 litros se tardaba en llenar 32 segundos con lo cual al realizar los cálculos respectivos y al obtener el promedio de las mediciones se observó que en el lugar se contaba con un caudal de 0.63 litros por segundo y al relacionar el tiempo y el volumen de metros cúbicos se obtuvo que en dicha descarga se contaba con un <u>caudal promedio de 2.27 metros cúbicos por hora</u> y el efluente formado se une al rio la virgen por la parte noreste del municipio de Chimaltenango, del mismo modo se pudo observar que en dicho efluente son depositados desechos sólidos y otros contaminantes que hacen que el agua se encuentre más contaminada; por ultimo cabe mencionar que la medición de caudal se realizó durante 04 horas seguidas, pudiendo observar que el horario critico de las descargas es de 10 de la mañana a 12 del día, que es el horario en el cual el caudal aumento significativamente.</p>
09	Colonia El esfuerzo-Hospital	<p>La descarga ubicada en la colonia San Simón está formada por aguas provenientes de colonia el esfuerzo y por aguas provenientes del hospital nacional de Chimaltenango, asimismo se pudo observar que dicha descarga cuenta con un disipador de fuerzas ya que en su momento socavaba terrenos vecinos, asimismo dicha descarga se encuentra a una</p>

		<p>profundidad aproximada de 22 metros del nivel del suelo y por la cantidad de agua vertida en el lugar, al momento de realizar la medición del caudal esta realizo con la ayuda de una tabla de madera de 1.75 metros de largo por 40 cms de alto y 1 pulgada de grosor, la cual fue superada en 1 minuto y fue rebalsada en 50 segundos a una altura de 2 centímetros, lo cual al relacionarlo con el ancho, grosor de la tabla y altura del rebalse del agua se tiene que $0.03\text{mts} \times 0.025 \text{ mts} \times 1.75 \text{ mts} = 0.0013$ metros cúbicos por segundo lo cual al multiplicarlo por 3,600 segundos con los que cuenta una hora se obtiene que en dicho lugar existe un caudal aproximado de <u>4.68 metros cúbicos por hora</u>, dicho efluente formado por la descarga en el lugar sigue su rumbo hacia el rio negro y del mismo modo descarga en la parte noreste del municipio de Chimaltenango, del mismo modo se pudo observar que durante la medición del caudal que fue medido durante 06 horas seguidas, el aumento del mismo se registró en horario de 9 a 11 de la mañana.</p>
10	Las Abejas	<p>La descarga identificada como Las abejas se ubica en un sector aledaño a colonia El Socobal, en dicho lugar se descargan las aguas residuales de varias colonias, entre ellas la joyita, las abejas y cierto sector de la colonia El Socobal, al momento de realizar la toma de muestras y la medición de caudales se pudo observar que las aguas residuales ya se encontraban entubadas y habían sido dirigidas hacia una planta de tratamiento de aguas residuales que aún se encontraba en construcción, por las características visuales del agua muestreada y por información proporcionada por los lugareños se determinó que las aguas del lugar son de naturaleza doméstica, asimismo la medición del caudal se realizó durante 06 horas seguidas pudiendo determinar que el aumento del caudal se registró en horario de 1 a 3 de la tarde respectivamente y se obtuvo que en el lugar un recipiente con capacidad de 20 litros tardaba en llenarse aproximadamente 34 segundos, por lo que al realizar los cálculos respectivos se obtuvo que la descarga era de aproximadamente 0.59 litros por segundo y al realizar la multiplicación respectiva por los 3600 segundos que contiene una hora se obtuvieron que la descarga cuenta con 2570 litros por hora, los cuales al ser divididos por 1000 litros que contiene un metro cubico, se obtiene que en el lugar existe un caudal aproximado de <u>2.57 metros cúbicos por hora</u> y el efluente generado en esta descarga tiene como destino final el rio la virgen, solo que a diferencia de las demás descargas esta descarga se ubica en dirección sureste.</p>
11	Pedro Molina-Sector B La Alameda	<p>La descarga ubicada en los límites del sector “B” del parcelamiento La Alameda y la Escuela Normal Pedro Molina fue tomada en cuenta ya que a dicho sistema de drenaje se</p>

		<p>encuentran conectados alrededor de 400 hogares de dicho sector y del mismo modo se encuentra conectado el drenaje de la Escuela Pedro Molina, dicha escuela cuenta con una comunidad educativa aproximada de 2000 estudiantes, por lo que al momento de realizar la toma de muestras y de realizar la medición de caudales se pudo constatar que en dicho lugar existe una planta de tratamiento que se encuentra funcionando actualmente y que de acuerdo a su estructura cuenta con tratamiento primario para aguas residuales, asimismo se determinó que la descarga está formada solamente por aguas de naturaleza doméstica y del mismo modo se determinó durante las 06 horas de medición de los caudales que el horario crítico de las descargas es de 9 a 11 de la mañana y que al momento de la medición de caudales se determinó que el efluente es descargado hacia el río La Virgen ubicado en Los Aposentos Chimaltenango y que la descarga se realiza a través de un tubo de 8 pulgadas de concreto por lo que dicha medición se realizó con la ayuda de un recipiente con capacidad de 20 litros el mismo que se tardaba en llenar aproximadamente 64 segundos, obteniendo de este modo un volumen de 0.36 litros por segundo, lo cual al multiplicarlo por 3600 segundos que forman una hora se obtuvo que en el lugar existe un caudal de 1241 litros por hora que al realizar la conversión respectiva a metros cúbicos se obtuvo que en el lugar existe un caudal aproximado de <u>1.24 metros cúbicos por hora.</u></p>
12	Colonia Socobal	<p>La descarga ubicada junto a la descarga denominada como Rastro Municipal procede principalmente de la parte alta de la colonia Socobal y es generada por aproximadamente 300 hogares conectados al sistema y es descargada a través de un tubo de concreto de 8 pulgadas la cual desde su origen hacia su unión con la descarga del Rastro Municipal cuenta con una distancia de 4 metros aproximadamente por lo que al momento de realizar la medición de caudales por las situaciones de acceso se utilizó un recipiente con capacidad de 20 litros el cual tardó en llenarse 47 segundos, obteniendo de este modo un volumen de agua de 0.54 litros por segundo y al multiplicarlo por 3600 segundos se obtiene que existía en el lugar 1945.5 litros por hora, lo cual al realizarle la conversión a metros cúbicos, se obtuvo que en el lugar existe un caudal aproximado de 1.53 metros cúbicos por hora, la naturaleza de la descarga es doméstica y al igual que la descarga del Rastro Municipal recorre gran parte del municipio de Chimaltenango se une en el lugar denominado Presidios junto con aguas residuales del municipio de San Andrés Itzapa las cuales descargan en el río negro o la Virgen que a su vez forma parte de la cuenca Guacalate. .</p>

Apéndice 4: Tablas de toma de decisión para Presión, Estado y Respuesta

Presión

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, con relación al 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

Parámetro: Variación de la disponibilidad de agua per cápita en el periodo (m³/persona/año)

NIVEL	PUNTUACION
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 a partir de datos de Chávez, E. 2008

b) -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 a 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.

NIVEL	PUNTUACION
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 a partir de datos de Chávez, E. 2008

c) Ambiente -E-

Tabla x

Variación en el uso apropiado del suelo en el período de estudio

NIVEL	PUNTUACION
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 a partir de datos de Chávez, E. 2008

d) 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 x

Variación del índice de ingresos per cápita en la cuenca en el periodo²⁰

NIVEL	PUNTUACION
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 a partir de datos de Chávez, E. 2008

e) 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.

²⁰ Con base a la Tabla del índice de Desarrollo Humano desglosado: variable ingresos.

Tabla x

Variación del índice de educación en la cuenca en el periodo

NIVEL	PUNTUACION
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 a partir de datos de Chávez, E. 2008

Estado

a) Hidrología - **Indicador De Cantidad De Agua (H 1)**

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

Tabla X

Disponibilidad per cápita de agua en la cuenca superficial y subterránea ($m^3/persona/año$) = W_a

NIVEL	PUNTUACION
$W_a = < 1,700$	0.00
$1700 < W_a < 3400$	0.25
$3400 < W_a < 5100$	0.5
$5100 < W_a < 6800$	0.75
$W_a > 6800$	1.00

Fuente: elaboración propia a partir de datos de Chávez, E. 2008

b) -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 a 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 micro cuencas.

Tabla x

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

NIVEL	PUNTUACION
> 10	0.00
5 < DBO5 < 10	0.25
3 < DBO5 < 5	0.5
1 < DBO5 < 3	0.75
1 < DBO5	1.00

Fuente: elaboración propia a partir de datos de Chávez, E. 2008

c) 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).

Tabla X

Recursos naturales existentes (Cobertura Forestal)

NIVEL	PUNTUACION
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

d) 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 X

IDH ponderado de cuenca en el periodo anterior

NIVEL	PUNTUACION
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 a partir de datos de Chávez, E. 2008

e) 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.

Tabla X

Variación del índice de educación en la cuenca en el periodo

NIVEL	PUNTUACION
Muy Pobre	0.00
Pobre	0.25
Media	0.5
Buena	0.75
Excelente	1.00

Fuente: elaboración propia a partir de datos de Chávez, E. 2008

Respuesta

a) Hidrología - **Indicador De Cantidad De Agua (H 1)**

Mide la optimización que se haga en la gestión del agua tanto para consumo humano, hidroelectricidad, riego y otros usos.

Tabla X

Optimización en la gestión del agua

NIVEL	PUNTUACION
Muy Pobre	0.00
Pobre	0.25
Media	0.5
Buena	0.75
Excelente	1.00

Fuente: elaboración propia a partir de datos de Chávez, E. 2008

b) Hidrología - **Indicador de Calidad de Agua (H2)**

Mide las acciones 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 x

Evolución en el tratamiento y disposición de aguas residuales en la cuenca en el período

NIVEL	PUNTUACION
Muy Pobre	0.00
Pobre	0.25
Media	0.5
Buena	0.75
Excelente	1.00

Fuente: elaboración propia a partir de datos de Chávez, E. 2008

c) 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).

Tabla

Evolución en la capacidad de organizarse y planificar en la cuenca en el período

NIVEL	PUNTUACION
Muy Pobre	0.00
Pobre	0.25
Media	0.5
Buena	0.75
Excelente	1.00

d) Indicador de Vida -L-

Para este subíndice se utiliza como parámetro la variación del IDH durante el período de estudio.

Tabla X

Variación del IDH en la cuenca en el periodo

NIVEL	PUNTUACION
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 a partir de datos de Chávez, E. 2008

e) 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 X

Evolución en la inversión en la gestión integrada de los recursos hídricos –GIRH-

NIVEL	PUNTUACION
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 a partir de datos de Chávez, E. 2008