



Facultad de
Posgrado

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE POSTGRADO

MAESTRÍA EN GESTIÓN INTEGRAL DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS

**“ÍNDICE DE ESCASEZ DE AGUA EN LA MICROCUENCA DEL RIO
ITAMBI, SUBCUENCA DEL RIO AMBI”**

Trabajo de Investigación previo a la obtención del Título de Magíster en Gestión Integral
de Cuencas Hidrográficas

AUTOR:

Ing. Oscar Fabián Clavijo Garzón

DIRECTOR:

Ing. Darío Paúl Arias Muñoz MSc.

IBARRA - ECUADOR

2024

DEDICATORIA

Este trabajo de grado está dedicado a mi familia: Juan, Axel y mi esposa Conchita, quienes han sido testigos y apoyo de este trabajo y proceso de titulación.

A mis padres por sus consejos y sabiduría que han sabido guiarme por el buen camino y que de alguno u otra manera han sumado esfuerzos durante la ejecución de este trabajo de grado.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por permitir que mis anhelos se vayan plasmando día a día.

A toda mi familia por todo su apoyo incondicional durante este proceso de formación.

A la Universidad Técnica del Norte, al Instituto de Posgrado y a su personal docente y administrativo, por ser un pilar principal en mi formación profesional.

Un especial agradecimiento a mi tutor MSc. Darío Paúl Arias y asesor MSc. Oscar Rosales, quienes con su experiencia y conocimiento me han sabido guiar y brindar su conocimiento y acompañamiento en este trabajo de titulación.



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA**

**AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA
UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD	1002430898		
APELLIDOS Y NOMBRES	Oscar Fabián Clavijo Garzón		
DIRECCIÓN	Jorge Regalado 04-50 y 10 de agosto		
EMAIL	oscarclavijo@yahoo.es		
TELÉFONO FIJO		TELÉFONO MÓVIL:	0981882284

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	“Índice de Escasez de Agua en la Microcuenca del Río Itambi, Subcuenca del Río Ambi”
AUTOR (ES):	Oscar Fabián Clavijo Garzón
FECHA:	24/06/2024
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	<input type="checkbox"/> PREGRADO <input checked="" type="checkbox"/> POSGRADO
TITULO POR EL QUE OPTA	Maestría en Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas
TUTOR/ASESOR	Ing. Darío Paúl Arias Muñoz Msc. Ing. Oscar Rosales Enríquez Msc.

2. CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros. Ibarra, a los 05 días del mes de agosto del año 2024

EL AUTOR:

Oscar Fabián Clavijo Garzón



Ibarra, 26 de junio de 2024

Dra.
Lucía Yépez
DECANA FACULTAD DE POSGRADO

ASUNTO: Conformidad con el documento final

Señora Decana:

Nos permitimos informar a usted que revisado el Trabajo final de Grado INDICE DE ESCASEZ DE AGUA EN LA MICROCUENCA DEL RIO ITAMBI, SUBCUENCA DEL RIO AMBI del maestrante *Oscar Fabián Clavijo Garzón*, de la Maestría en Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas, certificamos que han sido acogidas y satisfechas todas las observaciones realizadas.

Atentamente,

	Apellidos y Nombres	Firma
Director	Darío Paúl Arias Muñoz	 <p>Firmado electrónicamente por: DARIO PAUL ARIAS MUNOZ</p>
Asesor	Oscar Armando Rosales Enríquez	 <p>Firmado electrónicamente por: OSCAR ARMANDO ROSALES ENRIQUEZ</p>

ÍNDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN	10
ABSTRACT	11
CAPÍTULO I	12
EL PROBLEMA.....	12
1.1 Problema de estudio.....	12
1.2 Antecedentes.....	14
1.3 Objetivos del estudio	17
1.3.1 Objetivo general	17
1.3.2 Objetivos específicos.....	17
1.4 Justificación.....	17
CAPÍTULO II.....	20
MARCO REFERENCIAL	20
2.1 Marco teórico.....	20
2.1.1 Cuenca hidrográfica	20
2.1.2 Métodos de Zonificación de Cuencas Hidrográficas.	22
2.1.3 Clasificación Pfasstetter.....	23
2.1.4 Morfometría de cuencas hidrográficas.....	25
2.1.5 Oferta hídrica.....	25
2.1.6 Demanda hídrica	26
2.1.7 Escasez hídrica	28
2.1.8 Índice de escasez de agua.....	29
2.2 Marco legal	31
CAPÍTULO III	32

MARCO METODOLÓGICO	32
3.1 Descripción del área de estudio	32
3.1.1 Morfometría de la cuenca hidrográfica.....	33
3.2 Enfoque y tipo de investigación	37
3.3 Procedimiento del estudio	38
3.3.1 Cálculo de la Oferta Hídrica.....	40
3.3.2 Determinación de la Demanda Hídrica	41
3.3.3 Evaluación de escasez hídrica	41
3.3.4 Definición de lineamientos - estrategias de conservación.	42
3.4 Consideraciones bioéticas.....	43
CAPÍTULO IV	45
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	45
4.1 Delimitación del área de estudio con la Metodología Pfafstetter	45
4.2 Oferta hídrica neta	46
4.3 Demanda de agua en la cuenca de río Itambi	53
4.3.1 Cálculo del índice de escasez de agua en la cuenca hidrográfica del río Itambi	55
4.3.2 Establecer líneas estratégicas de conservación en la Unidad Hidrográfica 15489: microcuenca del río Itambi	56
4.3.2.1 Planificación del manejo integral de la cuenca hidrográfica del río Itambi, con enfoque ecosistémico.	59
4.3.2.2 Desarrollar un instrumento estratégico local para la protección y manejo de la cuenca hidrográfica del río Itambi	61
4.3.2.3 Desarrollar investigación en la cuenca hidrográfica del río Itambi	63
4.3.3 Educación ambiental en la cuenca del río Itambi.....	65
CAPÍTULO V.....	66
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	66

4.1	CONCLUSIONES	66
4.2	RECOMENDACIONES	68
	REFERENCIAS.....	69
	ANEXOS	75

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 . Tipos de Unidades Hidrográficas, según Pfafsteter	24
Tabla 2. Definiciones de las diferentes demandas por tipo de bien	27
Tabla 3. Características físicas y morfométricas de la cuenca hidrográfica del río Itamb ...	34
Tabla 4. Escala de valoración del índice de escasez	42
Tabla 5. Parámetros morfométricos del área de estudio, cuenca hidrográfica del río Itambi.	45
Tabla 6. Caudales medios mensuales en (m ³ /s), registrados en la estación Itambi código H026	48
Tabla 7. Caudales medios mensuales registrados en la estación Itambi código H026.....	52
Tabla 8. Demanda de agua en la cuenca del río Itambi.....	53
Tabla 9. Demanda y Oferta Hídrica por periodo evaluado.....	55
Tabla 10. Índice de escasez en cuenca Hidrográfica del río Itambi	56
Tabla 11. Enfoque Presión - Estado - Respuesta.....	57

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Partes de una cuenca hidrográfica.....	21
Figura 2 Proceso para la Delimitación y Codificación de Unidades Hidrográficas, con el Método Pfafstetter.....	23
Figura 3 Unidades hidrográficas Pfafstetter	24
Figura 4 Marco legal de la investigación – Pirámide de Kelsen	31
Figura 5 Ubicación del Área de estudio, Unidad Hidrográfica 15489, sub cuenca del Río Ambi.....	33
Figura 6 Proceso de investigación.....	38
Figura 7 Esquema de la delimitación de Unidad Hidrográfica, Arc Hydro Tools	39
Figura 8 Delimitación del área de estudio, microcuenca del Río Itambi	40
Figura 9 Esquema PER, Presión – Estado – Respuesta.....	43
Figura 10 Caudal medio anual del período 1989 a 2015.....	50
Figura 11 Caudal medio mensual del periodo 1989 a 2015.	51
Figura 12 Caudal medio mensual de los periodos (1989 a 1997); (1998 a 2006); y (2007 a 2015).....	52
Figura 13 Autorizaciones de uso de agua ubicadas en el área de estudio, microcuenca del Río Itambi.....	54

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE POSGRADO
PROGRAMA DE MAESTRÍA EN GESTIÓN INTEGRAL DE CUENCAS
HIDROGRÁFICAS

“ÍNDICE DE ESCASEZ DE AGUA EN LA MICROCUENCA DEL RÍO
ITAMBI, SUBCUENCA DEL RÍO AMBI”
Trabajo de Titulación

Autor: Ing. Oscar Fabián Clavijo Garzón

Tutor: Ing. Darío Paúl Arias Muñoz Msc.

Año: 2024

RESUMEN

La microcuenca hidrográfica del río Itambi, por varios años viene satisfaciendo las necesidades hídricas de los sectores productivos asentados en las parroquias San Pablo del Lago y González Suarez, en respuesta a estas demandas las instituciones públicas encargadas de la administración de los recursos hídricos, han otorgado diferentes autorizaciones de uso de agua basados en las necesidades humanas. Sin embargo, no existen indicadores que reflejen hasta qué punto es sostenible sin que llegue a afectar la disponibilidad para satisfacer las necesidades de las personas y las del ecosistema. Este estudio tuvo como objetivo evaluar el índice de escasez de agua de la microcuenca del río Itambi a través del análisis de la oferta y demanda hídrica registrada en la unidad hidrográfica. Los valores de la oferta hídrica disponible se obtuvieron de datos registrados en la estación hidrométrica del INAMHI correspondientes al periodo 1989 a 2015. Para la demanda en cambio, se consideró aquellos valores registrados en las autorizaciones de uso de agua que corresponden a los requerimientos de los diferentes sectores productivos existentes y registrados para el área de estudio para el mismo periodo de tiempo. Además, se calculó el índice de escasez hídrica para los periodos 1989-1997; 1998-2006 y 2007-2015. El análisis de caudales registrados durante 26 años refleja una oferta hídrica existente de 0,467 m³/s y una demanda de 0,209 m³/s, lo que equivale a un índice de escasez alto con un porcentaje de 47,75%. En esta microcuenca la escasez hídrica se ha incrementado a través del tiempo, considerando que pasó de 23,7 % para el periodo 1989-1997, a 25,90 % para el periodo 1998-2006 y finalmente a 64,2 % para el periodo 2007-2015. Esto refleja alta presión en los recursos hídricos en el área de estudio que de continuar en este sentido ocasionaría desde desabastecimiento del recurso hasta incluso conflictos hídricos. Por ello es importante que las autoridades de turno e instituciones de gobierno y la sociedad civil ejecuten acciones de pronta respuesta para una adecuada administración de los recursos hídricos disponibles en la unidad hidrográfica.

Palabras clave: Oferta, demanda, escasez hídrica, cuenca hidrográfica; caudal; Itambi.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE POSGRADO
PROGRAMA DE MAESTRÍA EN GESTIÓN INTEGRAL DE CUENCAS
HIDROGRÁFICAS

“ÍNDICE DE ESCASEZ DE AGUA EN LA MICROCUENCA DEL RIO
ITAMBI, SUBCUENCA DEL RIO AMBI”
Trabajo de Titulación

Autor: Ing. Oscar Fabián Clavijo Garzón

Tutor: Ing. Darío Paúl Arias Muñoz Msc.

Año: 2024

ABSTRACT

The hydrographic micro-basin of the Itambi River, for several years, has been satisfying the water needs of the productive sectors located in the parishes of San Pablo del Lago and González Suarez. In response to these demands, the public institutions in charge of the administration of water resources have granted different water use authorizations based on human needs. However, there are no indicators that reflect to what extent it is sustainable without affecting the availability to satisfy the needs of people and the ecosystem. This study aimed to evaluate the water scarcity index of the Itambi River micro-basin through the analysis of water supply and demand registered in the hydrographic unit. The values of the available water supply were obtained from data recorded in the INAMHI hydrometric station corresponding to the period 1989 to 2015. For the demand, however, those values recorded in the water use authorizations that correspond to the requirements of the different productive sectors existing and registered for the study area for the same period of time. In addition, the water scarcity index was calculated for the periods 1989-1997; 1998-2006 and 2007-2015. The analysis of flows recorded over 26 years reflects an existing water supply of 0.467 m³/s and a demand of 0.209 m³/s, which is equivalent to a high shortage index with a percentage of 47.75%. In this micro-basin, water scarcity has increased over time, considering that it went from 23.7% for the period 1989-1997, to 25.90% for the period 1998-2006 and finally to 64.2% for the period 2007-2015. This reflects high pressure on water resources in the study area, which if continued in this sense would cause resource shortages to even water conflicts. Therefore, it is important that the authorities on duty and government institutions and civil society execute prompt response actions for adequate administration of the water resources available in the hydrographic unit.

Key words: Supply, demand, water scarcity, watershed; flow; Itambi

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1 Problema de estudio

Según el Programa Mundial de Evaluación de los recursos hídricos de la UNESCO, World Water Assessment Programme [WWAP] (2019) en una visión global acerca de los recursos hídricos, señala que más de 2.000 millones de personas viven en países que experimentan un alto nivel de estrés hídrico. Sufren estrés hídrico 32 países a nivel mundial entre el 25 % y el 70 % considerado como grave, el promedio mundial alcanza el 13 %. América del Sur presenta bajo estrés hídrico alrededor del 3 % (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2018). El “balance hídrico global de Ecuador es positivo, sin embargo, existen cuencas deficitarias” (FAO, 2015).

En la provincia Imbabura, la cuenca hidrográfica que rodea al lago San Pablo por muchos años viene satisfaciendo las necesidades hídricas naturales y antrópicas demandada por distintos sectores productivos de las parroquias rurales González Suarez y San Pablo del Lago. Recursos hídricos que inicialmente fueron utilizados a nivel comunitario y actualmente administrados por Juntas de Agua Comunitarias [JAC] e Instituciones Públicas del Estado Ecuatoriano. El uso sustancial de recursos hídricos de acuerdo con la WWAP (2019) indicaría un creciente estrés hídrico con impactos en la sostenibilidad y conflictos potenciales entre sus usuarios.

En el territorio nacional la Autoridad Única del Agua es el Ministerio del Ambiente Agua y Transición Ecológica [MAATE] esta entidad dirige el sistema nacional estratégico del agua y es quien regula los recursos hídricos, usos y aprovechamiento del agua, emite los permisos de uso y aprovechamiento actuales y futuros, sus plazos, “para asegurar la formalización y la distribución equitativa”, (Asamblea Nacional de la República del Ecuador, 2014). La creciente demanda hídrica y la continua entrega de autorizaciones de uso de agua en la unidad hidrográfica UH, indica que la presión sobre el recurso hídrico en el área de estudio va en aumento. De acuerdo con Perugachi y Chachipundo (2020), es evidente la disminución de

caudales de agua en vertientes y humedades, así como el agua superficial de quebradas, ríos y lagunas. Además, Perugachi y Chachipundo (2020), sugieren que los problemas ambientales del área se originan por las siguientes causas:

“Desde mediados del siglo XX, muchas comunidades y haciendas atraídas por los beneficios económicos, plantaron miles de eucaliptos (*Eucalyptus globulus*) cerca de páramos, fuentes de agua y humedales” (p. 27).

“Escaso tratamiento a las aguas utilizadas en las viviendas, los modos y hábitos de producción” (p.27).

“Los efectos del calentamiento global y las actividades antrópicas, (...) provocan cambios en los ciclos naturales del clima a nivel global, que afectan en las diferentes localidades manifestándose con la ausencia de lluvias, incremento de la temperatura y vientos con mayores velocidades” (p.28).

“Los incendios con fines de incrementar la frontera agrícola también han afectado muchas zonas de ecosistemas de páramo. Estos cambios han incidido para la disminución de caudales de humedales pequeños y medianos, tanto en zonas bajas, medias y altas” (p. 28).

En síntesis, las acciones humanas globales y locales han contribuido a la alteración de ecosistemas, al calentamiento global y al cambio climático con repercusiones sobre los ciclos naturales climáticos e hidrológicos, originando entre otros problemas la escasez de agua para consumo humano. Esto se refleja en el área de estudio, por la constante “lucha por el agua” por parte de comunidades que viven una desatención del Estado frente a la escasez de agua y que buscan alternativas que les vuelve resilientes, impulsando proyectos de agua potable (Perugachi y Chachipundo, 2020).

Frente a esta problemática, surge la necesidad de medir y conocer los niveles de escasez hídrica de la Unidad Hidrográfica 15489, esta última denominación corresponde al método Pfafstetter de la metodología de División Hidrográfica del país, que utiliza una codificación jerarquizada de dígitos decimales” Ponce (2015). Conocer la presión ejercida en los recursos hídricos, servirá como insumo para la toma de decisiones y poder abordar la escasez hídrica para encontrar soluciones efectivas para las presentes y futuras generaciones. La realización

de este trabajo es esencial para comprender y abordar los desafíos relacionados con disponibilidad y administración del recurso hídrico, debido a que proporciona información importante para la planificación y respuesta a situaciones potenciales de escasez de agua, para garantizar el suministro adecuado y sostenible del agua para satisfacer las necesidades humanas y los ecosistemas.

1.2 Antecedentes

La cuenca hidrográfica está conformada por un conjunto de sistemas de cursos agua definidos por el relieve, en si una cuenca hidrográfica constituye el área natural en la que se recogen las aguas provenientes de las precipitaciones y escurren hacia un curso principal (Ministerio del Ambiente [MAE], 2002). Una cuenca también es el territorio en el cual habitan las poblaciones en concentraciones grandes y pequeñas en donde se producen importantes actividades que demandan agua para su desarrollo (Aguirre Núñez, 2011). El crecimiento de la población es un importante propulsor del aumento de la demanda de bienes y servicios relacionados con el agua: consumo humano, saneamiento, usos domésticos, producción de alimentos y energía (WWAP, 2019).

Según menciona Ballesteros et al. (2015) la escasez de agua es uno de los principales problemas a enfrentar en el siglo XXI, además que el uso del agua ha crecido a un ritmo superior al doble de la tasa de crecimiento poblacional durante el último siglo. Para Gaspari, et al. (2013) la escasez hídrica “tiene lugar cuando la demanda supera el suministro de agua dulce en un área determinada”. La escasez de los recursos hídricos en algunas regiones puede empeorar debido al cambio climático, puede ser un fenómeno natural por ejemplo en zonas áridas, pero también puede ser inducido por los seres humanos en otros lugares (United Nations Convention to Combat Desertification, [UNCCD], 2017).

Falkenmark y Widstrand (1992) ya establecen los primeros indicadores de necesidades de agua dulce per cápita, “estimando una necesidad de 100 litros para uso doméstico y de 5 a 20 veces más para usos agrícolas e industriales”. Este método no considera factores que influyen en el acceso al agua, como son las condiciones climáticas, problemas de acceso,

exclusión social, entre otros. Existieron otros métodos que buscaban medir escasez de agua de los países, como el propuesto por Szollosi et al. (1998) que incluía “cuatro categorías de presión sobre los recursos hídricos”, según los siguientes rangos: bajas de 0 % a 10 %, moderado 10 % a 20 %, medianamente alto 20 % a 30 % y elevada de 30 % a 40 % respectivamente.

El Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM] (1998) propone un método para el cálculo de Índice de Escasez, para la gestión del agua. Este índice resulta del análisis de la relación porcentual entre la oferta hídrica disponible y la demanda de agua por parte de las actividades socioeconómicas. Este método es utilizado hasta la actualidad, tiene el respaldo del Programa Hidrológico Internacional de la UNESCO y la Comunidad Andina de Naciones [CAN], considerado como referencia común para orientar la gestión del agua en los países andinos. De este modo el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial de Colombia resuelve “adoptar la metodología para el cálculo del índice de escasez para aguas superficiales de su territorio” bajo Resolución Nro. 865 (IDEAM, 2004).

En el Ecuador el uso de los recursos hídricos provenientes de las cuencas hidrográficas, se ha utilizado conforme la demanda hídrica de la población y de las diferentes dinámicas productivas o industriales de cada región. De acuerdo con Solanes y Getches (1998) señalan que “sería ideal generar bases de datos compartidas, organizadas por cuenca, conteniendo información sobre cantidad, calidad y demanda de agua por usos y usuarios (...) y que esta información sea la base para la toma de decisiones administrativas”. Es por ello que, contar con datos hidrométricos de las cuencas hidrográficas, permite conocer los caudales y volúmenes en forma oportuna para una adecuada planificación y administración de los recursos hídricos disponibles.

En referencia a la cantidad de recursos hídricos en Ecuador, el Plan Nacional de Gestión Integrada e Integral de Recursos Hídricos de las Cuencas y Microcuencas Hidrográficas de Ecuador [PNGIRH], Yáñez et al. (2017) sugieren que el volumen total de recursos hídricos superficiales anualizados es de 376 km³ y el volumen de recursos hídricos subterráneos es de 56,6 km³, la cantidad per cápita es de 26 km³. Al año 2010 el consumo de agua registrado

fue 15,8 km³, de los cuales para uso doméstico fue 1,48 km³, que representa el 9,4 %; agrícola 13,05 km³ (82,6 %); y para producción industrial y otros 1,27 km³ que representan el 8,0 %. La cantidad media anual de los recursos hídricos por región es: Costa 70,05 km³ Andina 59,73 km³ y Amazónica 246,25 km³. El análisis oferta/demanda de recursos hídricos en años horizonte 2010, 2025 y 2035 realizada por el PNGIRH (2017), menciona demandas hídricas de 15,80 km³, 20,33 km³ y 22,56 km³; con déficits hídricos de 28,0 %, 40,7 % y 46,3 % respectivamente.

Según el Banco Interamericano de Desarrollo [BID] (2019), la disponibilidad media hídrica relacionada con el cambio climático, en Ecuador es alta (>30000 m³/cap/año), pero con deficiencias mayores en la costa. Respecto del agua subterránea, menciona se ha incrementado el esfuerzo para hacer una caracterización de los acuíferos a nivel nacional, pero los conocimientos son incipientes. La calidad del agua se ve afectada por diversas fuentes (minería, petróleo y agroquímicos) con mayor incidencia en la zona costera. Y los riesgos de sequía o aridez son mayores en la región costa. El porcentaje de cobertura del servicio de agua potable en el Ecuador es del 78 % (Agencia de Regulación y Control del Agua [ARCA], 2021).

Con este antecedente, el presente estudio tuvo como meta evaluar el índice de escasez de agua de la Unidad Hidrográfica 15489: microcuenca del río Itambi. Su desarrollo permitió puntualizar y conocer la oferta hídrica disponible en la cuenca y la demanda existente de recursos hídricos en el área de estudio. Conocer la relación oferta y demanda, permite la obtención del indicador presión ejercida sobre los recursos hídricos, que luego de su análisis y aplicando la metodología Presión Estado Respuesta [PER] propuesta por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico [OCDE] (1993), facilitó el establecimiento de estrategias para la conservación de la unidad hidrográfica objeto de estudio.

1.3 Objetivos del estudio

1.3.1 Objetivo general

Evaluar el índice de escasez de agua de la Unidad Hidrográfica 15489: microcuenca del río Itambi, para alertar a tomadores de decisiones si el actual uso del recurso hídrico en esta unidad hidrográfica es sostenible.

1.3.2 Objetivos específicos

- Determinar la oferta hídrica de la Unidad Hidrográfica 15489: microcuenca del río Itambi.
- Determinar la demanda de agua en la Unidad Hidrográfica en estudio.
- Establecer líneas estratégicas de conservación en la Unidad Hidrográfica 15489: microcuenca del río Itambi con base en el índice de escasez hídrica.

1.4 Justificación

El agua es fundamental para la vida, por ello la importancia de mejorar la gestión de los recursos hídricos y su acceso. Una distribución equitativa, eficiente y oportuna de los recursos hídricos ayudaría a evitar conflictos internos por el agua. Por ello la importancia de conocer el déficit hídrico a partir de la oferta existente en la unidad hidrográfica y de la demanda de agua necesaria de los sectores productivos. Contar con la decisión política, estrategias e instrumentos técnicos para hacer frente a los principales problemas que afectan a las unidades hidrográficas garantizaría el sostenimiento de las fuentes hídricas.

En los planes de desarrollo y ordenamiento territorial correspondiente a los periodos 2015 – 2019 de las parroquias San Pablo del Lago y González Suarez, refiriéndose a la red de riego, señalan “La parroquia no cuenta con sistemas de riego instalados, debido a su déficit hídrico y de infraestructura, por lo que se hace necesario considerar estudios y proyectos de riego para potenciar la productividad local”. Así, en la actualización del Plan de Desarrollo y

Ordenamiento Territorial [PDOT] de la Parroquia San Pablo del Lago periodo 2019 – 2023 (2020) se sostiene la necesidad de un sistema de riego, puntualiza la falta de vertientes con abundante caudal y plantea como alternativa cosecha de agua lluvia en partes altas para subsanar el déficit hídrico para riego. Además, menciona que el déficit de cobertura del servicio de agua potable/clorada es 28,78 %.

En la microcuenca del río Itambi, no se realizan prácticas de conservación de suelo en zonas de pendientes moderadas y fuertes, lo que ha acelerado el proceso de degradación de los recursos naturales, afectando áreas naturales como páramos, bosques y nacientes de agua (Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial Rural de San Pablo del Lago, 2020). Entre las principales causas de degradación, menciona que el origen está en las actividades antrópicas, como la descarga de químicos del sector industrial, uso de pesticidas, agricultura convencional, incendios forestales, reforestación con plantas exóticas, sobrepastoreo y compactación, uso de agroquímicos en cultivos de las partes altas, entre otras. De hecho, esta microcuenca es parte del sistema hidrográfico Mira, el cual presenta una de las tasas de erosión hídrica más altas del mundo (Arias-Muñoz et al., 2023).

Según la WWAP (2019) en materia de derechos humanos obliga a los estados a trabajar para conseguir el acceso universal al agua y saneamiento para todo el mundo sin discriminación y dando prioridades a los más necesitados. Así, también la Constitución de la República del Ecuador (2008) establece, la autoridad única del agua (actualmente, Ministerio del Ambiente Agua y Transición Ecológica [MAATE] “será el responsable directo de la planificación y gestión de los recursos hídricos que se destinarán a consumo humano, riego que garantice la soberanía alimentaria, caudal ecológico y actividades productivas, en este orden de prelación”. En relación al déficit hídrico y de infraestructura identificado en la unidad hidrográfica, nace la necesidad de evaluar el índice de escasez de agua de la UH, con base en el análisis de la demanda de los sectores productivos y oferta hídrica existente.

El presente estudio es acorde a lo establecido en el Plan de Desarrollo Para el Nuevo Ecuador 2024 – 2025 (2024), en su eje Infraestructura, Energía y Medio Ambiente. Objetivo Nacional 7. Precautelar el uso responsable de los recursos naturales con un entorno ambientalmente

sostenible. Política 7.7 Promover la gestión integral e integrada del recurso hídrico y su conservación, fomentando el derecho humano al agua potable en cantidad y calidad, y su saneamiento; así como, el riego y drenaje en un entorno adaptativo a los efectos del cambio climático (Secretaría Nacional de Planificación, 2024)

Los resultados alcanzados en este estudio, permitirá que autoridades de turno cuenten con una base fundamentada para orientar y planificar futuras acciones congruentes al uso y administración del recurso hídrico de la unidad hidrográfica. El área de estudio, presenta constante presión sobre los recursos naturales, carece de infraestructura de agua para riego, tiene déficit de cobertura de servicio de agua potable y otros problemas ambientales que inciden en la cantidad y calidad de agua disponible, por ello la importancia de evaluar el índice de escasez y proponer líneas estratégicas para una adecuada gestión de los recursos hídricos, en respuesta a las necesidades locales.

CAPÍTULO II

MARCO REFERENCIAL

2.1 Marco teórico

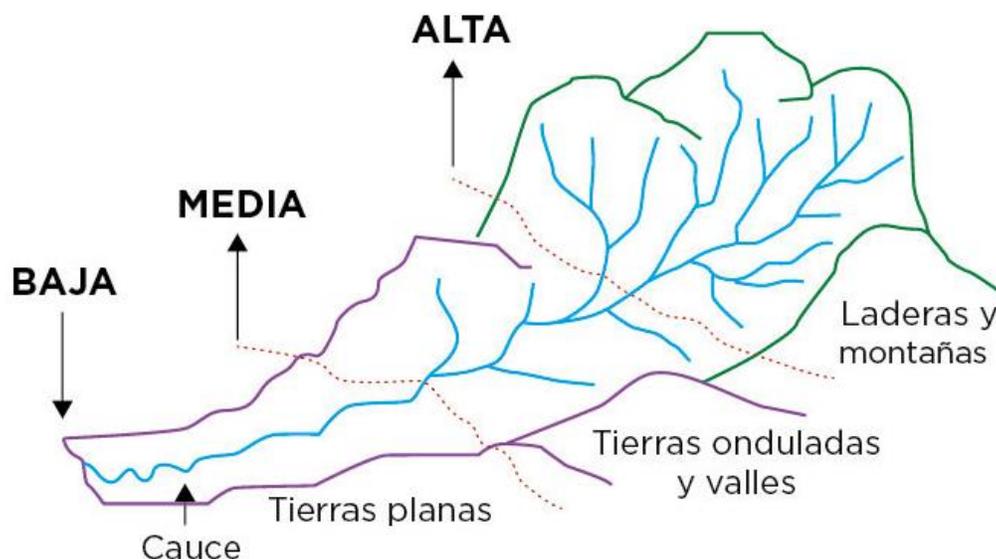
2.1.1 Cuenca hidrográfica

La cuenca hidrográfica se define como, el espacio de territorio delimitado por la línea divisoria de las aguas y está conformada por un sistema hídrico que conducen sus aguas a un río principal, a un río muy grande, a un lago o a un mar (World Vision, 2004). Además, sostiene “en la cuenca hidrográfica se encuentran recursos naturales y la infraestructura creada por las personas, en las cuales desarrollan sus actividades económicas y sociales generando diferentes efectos tanto favorables y no favorables para el bienestar humano” World Vision (2004) p.18. En la cuenca existen entradas y salidas, se producen interacciones entre sus elementos, está conformada por subsistemas (biológico, físico, económico y social). Todo el espacio geográfico que la constituye, se interconecta a través de los flujos hídricos, superficiales y subterráneos, y los flujos de nutrientes, materia y energía (Walker et al., 2006).

Rosas y Quispe (2009) define a la cuenca como “un área (unidad hidrográfica) que no recibe drenaje de ninguna otra área, pero si contribuye con flujo a otra unidad de drenaje” (p. 4). Para los estudios y la planificación del manejo de cuencas hidrográficas, los Sistemas de Información Geográfica [SIG] han sido de mucha utilidad, ya que permite la representación de la distribución espacial a nivel cartográfico. Las unidades básicas mayormente utilizadas para subdividir una cuenca, son la “sub-cuencas y micro-cuencas” (Walker et al., 2006). De acuerdo con Garrido et al. (2010) reconocen “tres zonas funcionales; cuenca alta, cuenca media y cuenca baja” (Ver Figura 1). Así, el agua de precipitaciones es captada en la parte alta de la cuenca, posteriormente escurre y es almacenada en la cuenca media, para finalmente ser descargada en la zona baja.

Figura 1.

Partes de una cuenca hidrográfica.



Nota: Tomado de World Vision (2004)

Para conocer y entender el funcionamiento de una cuenca hidrográfica, Gaspari et al. (2013) manifiesta, “se asemeja al de un colector, recibe precipitaciones y las convierte en escurrimiento dependiendo de las condiciones climáticas y características físicas de la cuenca, como la morfología, porcentaje y tipo de cobertura, uso y naturaleza del suelo” (p.48). Vásconez et al. (2019), determina cuatro funciones principales en las cuencas hidrográficas: ambiental, ecológica, hidrológica y socioeconómica. La primera en relación a que, estas constituyen sumideros de CO₂, albergan bancos de germoplasma, regula la recarga hídrica y conserva la biodiversidad. La función ecológica en el sentido que proveen hábitat para la flora y fauna, e influye sobre la calidad física y química del agua. La función hidrológica, identificada por drenar el agua productos de las precipitaciones, y contribuir a la recarga de fuentes hídricas subterráneas y superficiales. Y la función económica, por suministrar recursos naturales renovables y no renovables y proveer de espacio físico para el desarrollo sociocultural.

2.1.2 Métodos de Zonificación de Cuencas Hidrográficas.

La delimitación y zonificación de cuencas hidrográficas, años atrás se realizaba manualmente sobre cartas topográficas. Aquí se identificaba redes de drenaje superficiales, seguidamente se hacía un esbozo sobre la carta por las partes más altas de la cuenca o divisorias de aguas, guiándose por las curvas de nivel hasta lograr la zonificación del área de drenaje requerida. Para Ordoñez (2011), la delimitación de una cuenca es a partir de fotografías aéreas. Desde otra perspectiva, Gaspari et al. (2013) indica “en la actualidad existen herramientas metodológicas como los Sistemas de Información Geográfica y la interpretación de imágenes satelitales, que permiten realizar caracterizaciones espacio temporales de las propiedades morfométricas de las cuencas hídricas y de las redes de drenaje” (p. 48). Este avance tecnológico, ha sido muy favorable para la realización de estudios hidrológicos. Para Castillo (2015), la delimitación automática de las áreas de drenaje utilizando sistemas de información geográfica, ha reemplazado el método tradicional realizado sobre la carta topográfica, disminuyendo esfuerzo y optimizando recursos.

En la actualidad, va constituyéndose en un estándar internacional el uso de técnicas de análisis espacial para la delimitación y el método Pfafstetter para la división y codificación de unidades hidrográficas de la cuenca hidrográfica (Ruiz y Torres, 2008). Según Rosas (2009), el método de codificación de unidades hidrográficas fue creado en Brasil por Otto Pfafstetter en 1989 y a partir de 1997 difundido por Kristine Verdin a través del Servicio de Geología de los Estados Unidos [USGS], en el programa Nacional del Medio Ambiente de las Naciones Unidas.

En Ecuador la metodología Pfafstetter ha sido aprobada oficialmente para la delimitación y codificación de unidades hidrográficas, bajo resolución Nro. 245 del Secretario Nacional del Agua. Así, para la zonificación de unidades hidrográficas en el territorio nacional, la Secretaría Nacional del Agua [SENAGUA] (2011) ha elaborado el “Mapa de Delimitación y Codificación de Unidades Hidrográficas del Ecuador, en escala 1:250.000 hasta el nivel 5”, utilizando técnicas de análisis espacial raster y la metodología Pfafstetter” (p. 1 – 59). Figura 2.

Figura 2.

Proceso para la Delimitación y Codificación de Unidades Hidrográficas, con el Método Pfafstetter.



Nota: Adaptado del “Manual de Procedimientos de la Delimitación y Codificación de Unidades Hidrográficas. Caso: Ecuador” (Rosas y Quispe, 2009, p. 1 – 33).

2.1.3 Clasificación Pfafstetter

El método Pfafstetter ha permitido establecer una base cartográfica unificada para el país. “No utiliza los términos subcuenca y/o microcuenca” (Rosas y Quispe, 2009, p. 10). Este sistema, “asigna identificadores (Ids) a unidades de drenaje basado en la topología de la superficie o área de terreno, asigna Ids a una unidad hidrográfica para relacionarla con las unidades hidrográficas que contiene y de las unidades hidrográficas con las que limitan” (Ruiz y Torres, 2008, p. 9). En sí, como se describe en la Tabla 1 únicamente “considera tres tipos de unidades hidrográficas de drenaje: cuencas, intercuenas, y cuencas internas” (Rosas y Quispe, 2009, p.10).

Tabla 1 .

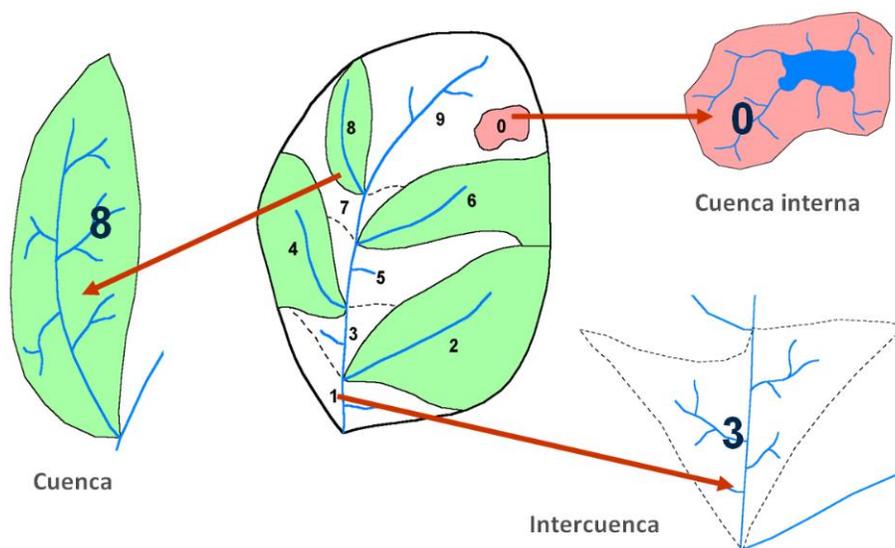
Tipos de Unidades Hidrográficas, según Pfafsteter.

Tipos de Unidades Hidrográficas	Descripción
Cuenca	Área que no recibe drenaje de otra área. Y que contribuye con flujo a otra unidad de drenaje.
Intercuenca	Área que recibe drenaje de otra unidad aguas arriba. Además, permite el paso de flujo hacia la unidad de drenaje contigua, aguas abajo.
Cuenca interna	Área de drenaje que no recibe flujo de agua de otra unidad ni contribuye con flujo de agua a otra unidad de drenaje o cuerpo de agua

Nota: Adaptado de “Delimitación y Codificación de Unidades Hidrográficas del Ecuador, en escala 1:250.000 hasta el nivel 5” (Rosas y Quispe, 2009, p. 9 - 10).

Figura 3.

Unidades hidrográficas Pfafstetter



Nota: Tomado de “Codificación y clasificación de cursos de agua superficiales del Perú” (Ruiz y Torres, 2011, p. 16).

2.1.4 Morfometría de cuencas hidrográficas

Los estudios de características morfométricas, inició con el padre de la hidrología Robert Hermer Horton, posteriormente transformado por Stranller, de análisis cualitativos y deductivos a estudios científicos, capaces de suministrar datos hidrológicos (Horton, 1932, y Stranller 1957, citado por Sellers et al., 2017, p. 3). Las propiedades morfométricas de una cuenca hidrográfica además de “conclusiones preliminares sobre las características ambientales del territorio, proporciona una descripción física espacial” (Sellers et al., 2017). En efecto Gaspari et al. (2013) señala “las propiedades morfométricas de una cuenca proporcionan una descripción física espacial, (...), al mismo tiempo ofrece conclusiones preliminares sobre las características ambientales del territorio a partir de la descripción precisa de la geometría de las formas superficiales”. Así mismo añade que, “la morfometría particular de cada cuenca hidrográfica es proporcional con la posibilidad de cosecha hídrica” Gaspari et al. (2013) (p. 48).

Para el análisis de variables morfométricas, se las agrupa en cuatro apartados cuantificables: tamaño, simetría, elongación y forma del contorno o perímetro de la cuenca. Para cuantificar el tamaño de la cuenca existen dos variables de medición directa: área y perímetro de la cuenca hídrica. Las dos variables, que mejor definen la simetría de la cuenca son el centro de gravedad y la distancia al centro de gravedad. Para definir la elongación (la forma más alargada de la cuenca), la longitud es la variable fundamental para su cálculo. Las variables que definen la forma del contorno de la cuenca, lo hacen en función de comparar la longitud de perímetro, con la longitud del círculo asociado, índice de forma y razón de circularidad Jardi (1985).

2.1.5 Oferta hídrica

El cálculo del índice de escasez de agua superficial del IDEAM (2004), sugiere que “es importante conocer la oferta hídrica superficial”, donde “la oferta hídrica total está definida por el valor modal de los caudales promedio anuales más probable”. Esta magnitud, se extrae de la curva de densidad probabilística de los caudales anuales, que se construye a partir de

los caudales de los registros de las estaciones hidrométricas en la fuente abastecedora (Costa et al., 2005). La metodología para el cálculo de la oferta hídrica total superficial permite identificar el estado actual del agua en cantidad (IDEAM, 2008). La oferta hídrica superficial neta de acuerdo a, Infante y Ortiz (2008), resulta de la siguiente ecuación:

$$On = Ot * Re * Rf \quad (1)$$

- On: Oferta hídrica superficial neta (m³)

Donde:

- Ot: Oferta hídrica superficial total (m³);
- Re: Factor de reducción para mantener el régimen de estiaje;
- RF: Factor de reducción para protección de fuentes frágiles.

Sin embargo, no solo se debe tener en cuenta la relación entre oferta y demanda de agua en la cuenca hidrográfica, sino también es importante que en la fuente abastecedora quede un remanente de agua, que garantice las funciones de ese ecosistema y mantenga las características propias de esas fuentes. Así, el factor de reducción para mantener el régimen de estiaje, corresponde al valor modal de los caudales durante el periodo de estiaje de la fuente abastecedora. Y el factor de reducción para protección de fuentes frágiles, en cambio es una función de las magnitudes del valor modal de la esorrentía, (...). (Proyecto Sistema de Información del Medio Ambiente, [SIMA], 2004)

2.1.6 Demanda hídrica

La demanda hídrica es el resultado total de todas las demandas generadas por las actividades sociales y económicas del hombre, más aquellas necesidades sistémicas de la cuenca. De acuerdo con IDEAM (2004), “la demanda hídrica corresponde a la sumatoria de las demandas sectoriales como: actividades antrópicas sociales y económicas, expresado en millones de metros cúbicos”. Bajo un escenario de información insuficiente o inexistencia, se debe estimar potencialmente el volumen de agua demandada a nivel sectorial (IDEAM,

2004). Estimaciones que deben considerar las variables volumen de producción por sector y un factor de consumo de agua por tipo de bien, con la única limitante de que estas estimaciones no contemplan pérdidas en los sistemas de distribución, conducción, almacenamiento, tratamiento, nivel tecnológico, producción más limpia y uso de la industria extractiva Tabla 2.

$$DT = DUD + DUI + DUS + DUA + DUP \quad (2)$$

Tabla 2.

Definiciones de las diferentes demandas por tipo de bien.

Siglas	Tipo de Demanda	Descripción	Observaciones
DUD	Demanda de agua para uso doméstico	Cantidad de agua consumida por la población urbana y rural para suplir sus necesidades.	DUD = (Demanda per cápita urbana) x (número de habitantes urbanos) + (demanda per cápita rural) x (número de habitantes rurales).
DUI	Demanda para uso industrial	Cantidad de agua consumida por los diferentes sectores industriales.	
DUS.	Demanda de agua para el sector servicios	Cantidad de agua consumida para servicios.	Servicios de: empresas, vivienda, servicios del gobierno, entre otros
DUA.	Demanda de agua para uso agrícola	La fuente principal de agua para usos agrícola es la precipitación, volúmenes adicionales deber ser previstos por sistemas de riego.	
DUP	Demanda de agua para uso pecuario	Resultado de multiplicar el volumen de producción de animales de importancia comercial, por un factor de consumo promedio aproximado, el cual está determinado teniendo en cuenta: tipo de animal, tipo de producción y el consumo de materias seca y alimento requerido.	

Nota: Adaptado de IDEAM (2004).

2.1.7 Escasez hídrica

Sequía y escasez se diferencian en que el fenómeno sequía es de origen natural, caracterizado por la ausencia de lluvias o disminución de precipitaciones pluviales durante un periodo que se estima lluvioso y termina cuando llegan las lluvias recuperando los niveles de los cuerpos de agua (Esparza, 2014). Mientras que, la escasez es de origen antrópico pudiendo persistir con o sin lluvias y sin que ocurra una sequía, aquí las acciones humanas extraen y consumen más agua de la que se logra recargar y de la disponible (Oppliger et al., 2019). En sí, la escasez hídrica expresa el porcentaje de recursos hídricos deficitarios en una determinada área de la cuenca hídrica.

Existen algunos métodos para determinar la escasez hídrica, como el Índice de Estrés Hídrico de Cultivos Crop Water Stress Index [CWSI] propuesto en 1981, fue desarrollado en el laboratorio de Conservación de Agua de EE. UU. Phoenix Arizona y utilizado para “conocer el índice de estrés hídrico en los cultivos” (Jacson et al., 1981). Otro de los métodos utilizados es el “Balance Hídrico” propuesto por Thornthwaite y Mather (1955), este en cambio evalúa la “cantidad de agua disponible en una región” al comparar las entradas de agua (precipitación, aportes de ríos) con las salidas (evapotranspiración, escorrentía, extracciones de agua). Si las salidas superan las entradas durante un período prolongado, puede indicar escasez hídrica. Este método es útil para evaluar el equilibrio entre la disponibilidad y la demanda de agua. El balance hídrico es considerado un buen método para lograr un menor margen de error y “se aplica en cuencas con áreas de drenaje mayores, instrumentadas y con información confiable (Gonzalo Rivera et al, 2004).

Finalmente se tiene el “Índice de Escasez de Agua”, ampliamente utilizado para evaluar la disponibilidad de agua en una determinada región o área geográfica propuesto por (IDEAM, 1998). Diferentes estudios y publicaciones han abordado el método del Índice de Escasez de Agua y han propuesto enfoques y metodologías para calcular el índice de escasez de agua. La escasez hídrica, se registra cuando la cantidad de agua tomada de las fuentes existentes,

es tan grande que se suscitan conflictos Costa Posada et al. (2005). Este conflicto se refleja a nivel social y ambiental, se da entre las diferentes demandas de agua requeridas por el hombre para satisfacer las necesidades cotidianas, y a nivel ecosistémico. Con la finalidad de interpretar la Escasez Hídrica el IDEAM (2004) establece cuatro umbrales críticos de presión, calificándolos como nivel de presión hídrico: alto, medio, moderado y bajo.

Aun, considerando que los recursos hídricos de una cuenca sean abundantes, Costa Posada et al. (2005) manifiesta que este recurso no es infinito, ni está distribuido homogéneamente en el territorio. Por esa razón señala que la administración y gestión del recurso a escalas nacional, regional y local debe tener en cuenta tendencias y escenarios futuros para un desarrollo sostenible. En este contexto, el método de Índice de Estrés Hídrico CWSI de Larry Allen es utilizado para determinar estrés hídrico en los cultivos; en cambio el Balance Hídrico ayuda a comprender los flujos de agua dentro de un sistema y es más utilizado en la gestión y planificación de infraestructuras para el agua; y que, el método de Índice Escasez de Agua con enfoque del IDEAM, considera variables socioambientales como factor de presión para calcular la escasez de agua en una región específica. El Índice de Escasez de Agua, es el más recomendado para el presente estudio, su resultado permitirá conocer el estrés hídrico actual del área de estudio, y determinará la necesidad o no de tomar acciones dirigidas a reducir el riesgo de desabastecimiento hídrico futuro.

2.1.8 Índice de escasez de agua

El Índice de escasez de agua, propuesto por la IDEAM tiene su origen en Colombia entre 1987 y 1988. A pesar de ser un país con abundantes precipitaciones, se determinó que enfrenta un conflicto por el uso del espacio para su desarrollo socio-económico y para la protección de la oferta hídrica natural. En sí, el problema está en que el crecimiento de la nación ha concentrado la demanda hídrica sobre regiones donde su oferta es escasa y en las cuales los procesos de crecimiento poblacional amplifican la presión sobre un recurso que ya registra altos requerimientos para mantener la estructura socio-económica instalada (IDEAM, 1998).

Existe escasez de agua cuando la cantidad de agua tomada de las fuentes es tan grande que se suscitan conflictos entre el abastecimiento de agua para las necesidades humanas, las ecosistémicas, las de los sistemas de producción y las de las demandas hídricas proyectadas hacia el futuro inmediato. EL índice de escasez de agua se define como la relación porcentual entre la demanda potencial de agua y la oferta hídrica disponible en las fuentes abastecedora (Domínguez Calle et al., 2008), pudiendo ser implementado a cualquier escala. Considerando esta definición el índice de escasez tiene la siguiente relación:

$$IE = \frac{Dt}{On} * 100 \% \quad (3)$$

Donde:

IE = Índice de escasez (%)

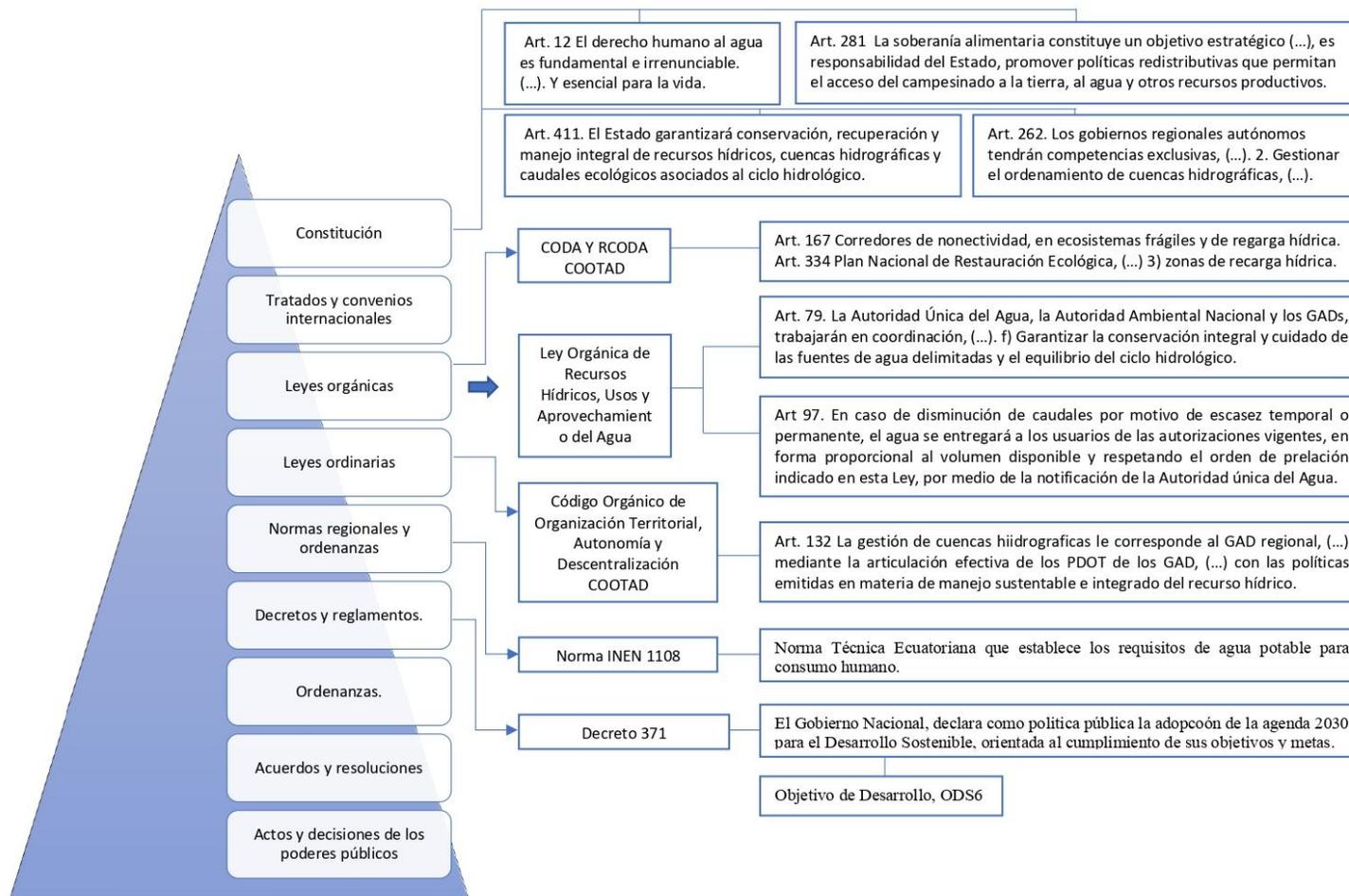
D = Demanda total de agua (m³)

On. = Oferta hídrica superficial neta (m³)

2.2 Marco legal

Figura 4.

Marco legal del estudio – Pirámide de Kelsen



CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

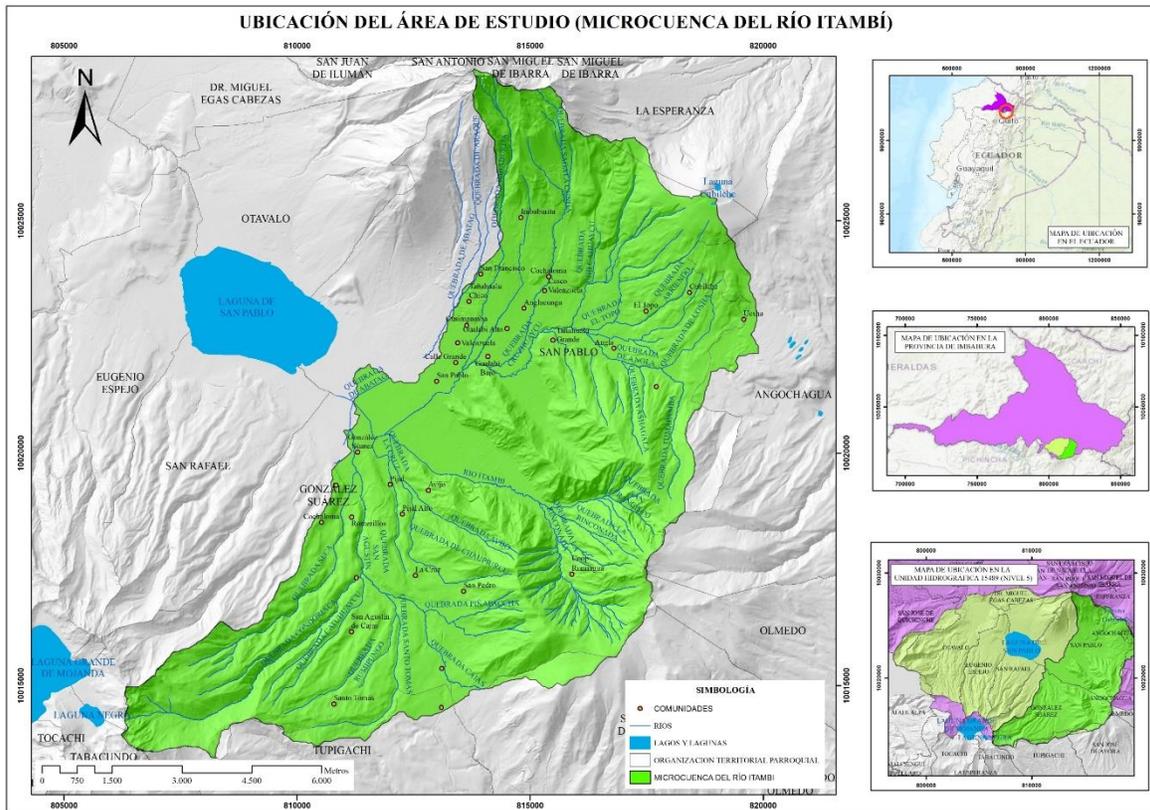
3.1 Descripción del área de estudio

El área de estudio, corresponde a la microcuenca del río Itambi que está ubicada al noreste del Lago San Pablo en el cantón Otavalo, Provincia Imbabura. La microcuenca hidrográfica presenta una superficie de 8914,11 ha, que de acuerdo a Arias-Muñoz et al. (2023) corresponde a una microcuenca. Políticamente está conformada por dos parroquias rurales: González Suárez con una población de 7434 habitantes y una tasa de crecimiento promedio anual de 2,34 % Censo INEC (2022), representado por las comunidades: San Agustín de Cajas, Caluquí, Pijal, Mariscal Sucre, Gualacata, Eugenio Espejo de Cajas, San Francisco de Cajas, Inti Huaycopungo, González Suárez como cabecera parroquial, GADPR González Suárez (2015), y la parroquia San Pablo del Lago con una población de 11146 habitantes y una tasa de crecimiento promedio anual 1,07 % Censo INEC (2022); con las comunidades: Abatag, Imbabura, Cochaloma, Lomakunga, Araque, Angla, Camuendo Chico, Cisinpamba, Ugsha, Casco Valenzuela, Topo, Gualaví, San Pablo como Cabecera Parroquial, GADPR San Pablo del Lago (2020).

De acuerdo con los resultados del último Censo de Población y Vivienda realizado por el Instituto Nacional de Estadísticas Censos INEC (2022) del total de habitantes del cantón Otavalo que asciende a 114303, en las parroquias González Suárez y San Pablo del Lago se concentran el 9,8 % y 6,5 % respectivamente, dando un total de 16,3 % entre las dos parroquias.

Figura 5.

Ubicación del Área de estudio, Unidad Hidrográfica 15489, sub cuenca del Río Ambi.



Para delimitar el área de estudio se usó como punto de aforo la estación hidrológica del INAMHI H026 que esta sobre el río Itambi, principal afluente del lago San Pablo. En sí, la microcuenca objeto de estudio se encuentra inmersa en la Unidad Hidrográfica UH 15489, denominada así según la metodología y clasificación Pfafstetter. Tiene una altitud entre los 2689 y 4593 msnm. Dentro de las actividades más relevantes realizadas por la población está la agricultura, ganadería, artesanías y comercio.

3.1.1 Morfometría de la cuenca hidrográfica

El estudio se centró en la UH 15489 Nivel 5, ubicado al noreste del Lago San Pablo, área de drenaje que recoge sus recursos hídricos y escurren al río Itambi, que confluye sus aguas en el Lago San Pablo constituye el principal tributario del lago. En concordancia a lo enunciado

por Casallas y Gunkel (2015) al señalar que el río Itambi es principal afluente del Lago San Pablo, con un aporte de agua del 90 %. El área en estudio se encuentra en la zona alta de la UH 15489, tiene una superficie mayor, comparada con las quebradas intermitentes que también aportan al lago San Pablo.

Se caracterizó la unidad hidrográfica mediante la identificación de los principales parámetros fisiográficos y tiempo de concentración de la cuenca, utilizando la plataforma web de hidrología propuesta por Álvarez (2016). Esta caracterización permitió identificar que la microcuenca tiene un área de 8914,11 ha y un perímetro de 53,55 km. Presenta una longitud axial de 7,57 km, con un ancho máximo de 17,23 km, la pendiente media del colector principal es de 19,83 %. El factor de forma es de 0,94 muy ensanchada por encontrarse en un rango de 0,80 a 1,20 Pérez (1979), de índice de alargamiento 0,43 caracterizado por ser una microcuenca achatada con cause principal de 9,73 km. La microcuenca del río Itambi tiene una altitud máxima de 4593 msnm, una altitud mínima de 2689 msnm y una altitud media de 3641 msnm, con un alto rango de desnivel altitudinal de 1904 m, con pendiente media de 13,22 % de relieve accidentado. El índice de compacidad 1,59 refleja que la microcuenca tiene una forma oval – oblonga a rectangular – oblonga con tendencia a ocurrencia de avenidas, con un tiempo de concentración de 0,87 h. lo que significa que 52,2 min tardaría en llegar una gota de agua desde el punto más lejano de la microcuenca hasta la salida (Tabla 3).

Tabla 3.

Características físicas y morfométricas de la cuenca hidrográfica del río Itambi.

PARÁMETRO	MÉTODO	DESCRIPCIÓN O/U INTERPRETACIÓN
Área (ha)	Cálculo de geometría en un entorno SIG	Proyección ortogonal de toda la superficie de drenaje de un sistema de escorrentía encaminado a un mismo cauce natural.

Perímetro (km)	Cálculo de geometría en un entorno SIG	Medición de la línea envolvente del área, este permite determinar la forma de la cuenca.
Longitud del río principal (km)	Medición del río en un entorno SIG	Distancia entre el nacimiento y desembocadura del río principal.
Longitud Axial (km)	Medición del río en un entorno SIG	Medida entre la desembocadura y el punto más lejano de la cuenca
Ancho Máximo (Km)	Medición del río en un entorno SIG	Medida a partir de los extremos transversales de la cuenca hídrica y perpendiculares al curso principal
Ancho Promedio	$= \frac{\text{Área}}{\text{Longitud Axial}}$	Ancho promedio de la cuenca, se encuentra dividiendo el área de la cuenca, por su longitud axial
Forma de la cuenca		
Factor de forma	$= \frac{\text{Área}}{\text{Longitud de la cuenca (km)}}$	Establece la tendencia morfológica general partiendo del área de la cuenca, y el cuadro del máximo recorrido, establece tendencias de crecidas rápidas e intensas.
Índice de Alargamiento	$= \frac{\text{Longitud de la cuenca}}{\text{Ancho de la cuenca}}$	Definido por la relación: longitud axial y ancho máximo de la cuenca
Índice Asimétrico	$\frac{\text{Vertiente mayor}}{\text{Vertiente menor}}$	Referido a la relación del área de las vertientes, A mayor y A menor, evaluando la homogeneidad en la distribución del drenaje y la susceptibilidad a erosión
Elevación de la Cuenca		
Altitud máxima (m)	Curvas de nivel, DEM	

Altitud mínima (m)	Curvas de nivel, DEM	
Altitud media (msnm)	$= \frac{\Sigma(Hi * Ai)}{A}$	
Desnivel altitudinal (m)	$Dh = Hmáx - Hmín$ Dh= Desnivel altitudinal Hmax= Altitud máxima Hmin_ Altitud mínima	
Pendiente media de la cuenca (%)	$Sm = \frac{D * Lc}{Area}$ D=Diferencia entre curvas de nivel. Lc=Longitud total de las curvas de nivel Área=Superficie de la cuenca	Corresponde a la variación de la inclinación de una cuenca, se puede establecer zonas con mayor erosión o problemas de drenaje y de sedimentación.
Índice de compacidad	$Kc = 0.28 X \left[\frac{P}{\sqrt{A}} \right]$ P= Perímetro A= Área	Determina la forma de la cuenca, (oval redonda a oval oblonga).
Tiempo de concentración California Kirpich (min)	$Tc = 0.066 X \left[\frac{L}{\sqrt{S}} \right]^{0.77}$ L= Longitud de cauce principal en km. S=Pendiente promedio	Se demoraría en llegar una gota de agua desde la parte más alejada de la cuenca hasta el punto de salida de la misma.
Coefficiente Orográfico	$Co = \frac{h2}{Área}$ Co= Coeficiente orográfico h2=altura media de la cuenca en km elevada al cuadrado Área= Área de la cuenca en km ²	Este parámetro expresa el potencial de degradación de la cuenca

Nota: Adaptado de Jiménez (2017).

El valor de pendiente media del colector principal permite conocer la topografía del terreno Heras (1976), de acuerdo con el mapa de topografía, es medianamente accidentada con pendientes menores al 35 %, que favorece la escorrentía y erosión del suelo.

Además, en la parte alta de la microcuenca, se encuentran las principales nacientes de agua, además se da la mayor captación del agua lluvias, que aguas abajo ayuda con la regulación y suministro de agua a otras partes de la cuenca. Todo este recurso hídrico, ha venido satisfaciendo la demanda de los sectores productivos y grupos humanos establecidos en ella. Para Casallas y Gunkel (2015) los “asentamientos humanos presentes en la cuenca y la incipiente infraestructura turística asentada en las orillas del lago, ejercen fuerte presión sobre los recursos hídrico, generando problemas de eutrofización por la entrada permanente de aguas residuales con contenidos de nutrientes, provenientes de la agricultura y de asentamientos humanos”.

Dourojeanni (1994) considera, que la cuenca hidrográfica física representa una fuente natural de captación y concentración de aguas superficiales y subterránea, además que, el agua es una fuente de vida para el hombre y constituye una zona de articulación de sus habitantes. En relación a lo que sostiene este autor, se deduce que el área de estudio por su cercanía con el Lago San Pablo, ha facilitado la conformación y desarrollo de asentamientos de grupos humanos aledaños al lago, lo cual se afirma con lo enunciado en el PDOT (2015) del cantón Otavalo, “El Otavalo primitivo, se ubicaba a orillas del Lago San Pablo”.

3.2 Enfoque y tipo de investigación

El diseño de este estudio tiene un enfoque longitudinal, requiriendo en determinado momento realizar una fase de campo no experimental. Para determinar la oferta hídrica de la UH se analizó caudales de agua registrados en los anuarios hidrológicos del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología [INAMHI] entre los años 1989 - 2015. En cambio, para obtener la demanda de agua se utilizó información de caudales demandados por diferentes tipos de uso registrados desde el año 1973 al 2015 por la Autoridad única del Agua SENAGUA actualmente MAATE. Con estas consideraciones, el tipo de investigación aplicado es

longitudinal observacional, ya que se utilizó datos cuantitativos producto de mediciones repetidas de caudal de agua, durante un periodo prolongado de años, tanto para la oferta como para la demanda hídrica.

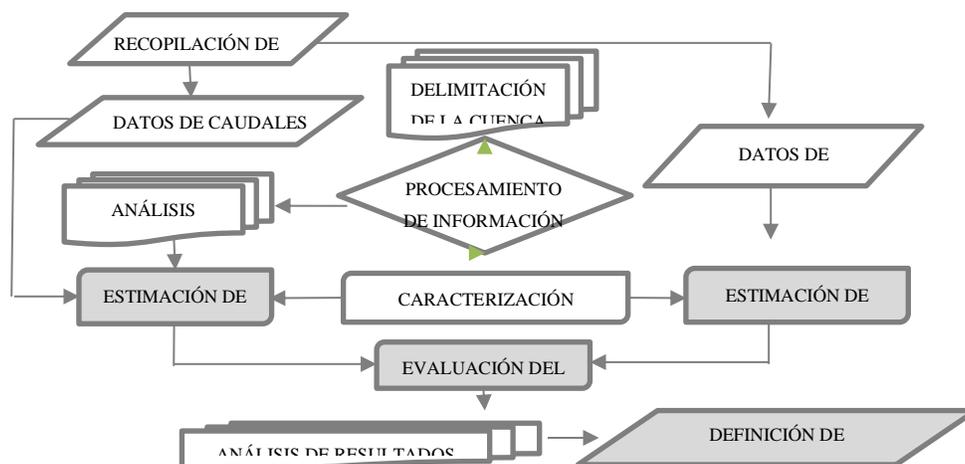
La determinación del Índice de Escasez de agua, se realizó de manera no experimental a partir de la recopilación de datos para el análisis del comportamiento de la oferta y demanda de agua en la cuenca, más la aplicación de la metodología propuesta por el IDEAM (1998) para determinar la escasez hídrica. En otras palabras, a partir de la información existente respecto a la oferta y demanda de agua en el área de estudio, se interpretó el comportamiento dado en un periodo de años de la oferta y demanda hídrica con el objetivo de conocer el Índice de escasez de agua.

3.3 Procedimiento del estudio

Se partió con la revisión de la información existente referente al tema de estudio, recabando información oficial de instituciones públicas, así del MAATE se obtuvo datos de caudales demandados para diferentes tipos de uso (abrevadero, doméstico, fuerza mecánica, piscícola, riego); del INAMHI datos hidrológicos correspondientes a la estación Hidrológica Itambi H026 registrados en los Anuarios Hidrológicos y datos de caudales en las fuentes abastecedoras realizadas en investigaciones de la Universidad Técnica del Norte. En la figura 6 se indica el proceso de estudio hasta llegar a los objetivos propuestos.

Figura 6.

Proceso de estudio



Con sistemas de información geográfica SIG, se delimitó la cuenca objeto de estudio, para ello se usó como punto de aforo la estación hidrológica del INAMHI denominada Itambi Lago San Pablo de código H026, que se encuentra en las coordenadas UTM WGS84 Zona 17S coordenadas X: 811291,00; Y: 10021800,00 a una altitud de 2648 msnm. De acuerdo a la división de unidades hidrográficas Pfafstetter el área de estudio se encuentra dentro de la región hidrográfica 1 y emplazada particularmente en la UH 15489 nivel 5. Espacialmente, la parte baja de la unidad hidrográfica le corresponde al río Jatun Yaku, la parte media al lago San Pablo y alta al río Itambi. Para delimitar el área de estudio se utilizó Sistemas de Información Geográfica a partir del Modelo Digital del Terreno MDT de SIGTIERRAS (2023) de tamaño de celda 3 m, de acuerdo al proceso detallado en la Figura 7.

Figura 7.

Esquema de la delimitación de Unidad Hidrográfica, Arc Hydro Tools.

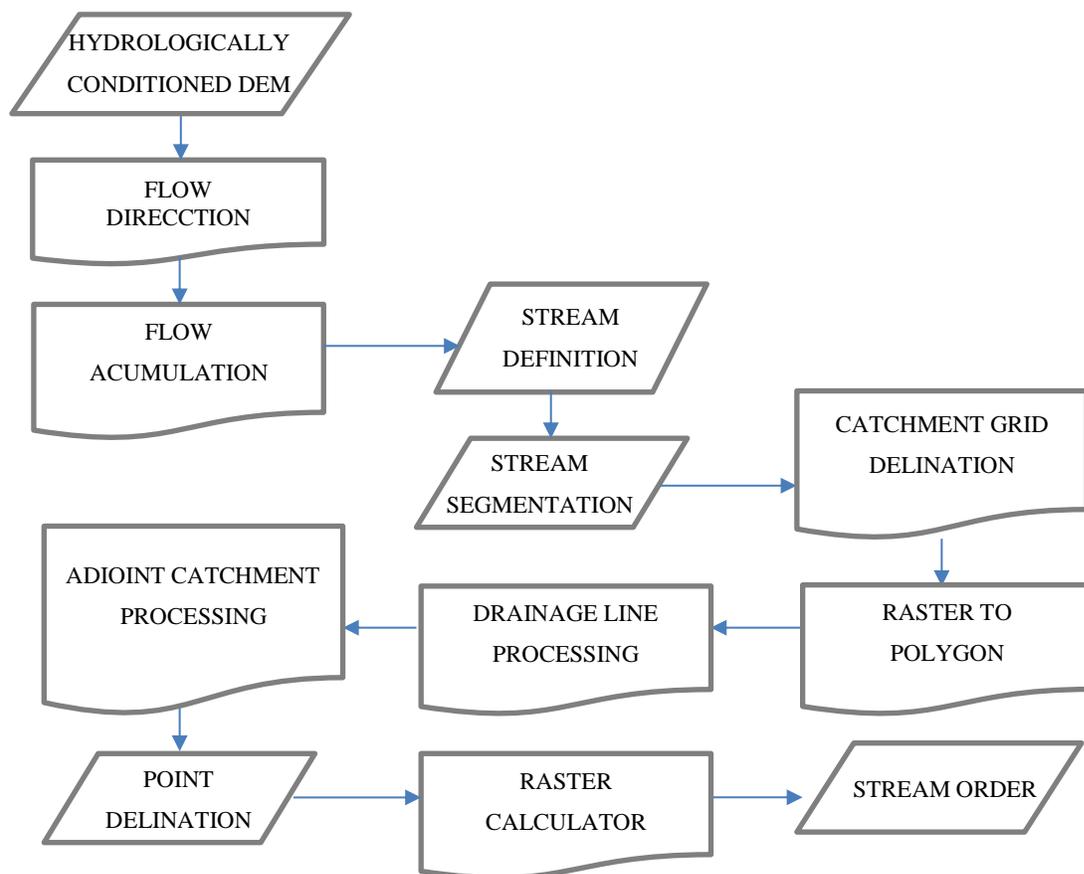
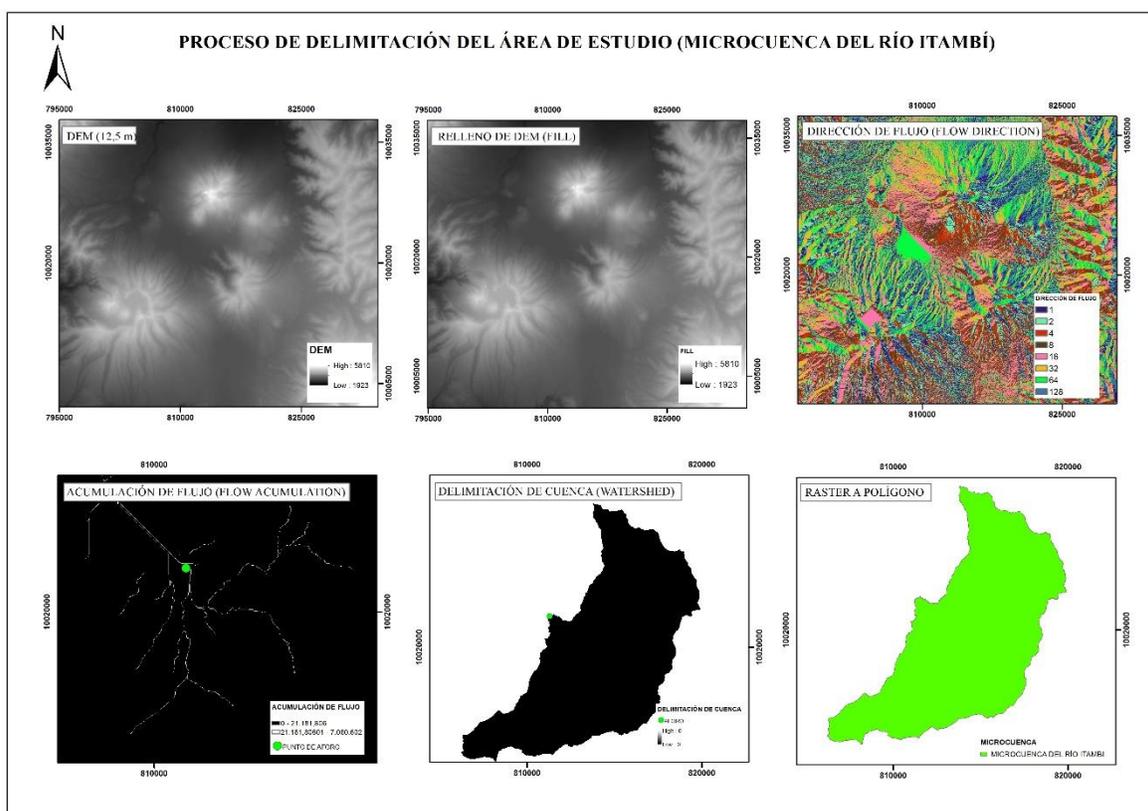


Figura 8.

Delimitación del área de estudio, microcuenca del Río Itambi.



Dentro de los insumos principales utilizados, se encuentra el Software ArcGIS 10.8 de licencia temporal, cartografía base a escala 1:5.000 del Instituto Espacial Ecuatoriano [IEE] del año 2015, Mapa de Unidades Hidrográficas Nivel 5 escala 1:50.000 de SENAGUA y la Imagen Satelital denominada Modelo Digital del Terreno [MDT] de SIGTIERRAS.

3.3.1 Cálculo de la Oferta Hídrica

Para conocer la oferta hídrica disponible en la cuenca del río Itambi, se analizó desde dos fuentes de información, datos registrados en la estación hidrométrica y caudales de agua de aforos en fuentes superficiales de agua. Se consideró los caudales superficiales registrados en los años 1989 a 2015 en la estación Hidrométrica del INAMHI, denominada: Itambi en San Pablo de código H026. En si el método consistió en determinar el promedio de caudal

modal anual más probable a la salida de la cuenca y con base a datos de caudales registrados en la estación, excluyendo el año (1994) cuyos registros de caudales son iguales o menores al 75 % de datos observados o medidos en la estación. La oferta hídrica se calculó para tres periodos anuales: 1989-1997, 1998-2006 y 2007-2015 Finalmente, para triangular la información se comparó la oferta hídrica reportada por el INAMHI con la oferta hídrica de fuentes hídricas conocidas. Esta última información fue identificada mediante información secundaria, en la cual se obtuvo datos de caudales aforados en el año 2017.

3.3.2 Determinación de la Demanda Hídrica

Se determinó la demanda hídrica del río Itambi, a partir de la identificación de las diferentes actividades antrópicas sociales y económicas que demanden recursos hídricos en el área de estudio. Para esto se empleó información del Registro Único de Autorizaciones de Uso de Agua del MAATE, demandados por los diferentes sectores productivos existentes en el área de estudio. Se analizó la información registrada desde el año 1989 al 2015 se ordenó los datos en periodos y se pudo conocer los tipos de uso y caudales demandados. Entre las demandas de agua se tomó en cuenta las de uso consuntivo como: agrícola, abrevadero, pecuario, consumo humano, industrial, y de uso no consuntivo como: fuerza mecánica. Finalmente, la demanda hídrica se calculó para tres periodos anuales: 1989-1997, 1998-2006 2007-2015

3.3.3 Evaluación de escasez hídrica

Esta etapa consistió en aplicar el método propuesto por el Instituto de Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia IDEAM (2004) para la determinación del índice de escasez de agua. Para el cálculo del IE, primeramente, se unificó unidades y se aplicó la fórmula de índice de escasez propuesta IDEAM, utilizando como insumos los valores de la oferta hídrica en la estación hidrométrica, oferta hídrica actual y la demanda total de agua determinada en la cuenca del río Itambi. Posteriormente, con el valor de índice de escasez se determinó la categoría de escasez hídrica de la cuenca, comparándola según la escala de valorización del índice de escasez Tabla 4.

Tabla 4.*Escala de valoración del índice de escasez*

Categoría del índice de escasez	Porcentaje de oferta hídrica utilizada	Color	Explicación
Alto	> 40 %	Rojo	Existe fuerte presión sobre el recurso hídrico, denota una urgencia máxima para el ordenamiento de la oferta y la demanda. En estos casos la baja disponibilidad de agua es un factor limitador del desarrollo económico.
Medio	20 – 40 %	Naranja	Cuando los límites de presión exigen entre el 20 y el 40 % de la oferta hídrica disponible es necesario el ordenamiento tanto de la oferta como de la demanda. Es menester asignar prioridades a los distintos usos y prestar particular atención a los ecosistemas acuáticos para garantizar que reciban el aporte hídrico requerido para su existencia. Se necesitan inversiones para mejorar la eficiencia en la utilización de los recursos hídricos
Moderado	10 – 20 %	Amarillo	Indica que la disponibilidad de agua se está convirtiendo en un factor limitador del desarrollo
Bajo	< 10 %	Verde	No se experimentan presiones importantes sobre el recurso hídrico

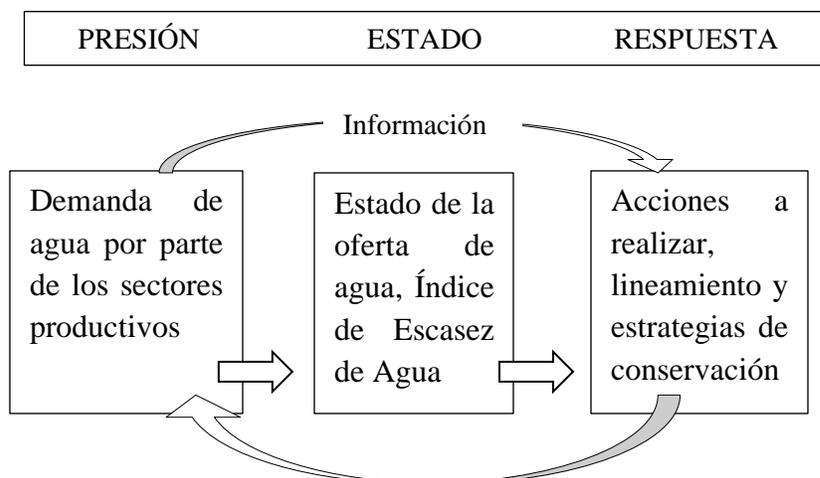
Nota: Tomado de la Metodología para el Cálculo del índice de Escasez de Agua Superficial, y preparado por el Proyecto Sistema de Información del Medio Ambiente, [SIMA], IDEAM, (2004).

3.3.4 Definición de lineamientos - estrategias de conservación.

Una vez ya conocido el índice de escasez en la unidad hidrográfica, se establecerán lineamientos y estrategias de conservación basados en el método desarrollado por OCDE (1993) con enfoque Presión – Estado – Respuesta [PER]. Según Vásquez y García (2018) este método está basado en una lógica de causalidad donde actividades humanas ejercen presiones sobre el ambiente (presión) y cambian la calidad y cantidad de los recursos naturales (estado), y la sociedad responde a estos a través de políticas ambientales, económicas y sectoriales (respuestas) Figura 9.

Figura 9.

Esquema PER, Presión – Estado – Respuesta.



Nota: Adaptado de Respuestas de la sociedad a la presión, OECD, (1993).

El modelo Presión – Estado – Respuesta (1993), se basa en una lógica de causalidad para la organización de la información de forma lógica y simple, mediante indicadores que se clasifican en tres grupos: presión, estado, respuesta. Para su aplicación se ha hecho los siguientes planteamientos: ¿Cuáles son los principales problemas ambientales identificados en la UH objeto de estudio?, ¿Cuál es el estado actual de los recursos hídricos en la UH?, y ¿Qué estamos haciendo para resolver los problemas ambientales en la UH? En sí, el método PER presupone relación de acción y respuesta entre actividades económicas y del ambiente.

3.4 Consideraciones bioéticas

Durante este estudio no se hizo uso, modificación o experimentos con elementos naturales y/o su información genética. Durante el periodo de estudio para la determinación de la oferta hídrica, en su momento se hizo un acercamiento con la Unión de Comunidades Indígenas de San Pablo, para dar a conocer a sus directivos sobre la realización del presente estudio y poder acceder a datos y documentos que puedan aportar al estudio.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Delimitación del área de estudio con la Metodología Pfafstetter

La microcuenca hidrográfica del río Itambi de acuerdo a la metodología Pfafstetter se encuentra inmersa en la región hidrográfica 1, unidad hidrográfica 15 nivel 2, unidad hidrográfica 154 nivel 3 (cuenca del río Mira), cuenca del río Ambi nivel 4, específicamente el área en estudio está en la UH 15489 nivel 5 (Tabla 5).

Tabla 5.

Parámetros morfométricos del área de estudio, cuenca hidrográfica del río Itambi.

PARÁMETRO	VALOR	DESCRIPCIÓN
Área de la cuenca (ha)	A= 8914,11 ha A= 89,14 km ²	De acuerdo al área calculada pertenece a un tamaño pequeño y se clasifica como pequeña.
Perímetro (km)	P= 53,55 km	La longitud del perímetro es mediana.
Longitud del río principal (km)	L= 9,73 km	La distancia entre el nacimiento y desembocadura del río principal corresponde a un valor bajo, al encontrarse en una rango de 1 a 25 km.
Longitud Axial (km)	La= 7,57 km	Medida entre la desembocadura y el punto más lejano de la cuenca, esta permite tener una idea de la longitud del río principal.
Ancho Máximo	Am= 17,23 km	Medida a partir de los extremos transversales de la cuenca hídrica y perpendiculares al curso principal
Ancho Promedio	Ap= 1777,55	Se calcula dividiendo el área de la cuenca, por su longitud axial
Forma de la cuenca		

Factor de forma	Ff= 96,72	La cuenca tiene una tendencia morfológica, moderadamente achatada. Con tendencia a las crecidas.
Índice de Alargamiento	La=0,43	Definido por la relación: longitud axial y ancho máximo de la cuenca
Índice Asimétrico	Ia=	Referido a la relación del área de las vertientes, A mayor y A menor, evaluando la homogeneidad en la distribución del drenaje y la susceptibilidad a erosión
Elevación de la Cuenca		
Altitud máxima (m)	Hmax= 4593 msnm	
Altitud mínima (m)	Hmin = 2689 msnm	
Altitud media (msnm)	H= 3641 msnm	
Desnivel altitudinal (m)	Dh= 1904 m	La cuenca presenta un alto rango de desnivel altitudinal
Pendiente media de la cuenca (%)	Sm= 13,22	Corresponde a la variación de la inclinación de una cuenca, se puede establecer zonas con mayor erosión o problemas de drenaje y de sedimentación.
<u>Índice de compacidad</u>	Kc= 1,59	La forma de la cuenca es oval – oblonga a rectangular – oblonga
Tiempo de concentración California Kirpich (min)	Tc= 0,87 h	Se demoraría en llegar una gota de agua desde la parte más alejada de la cuenca hasta el punto de salida de la misma.
Coefficiente Orográfico	Co= 1487,17 h/s	Este parámetro expresa el potencial de degradación de la cuenca

4.2 Oferta hídrica neta

El balance hídrico de la cuenca hídrica permite estimar la oferta de agua superficial, sin embargo, cuando existen información histórica confiable de los caudales, “el caudal medio del río es la oferta hídrica” (Gonzalo Rivera, et al., 2004). Del reporte de caudales medios mensuales registrados durante 26 años, desde 1989 a 2015 en la estación Itambi código H026, se tiene como resultado un caudal promedio o caudal modal más probable de 0,467 m³/s (Tabla 6).

Tabla 6.*Caudales medios mensuales en (m³/s), registrados en la estación Itambi código H026.*

AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	% Datos Observados	Media m ³ /s
1989	0,330	0,270	0,350	0,330	0,340	0,280	0,240	0,230	0,280		0,580	0,280	92	0,319
1990	0,290	0,330	0,430	0,460	0,310	0,300	0,300	0,320	0,350	0,400	0,390	0,380	100	0,355
1991	0,380	0,370	0,430	0,420	0,420	0,320	0,310	0,260	0,310	0,410	0,730	0,350	100	0,393
1992	0,360	0,370	0,360	0,410	0,380	0,620	0,350			0,520	0,640	0,660	83	0,467
1993	0,790		0,680	0,600	0,520	0,370	0,330	0,300	0,320	0,410	0,400	0,520	92	0,476
1994		0,490	0,650	0,520		0,350	0,340	0,310	0,320	0,380	0,660		75	
1995	0,400	0,380	0,380	0,380	0,390	0,370	0,380	0,370	0,390	0,480	0,760	0,480	100	0,430
1996	0,540	0,570	0,630	0,640	0,710	0,550	0,490	0,430	0,400	0,530	0,490	0,490	100	0,539
1997	0,720	0,590	0,600		0,580	0,600	0,480	0,490	0,510		0,610	0,540	83	0,572
1998	0,590		0,810	0,720	0,760	0,590	0,520	0,530	0,520	0,580	0,800	0,680	92	0,645
1999	0,790	0,860	0,840	1,080	0,930	0,830	0,790	0,790	0,820	0,380	0,020	0,180	100	0,693
2000	0,250	0,300	0,350	0,460	0,530	0,490	0,420	0,410	0,420	0,410	0,440	0,530	100	0,418
2001	0,580	0,610	0,630	0,630		0,690	0,580	0,600	0,560	0,470	0,780	0,690	92	0,620
2002	0,700	0,740	0,770			0,760	0,760	0,720	0,640	0,650	0,580	0,590	83	0,691
2003	0,570	0,660	0,720	0,710	0,720	0,740	0,660	0,630	0,620	0,660	0,730	0,760	100	0,682
2004	0,630	0,600	0,600	0,610	0,610	0,610	0,620			0,710	0,610	0,600	83	0,620
2005	0,480	0,540	0,530	0,580	0,570	0,620	0,650	0,670	0,720	0,650	0,610	0,780	100	0,617

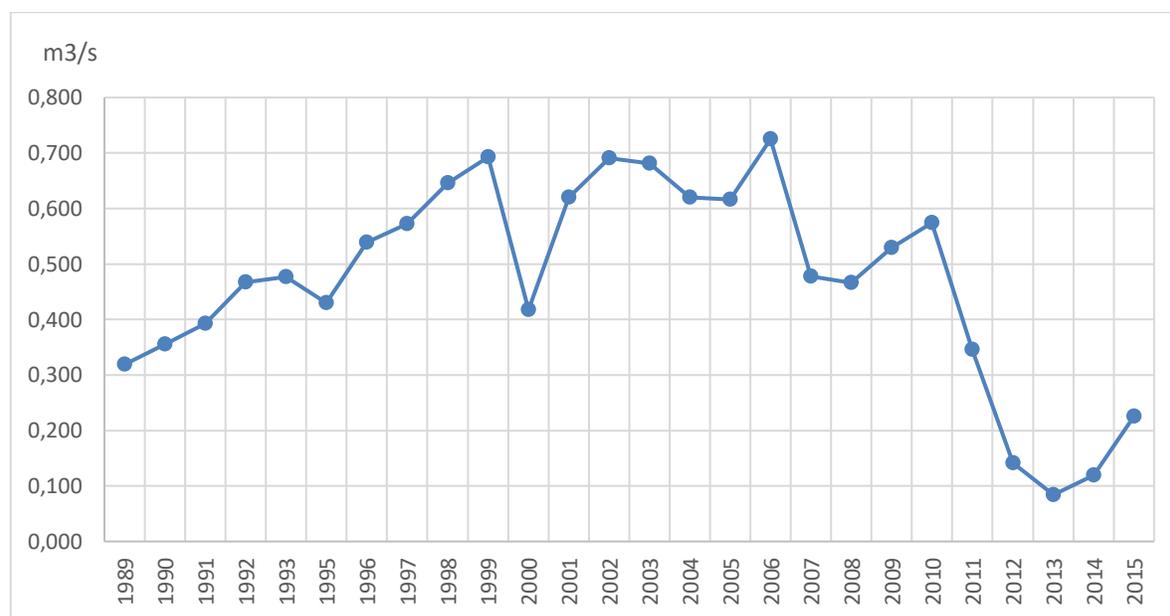
AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	% Datos Observados	Media m ³ /s
2006	0,700	0,710	0,840	0,690	0,680	0,660	0,690	0,700	0,740	0,740	0,770	0,780	100	0,725
2007	0,660	0,650		0,800	0,740	0,300	0,270	0,270	0,300	0,330		0,460	83	0,478
2008	0,540	0,550	0,480	0,560	0,560	0,410	0,360	0,340	0,340	0,460	0,520	0,470	100	0,466
2009	0,480	0,470	0,630	0,610	0,540	0,559	0,510	0,480	0,500	0,480	0,520	0,570	100	0,529
2010	0,600	0,580	0,510	0,540		0,530	0,550	0,550	0,560	0,560	0,660	0,680	92	0,575
2011	0,610	0,660	0,670	0,910	0,700	0,510	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,090	100	0,346
2012	0,600	0,100	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000	0,000	0,050	0,800	92	0,141
2013	0,130	0,130	0,050	0,090	0,100	0,070	0,100	0,100	0,120	0,090	0,030	0,000	100	0,084
2014	0,020	0,000	0,160	0,090	0,230	0,110	0,080	0,080	0,100	0,160	0,220	0,180	100	0,119
2015	0,160	0,190	0,220	0,260	0,180	0,170	0,170	0,190	0,250	0,320	0,320	0,280	100	0,226
														0,467

Nota: Elaborado con base en Anuarios Hidrológicos publicados por el INAMHI, estación Itambi en L. S. Pablo, código H026 (1989 -2015).

Respecto del caudal medio anual, en la Figura 10 se observa que la tendencia de la curva va en aumento a partir del año 1989 hasta 1999 alcanzando un caudal máximo de 0,693 m³/s. En el año 2000 el caudal medio disminuye hasta los 0,418 m³/s, pero este se recupera llegando a su pico más alto en el 2006 con 0,725 m³/s. Sin embargo, a partir de este año el caudal decrece, hasta alcanzar su registro más bajo en el año 2013, que es de 0,084 m³/s. Al ser esta microcuenca parte de la subcuenca del río Ambi, se estima que la causa de esta variación y reducción del caudal, es la misma identificada por Arias-Muñoz et al. (2023) que señala que el incremento de actividades económicas entre los años 1990-2017 aumentaron la demanda del recurso y por lo tanto redujeron la oferta del recurso hídrico.

Figura 10.

Caudal medio anual del período 1989 a 2015.

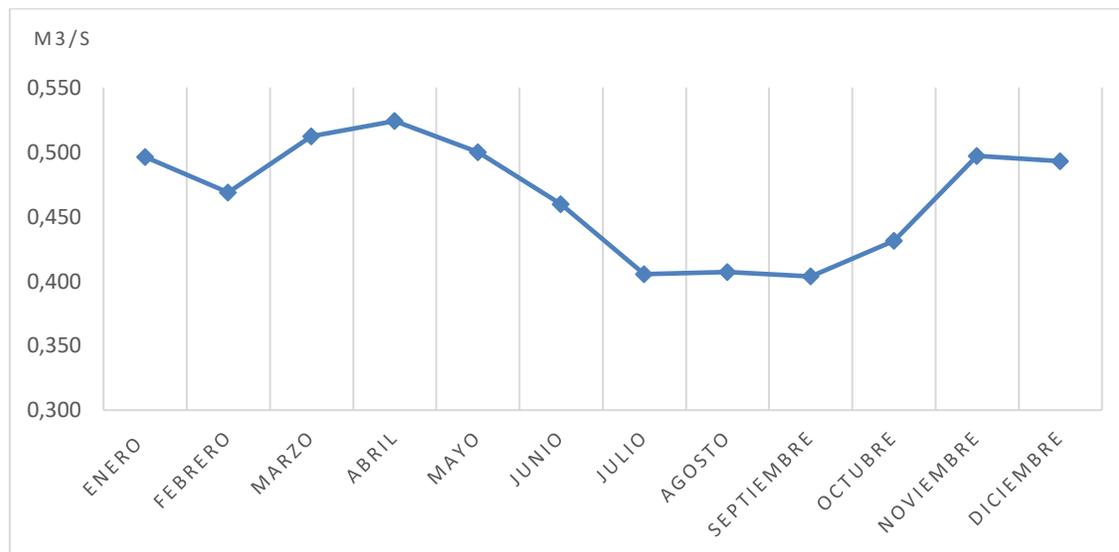


En la Figura 11 se observa que los caudales medios mensuales del periodo 1989 a 2015 en la estación Itambi, reflejan que en los periodos comprendidos entre los meses: marzo-mayo y noviembre-diciembre los valores registrados en los caudales son más altos o superiores a 0,45 m³/s. De hecho, el mes con más alto registro es el mes de abril con 0,524 m³/s. Es decir, el valor mensual del caudal en estos meses es superior al caudal medio anual, lo que implica

que efectivamente la producción de caudal en la microcuenca no es homogénea, sino que su producción está ligado a los meses húmedos.

Figura 11.

Caudal medio mensual del periodo 1989 a 2015.



A la vez con el fin de comprender la variación del caudal se presenta su producción en diferentes periodos. Como resultado para los periodos: 1989 – 1997, 1998 – 2006, 2007 - 2015, se tiene un caudal promedio de 0,441 m³/s; 0,635 m³/s y 0,325 m³/s respectivamente (Tabla 7). De hecho, en el periodo 1998-2006 produce más cantidad de agua respecto a los otros dos periodos (Figura 12). Excepto para el periodo 2007-2015 son los meses de marzo y noviembre, los meses donde se produce un pico significativo en la producción de caudal. Para la época seca comprendida entre julio – septiembre, sé registra un caudal promedio de 0,408 m³/s.

Tabla 7.

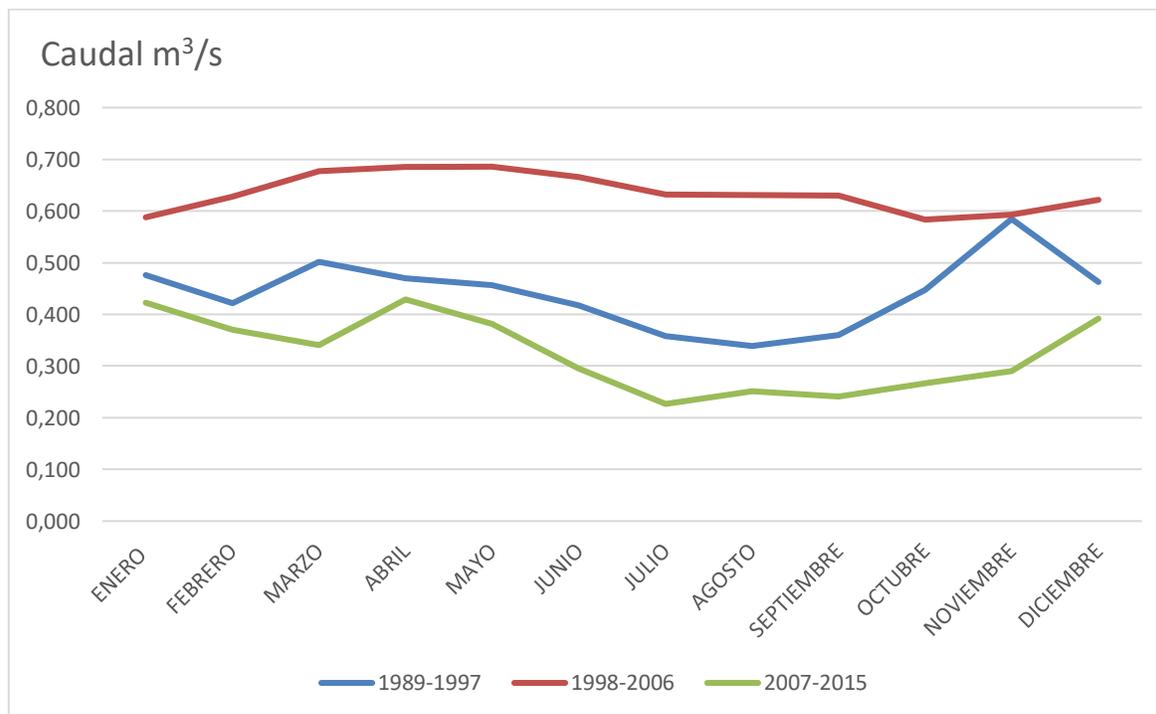
Caudales medios mensuales registrados en la estación Itambi código H026.

Periodo / mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Media m ³ /s
1989-1997	0,476	0,421	0,501	0,470	0,456	0,418	0,358	0,339	0,360	0,447	0,584	0,463	0,441
1998-2006	0,588	0,628	0,677	0,685	0,686	0,666	0,632	0,631	0,630	0,583	0,593	0,621	0,635
2007-2015	0,422	0,370	0,340	0,429	0,381	0,295	0,227	0,251	0,241	0,267	0,290	0,392	0,325

Nota: Elaborado con base en Anuarios Hidrológicos publicados por el INAMHI, estación Itambi en L. S. Pablo, código H026 (1989 - 2015).

Figura 12.

Caudal medio mensual de los periodos (1989 a 1997); (1998 a 2006); y (2007 a 2015).



Con el fin de triangular la información analizada en el presente estudio se compara con la oferta hídrica calculada para las fuentes de agua de la microcuenca realizado por Guaña (2019). Este autor identifica treinta y uno (31) fuentes de agua en la parroquia San Pablo en

el año 2019, y como resultado de aforos levantados en campo obtuvo un caudal de 0,535 m³/s para la época seca (Anexo 1. Tabla 1). Si se compara el caudal de aforo realizado a las fuentes de agua en el año 2017, con los caudales medios mensuales registrados en la estación Itambi periodo 1989 - 2015 en la época seca con 0,408 m³/s, se puede verificar que los caudales no son iguales, sin embargo, presentan similitud con una diferencia de caudal de 0,127 m³/s. Para Arias-Muñoz et al. (2023) la oferta hídrica de la subcuenca del río Ambi alcanza “una producción media de 4,94 m³/s”, si se hace una comparación con la oferta hídrica del río Itambi, ésta representa aproximadamente un 10 % del caudal de la subcuenca.

4.3 Demanda de agua en la cuenca de río Itambi

Con base a la información de las “autorizaciones de uso de agua” del MAATE, se determina que en la unidad hidrográfica en estudio en el periodo 1989 – 2015, se ha venido otorgando y renovando autorizaciones de uso de agua, a razón de la demanda ejercida por el hombre para satisfacer las necesidades de sectores productivos para los diferentes tipos de uso en abrevadero, doméstico, fuerza mecánica, piscícola y riego. En la Tabla 8 se puede observar que la actividad que mayor caudal demanda es para uso doméstico o consumo humano. En relación a la demanda de agua, Perugachi y Cachipundo (2020), refiere que, en la década de 1990 en algunas JAAP ubicadas al margen norte del Lago San Pablo, varios problemas se sienten con intensidad como la escasez de agua, crecimiento de la población y alto costo del servicio, a lo cual las comunidades, buscaban soluciones como reemplazar sistemas de bombeo para abaratar costos y buscar fuentes de agua de otros territorios.

Tabla 8.

Demanda de agua en la cuenca del río Itambi.

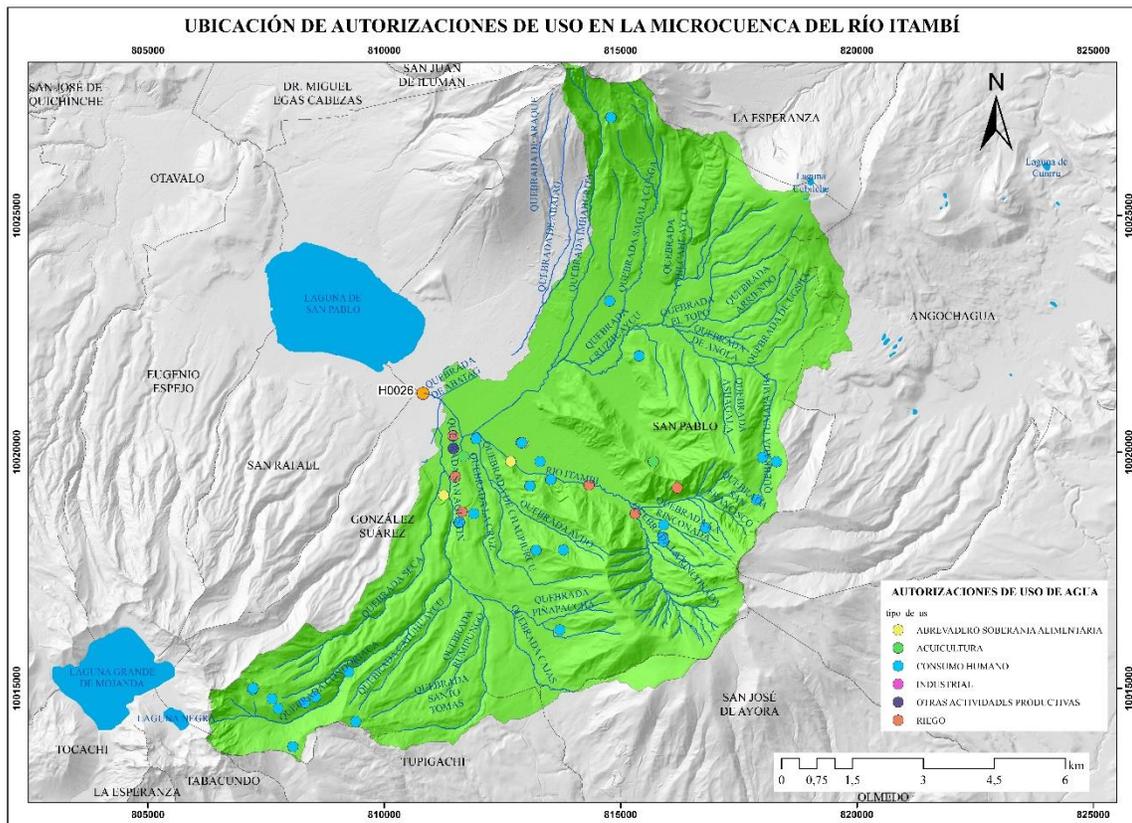
PERIODO	CAUDAL DE DEMANDA (m ³ /s)					TOTAL (m ³ /s)
	TIPO DE USO DE AGUA					
	ABREVADERO	ACUICULTURA	CONSUMO HUMANO	INDUSTRIAL	RIEGO	
1989-2015	0,002	0,035	0,094	0,0003	0,077	0,2085
	1 %	16,8 %	45,2 %	0,2 %	36,8	

Nota: Tomado del Registro Único de Autorizaciones de Uso de Agua MAATE (2024).

Entre los años 1989 a 2015 en la UH en estudio, la demanda hídrica de los sectores productivos desarrollados en la cuenca del río Itambi está representada por dos tipos de demanda: consuntivas y no consuntivas. En general, se distribuyen las autorizaciones entre: abrevadero para la soberanía alimentaria, acuicultura, consumo humano, riego, industrial y otras actividades productivas (Figura 13). En total hay una demanda de 0,303 m³/s, encontrándose que el porcentaje de caudales de tipo consuntivo es mayor que la de tipo no consuntiva (Anexo 1. Tabla 2). De la demanda total hídrica de la subcuenca del río Ambi que alcanza “un valor medio anual de 17,37 m³/s” (p. 22) Arias-Muñoz et al. (2023), la demanda hídrica registrada en la cuenca del río Itambi representa apenas el 1,2 %.

Figura 13.

Autorizaciones de uso de agua ubicadas en el área de estudio, microcuenca del Río Itambi.



4.3.1 Cálculo del índice de escasez de agua en la cuenca hidrográfica del río Itambi

Para el cálculo del Índice de Escasez en la UH 15489, se obtuvo como insumos la oferta hídrica en la estación hidrométrica la cual registra una oferta o caudal de 0,467 m³/s, la oferta hídrica de afluentes en las fuentes abastecedoras 0,535 m³/s, y las demandas de agua de los sectores productivos 0,209 m³/s. En la Tabla 9, se indica la oferta y demandas de agua para cada periodo evaluado.

Tabla 9.

Demanda y Oferta Hídrica por periodo evaluado.

Periodo	Demanda m ³ /s	Oferta m ³ /s
1989-1997	0,104 *	0,441
1998-2006	0,164 **	0,635
2007-2015	0,209 ***	0,325
Global 1989-2015	0,2085	0,467

Nota: *Demanda de agua registrada hasta el año 1997; ** demanda de agua hasta el año 2006, *** demanda hasta el año 2015.

Con los resultados obtenidos de oferta y demanda hídrica, se puede observar que en el período 1989 – 1997, el 22,36% del caudal, y para el periodo 1998 – 2006 el 35,21 % del caudal disponible en la UH es demandado por los diferentes sectores productivos, lo que evidencia que para el periodo 2007 – 2015 por el incremento en la demanda llega al 44,65 % comparado con la oferta. Este fenómeno responde a que la demanda de caudales de agua en la UH va en aumento a diferencia de la oferta, por el incremento demográfico alcanzado con una tasa de crecimiento poblacional de 4,29 % (INEC, 2010). Los estudios realizados por Arias-Muñoz et al. (2023) señalan que la variación de oferta/demanda en la subcuenca del río Ambi, “entre los años 1980 y 2017 ha ocasionado que se triplique la presión sobre los recursos hídricos existentes”.

Por esos motivos, la escasez hídrica se ha incrementado a través del tiempo, considerando que pasó de 23,7% para el periodo 1989-1997, a 25,90 % para el periodo 1998-2006 y finalmente a 64,2 % para el periodo 2007-2015 (Tabla 10). Sin embargo, estos valores de IE alto, no significa ausencia de agua en el área de estudio sino más bien refleja alta presión sobre este recurso, además indica baja disponibilidad de agua para satisfacer la creciente demanda de los sectores productivos (Arias-Muñoz et al. (2023).

Tabla 10.

Índice de escasez hídrica (IE) en cuenca Hidrográfica del río Itambi

Descripción	Índice de Escasez	Categorías del IE	Color
Ie. periodo 1989-1997	23,7	Medio	Amarelo
Ie. periodo 1998-2006	25,90	Medio	Amarelo
Ie. periodo 2007-2015	64,2	Alto	Verde
Ie. Global 1989 - 2015	44,6	Alto	Verde

En consideración al porcentaje de escasez hídrica obtenida en la UH en estudio, merece prioridad en la formulación de políticas de protección del recurso hídrico en un esquema de manejo integral García et al. (2011) por ello la importancia de definir y establecer estrategias que busquen la protección y conservación de la cuenca y la de los recursos hídricos en la UH 15489.

4.3.2 Establecer líneas estratégicas de conservación en la Unidad Hidrográfica 15489: microcuenca del río Itambi

Los indicadores de presión directos que están afectando al ambiente, o a los recursos hídricos del área de estudio, están relacionados con la creciente demanda de recursos hídricos por parte de los diferentes sectores productivos. Como indicadores de presión indirectos, ejercidos por actividades humanas están: la pérdida de ecosistemas como resultado de

afectaciones ambientales resultado de incendios y avance de frontera agrícola en partes altas de la cuenca, falta de conciencia ambiental, cambio climático y el incremento de la demanda hídrica asociado al crecimiento poblacional Tabla 11.

Tabla 11.

Enfoque Presión - Estado - Respuesta

PRESIÓN	LINEAMIENTO
<p>¿Cuáles son los principales problemas ambientales identificados en la UH objeto de estudio?</p>	<ul style="list-style-type: none"> - P1; Incremento de la demanda de recursos hídricos para satisfacer las necesidades de los diferentes sectores productivos. - P2; Disminución de la oferta hídrica. - P3; Pérdida de ecosistemas y biodiversidad por incendios y avance de la frontera agrícola. - P4; Cambio climático. - P5; Falta de conciencia ambiental y desperdicio del agua. - P6; Incendios en partes altas de la cuenca hidrográfica.
ESTADO	
<p>¿Cuál es el estado actual de los recursos hídricos en la UH?</p>	<ul style="list-style-type: none"> - P1.E1; Índice de escasez de agua, alto - P2.E2; Menor oferta hídrica disponible - P3.E3; No existen áreas de protección hídrica. - P4.E4; Falta de infraestructura o canales para el sector agrícola. - P5.E5; Recursos hídricos contaminados. - P6.E6; Desconocimiento de caudal ecológico.
RESPUESTA	
<p>¿Qué estamos haciendo para resolver</p>	<p>P1.E1.R1: Planificar el manejo integral de la cuenca del río Itambi con un enfoque eco sistémico y en</p>

los problemas ambientales en la UH?	concordancia con los Planes de Desarrollo y Ordenamiento Territorial a nivel parroquial, cantonal y provincial. P2.E2; P3.E3; P4.E4; P5.E5; R2: Desarrollas proyectos de conservación y protección de ecosistemas y la biodiversidad. P3.E3; R3: Declaración de áreas de protección para los recursos hídricos P5.E5: R4: Programas de recuperación de espacios naturales degradados.	Planificación Plan de acción
	P2.E2; P3.E3; P4.E4; P5.E5; P6.E6; R5: Investigación en la cuenca hidrográfica del río Itambi.	Investigación
	P6.E6; R6 Programas de Educación Ambiental.	Educación Ambiental

En relación al estado actual de los recursos hídricos, la oferta hídrica disponible en la cuenca hidrográfica del río Itambi, ha disminuido, como resultado de la presión ejercida por la población sobre los recursos naturales. La cuenca presenta un alto índice de escasez de agua, sumado a ello están los problemas de contaminación, falta de infraestructura agrícola e inexistencia de áreas de protección hídrica.

4.3.2.1 Planificación del manejo integral de la cuenca hidrográfica del río Itambi, con enfoque ecosistémico.

Lineamiento 1. Planificación

Planificar el manejo integral de la cuenca hidrográfica del río Itambi, con enfoque eco sistémico

Descripción del lineamiento La planificación del manejo integral de la cuenca hidrográfica del río Itambi con un enfoque eco sistémico, significa buscar una estrategia de manejo integrado de los recursos naturales existentes en la cuenca hídrica, asegurando su uso sostenible, justo, equitativo para así lograr la conservación de zonas de importancia hídrica como son las áreas de recarga hídrica o fuentes abastecedoras.

Esta estrategia debe integrar a todos los actores involucrados para un trabajo conjunto, en equipo desde cada una de sus competencias y buscando un mismo fin, en favor de la protección de los recursos naturales.

Este lineamiento busca aplicar el enfoque eco sistémico propuesto por la Comisión de Manejo Eco sistémico [CEM] de la Unión Mundial Para la Naturaleza [UICN] (Shepherd Gill, 2006), quienes agrupan en 5 pasos, con base en el esquema principal para la acción bajo el Convenio de Diversidad Biológica [CDB] el cual comprende 12 principios.

Actividades De acuerdo con Shepherd (2006), para la aplicación en campo el enfoque ecosistémico se ha organizado los principios, en cinco pasos:

- a) Determinar actores principales, definiendo el área y desarrollando la conexión entre ellos.
 - b) Caracterizar la estructura y función del ecosistema, y estableciendo mecanismos para manejo y monitoreo.
-

-
- c) Identificar aspectos económicos relevantes que afectarán los ecosistemas y sus habitantes.
 - d) Determinar el impacto probable del ecosistema en los ecosistemas adyacentes.
 - e) Decidir sobre metas de largo plazo y mecanismos flexibles para alcanzarlas.
-

Estos pasos deben ser articulados y estar acorde con los planes de ordenamiento territorial, donde los gobiernos descentralizados juegan un importante rol por tener la competencia exclusiva como se señala en el Art. 264 de la Constitución, cuyo fin es regular el uso y la ocupación del suelo urbano y rural, además ejercer el control sobre el uso y ocupación del suelo en el cantón, prestar los servicios públicos de agua potable, alcantarillado, depuración de aguas residuales, manejo de desechos sólidos, saneamiento, y sobre todo la potestad de modificar, suprimir mediante ordenanzas, tasas y contribuciones especiales de mejoras, que pudieran ser destinadas para el manejo de la cuenca. Además, que según el Art. 42 de la Ley de Recursos Hídricos, indica que las directrices de la gestión integral del agua serán observadas en la planificación del desarrollo a los niveles cantonal y parroquial y en la formulación de los Planes de Ordenamiento Territorial.

4.3.2.2 Desarrollar un instrumento estratégico local para la protección y manejo de la cuenca hidrográfica del río Itambi

Lineamiento 2. Plan de acción

Plan de acción como instrumento estratégico local para la protección y manejo de la cuenca hidrográfica del río Itambi.

Descripción del lineamiento Plasmar una estrategia de conservación como un plan de acción, permitirá identificar áreas críticas para implementar acciones y medidas para la conservación, protección, restauración, manejo y uso sostenible de los recursos naturales, gestión integral de riesgos, prevención y mitigación de impactos ambientales, en la cuenca del río Itambi.

Para esta línea estratégica, se ha considerado los objetivos del sistema nacional estratégico del agua, de la Ley de Recursos Hídricos:

1. Articular a los actores que forman parte del sistema nacional estratégico del agua para la gestión integral e integrada de los recursos hídricos; y,
2. Generar mecanismos e instancias para coordinar la planificación y aplicación de la política pública de los recursos hídricos con los actores sociales vinculados con el agua y los diferentes niveles del gobierno, para garantizar el buen vivir.

El sistema nacional estratégico del agua estará conformado por:

1. La Autoridad Única del Agua quien la dirige;
 2. El Consejo Intercultural y Plurinacional del Agua;
 3. Las instituciones de la Función Ejecutiva que cumplan competencias vinculadas a la gestión integral de los recursos hídricos;
 4. La Agencia de Regulación y Control del Agua, adscrita a la Autoridad Única del Agua;
 5. Los Gobiernos Autónomos Descentralizados; y,
 6. Los Consejos de cuenca.
-

Actividades

- a) Trabajo coordinado para la formulación del plan de acción como instrumento estratégico local de protección y manejo de la microcuenca hidrográfica del río Itambi, en mesas de trabajo con actores principales previamente identificados.
 - b) Conformación y del Consejo de cuenca, para cumplimiento de las siguientes funciones establecidas en el Art. 26
 1. Elección de sus representantes al Consejo Intercultural y Plurinacional del Agua;
 2. Activa participación en la formulación de directrices y orientaciones, así como el seguimiento del plan de gestión por cuenca hidrográfica, en el marco del Plan Nacional de Recursos Hídricos;
 3. Establecimiento de propuestas de políticas públicas sectoriales relacionadas a los recursos hídricos, que serán presentadas al Consejo Intercultural y Plurinacional del Agua, a través de sus representantes;
 4. Pronunciarse ante la Autoridad Única del Agua, en todos los temas que sean de su interés o que soliciten;
 5. Activa participación en procesos de consulta que realice la Autoridad Única del Agua y proponer temas prioritarios para la gestión de la cuenca o de las unidades hídricas que la conforman;
 6. Acudir a asuntos que le conciernan y que pudieran influir en el funcionamiento del Consejo;
 7. Vigilar que las decisiones de las políticas y planes de manejo integral de la cuenca se concreten en partidas presupuestarias de los diferentes niveles de gobierno que intervienen en la cuenca; y,
-

4.3.2.3 Desarrollar investigación en la cuenca hidrográfica del río Itambi

Lineamiento 3. Investigación

Investigación en la cuenca hidrográfica del río Itambi.

Descripción del lineamiento Generar investigación en la cuenca hidrográfica del río Itambi es de gran importancia para documentar y tomar decisiones con base en documentos científicos, por ello no solo las universidades a través de sus estudiantes deben generar investigación, sino que debe existir mayor involucramiento y apoyo por parte de otras instituciones estatales y más aún si ya han estado interviniendo en territorio. Por ello se plantea como primera actividad la sistematización del trabajo de campo de instituciones realizado en la cuenca del río Itambi, con el fin de constituir verdaderos documentos que caractericen y sirvan de línea base de esta área de estudio.

- Actividades**
- c) Sistematizar el trabajo de campo de Instituciones estatales que año tras año intervinieron en la cuenca hidrográfica del río Itambi.
 - d) Crear bases de datos corregidas y certificadas por institución del Estado, respecto de la cuenca hidrográfica del río Itambi, en instituciones como INAMHI, MAATE Y SENESCYT
 - e) Establecer una metodología unificada que permitan el cálculo de caudal ecológico, que servirá como punto de partida para la entrega y renovación de autorizaciones de uso del agua por parte de la entidad del ramo.
 - f) Definir estudios para la creación de área de protección de fuentes abastecedoras de la cuenca hidrográfica del río Itambi, principal afluente del Lago San Pablo.
 - g) Desarrollar estudios de optimización del uso del recurso hídrico de la cuenca hidrográfica del río Itambi.
-

-
- h) Realizar estudios encaminados a encontrar áreas con potencial de riego y tecnologías agrícolas, que permitan un mayor desarrollo agrícola.
 - i) Propiciar investigación en áreas como: conservación, turismo, cosecha hídrica.
-

4.3.3 Educación ambiental en la cuenca del río Itambi.

Lineamiento 4. Educación Ambiental

Educación ambiental en la cuenca hidrográfica del río Itambi.

Descripción del lineamiento Las Instituciones Educativas históricamente juegan un papel muy importante en la sociedad, han contribuido al desarrollo social creando condiciones para que exista igualdad de oportunidades por medio de la formación ciudadana. La Constitución señala que la educación es indispensable para el conocimiento y el ejercicio de los derechos, constituyendo eje estratégico para en desarrollo nacional. En el Art. 28 manifiesta “la educación responderá al interés público”, por ello la importancia de proponer como lineamiento la educación ambiental para asegurar la conservación de la cuenca del río Itambi.

-
- Actividades**
- a) Vincular actividades de extensión universitaria en las comunidades, y unidades educativas asentadas en la cuenca hidrográfica del río Itambi, en temas de educación ambiental y los que favorezcan manejo integral de cuencas hidrográfica.
 - b) Desarrollar programas permanentes o turismo comunitario que permita enseñar a los participantes y aprender haciendo, por ejemplo: huertos de traspatio, huertos caseros, abonos orgánicos, crianza de animales menores, entre otros.
 - c) Propiciar la conservación, a través de programas de forestación y reforestación bien consensuados, donde la técnica tenga mayor injerencia que la “política”.
 - d) Buscar mecanismos de capacitación en las comunidades sobre los siguientes temas puntuales: uso y ordenamiento del territorio, manejo de desechos sólidos y líquidos, manejo y gestión de cuencas hidrográficas.
-

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

- La evaluación del índice de escasez de agua se centró en la Unidad Hidrográfica que contiene al principal afluente o tributario del Lago San Pablo, conformado por la microcuenca del río Itambi de gran importancia no solo ecológica sino también social, esto debido a la sinergia existente entre los recursos hídricos y sus habitantes, como es la conformación de pequeños asentamientos de grupos humanos cercanos a sus cuerpos hídricos que con el paso de los años se han ido conglomerando y organizados en comunidades, que actualmente constituye las parroquias San Pablo del Lago y Gonzales Suárez que representan el 16,3 % de la población del cantón Otavalo, lo cual ha incrementado la demanda del recurso hídrico que hasta el 2015 alcanzó un caudal de 0,2085 m³/s.
- A nivel nacional las instituciones encargadas de administrar los recursos hídricos de la UH objeto de estudio, han venido otorgando y renovando autorizaciones de uso del agua demandados por diferentes sectores productivos, es así que en la cuenca del río Itambi se han otorgado y renovado permisos para su uso en: abrevadero, doméstico, fuerza mecánica, piscícola y riego. Los sectores productivos de mayor demanda en la microcuenca del río Itambi son para uso doméstico con el 45,2 %, riego 36,8 % y acuicultura el 16,8 %, los menores porcentajes requeridos son para abrevadero 1 % e industrial 0,2 %.
- Los registros de caudales para un periodo de 26 años en la estación Limnimétrica “Itambi en San Pablo” permitieron conocer la oferta hídrica disponible en la microcuenca del río Itambi. En donde el caudal anual más probable registrado a la salida de la cuenca con 0,467 m³/s que comparado con el caudal demandado por los diferentes sectores productivos 0,209 m³/s, refleja en la microcuenca un índice de escasez alto con un porcentaje de 47,75 % para el periodo 1989-2015.

- El índice de escasez de agua calculado en la UH, denota alta presión sobre recurso hídricos y baja disponibilidad de agua para satisfacer las demandas de sectores productivos. Se evidencia el aumento del porcentaje de escasez hídrica en el tiempo de 23,7 % para el periodo 1989-1997, a 25,90 % para el periodo 1998-2006 y finalmente a 64,2 % para el periodo 2007-2015, como resultado del incremento de la demanda hídrica asociado con el comportamiento demográfico en una tasa de crecimiento promedio anual de 1,07 % para San Pablo del Lago y de 2,34 % en Gonzales Suarez.
- La creciente presión sobre los recursos hídricos del área de estudio está ocasionando una alta escasez de agua, de continuar así la oferta hídrica de la cuenca hidrográfica del río Itambi se vería mayormente afectada, ocasionando potenciales problemas socio-ambientales asociados a la disminución de la oferta hídrica. Problemática que tendría implicaciones sobre la población y el Lago San Pablo en consideración a que el río Itambi es el principal tributario de este cuerpo hídrico.
- En respuesta a la alta presión hídrica que se está ejerciendo sobre los recursos hídricos de la UH, se propone cuatro (4) lineamientos basados en la legislación y norma existente: a) Planificar el manejo integral de la cuenca del río Itambi con un enfoque ecosistémicos, b) Desarrollar un instrumento estratégico local para la protección y manejo de la cuenca hidrográfica del río Itambi; c) Generar investigación en la cuenca hidrográfica del río Itambi, y d) Educación ambiental en el área de influencia de la cuenca hidrográfica del río Itambi.

4.2 RECOMENDACIONES

- Las entidades encargadas de la administración de los recursos hídricos, previo al otorgamiento y/o renovación de autorización de uso de agua a los diferentes sectores productivos deben considerar como uno de sus parámetros de análisis el cálculo de índice de escasez de agua de las unidades hidrográficas.
- Frente a la presión y el estado actual de los recursos hídricos que presenta la cuenca hidrográfica del río Itambi, es importante que las autoridades de turno e instituciones de gobierno y la sociedad civil den respuesta a través de la planificación y manejo integral de la cuenca con un enfoque eco sistémico, a la vez que se desarrollen proyectos de conservación y protección de los ecosistemas y la biodiversidad.
- Con el fin de disminuir la alta presión sobre los recursos hídricos de la UH, es necesario propiciar la participación e intervención de diferentes actores con el objetivo de lograr el manejo integral de la cuenca hidrográfica del río Itambi, para que con base a una planificación se propicien programas de recuperación de espacios naturales degradados a través de la implementación de planes de acción y otras actividades como la conformación de mesas técnicas, educación ambiental y la investigación.

REFERENCIAS

- Agencia de Regulación y Control del Agua [ARCA]. (2021). *Benchmarking de prestadores públicos de los servicios de agua potable y saneamiento en el Ecuador. Boletín Estadístico APS 2021*. Quito.
- Aguirre Núñez, M. (Marzo de 2011). La cuenca hidrográfica en la gestión integral de recursos hídricos. *REDESMA*, 5(1), 1-19.
- Álvarez, J. (2016). https://winninglero.neocities.org/Hidro_HTML5/#. Obtenido de http://winninglero.neocities.org/Hidro_HTML5/index.html
- Arias-Muñoz, D. P., Díaz-Chapués, D., Cabrera--García, S., & Jácome-Aguire, G. (2023). Índice de Escasez Hídrica en la Cuenca del río Ambi - Ecuador.
- Arias-Muñoz, D., Jiménez-Illapa, R., Oquendo-Andino, J., & Cabrera-García, J. (2023). *Reporte de salud ambiental de la cuenca hidrográfica del río Ambi-Ecuador*. DOI: 10.24850/j-tyca-16-1-2. Ibarra-Ecuador: Editorial UTN.
- Arias-Muñoz, P., Saz, M., & Escolano, S. (2023). RUA: Estimación de la erosión del suelo mediante el modelo RUSLE. Caso de estudio: cuenca media alta del río Mira en los Andes de Ecuador. <https://doi.org/10.14198/INGEO.22390>. *Investigaciones Geográficas*, (79), 207-230.
- Asamblea Nacional de la República del Ecuador. (2014). *Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento*. Quito.
- Asamblea Nacional del Ecuador. (2008). *Consitución de la República del Ecuador*.
- Baeza, E., & Torres, R. (2020). Situación de la demanda de recursos hídricos en Chile por parte de los principales usuarios. *Biblioteca del Congreso Nacional de Chile BNC*, 110 - 129.
- Ballestero, M., Arroyo, V., & Mejía, A. (2015). *Inseguridad Económica del Agua en Latinoamérica: de la abundancia a la inseguridad*. Buenos Aires: CAF.
- Banco Interamericano de Desarrollo. (2019). *Estrategia de Seguridad Hídrica para America Latina y el Caribe*.

- Casallas, G., & Gunkel, J. (2015). Algunos aspectos limnológicos de un lago altoandino: el lago San Pablo, Ecuador. *Limnetica*, 215 - 232.
- Castillo, F. A. (2015). Delimitación automática de microcuencas utilizando datos SRTM de la NASA. *Enfoque UTE*, 6(4), 81-97. doi:http://dx.doi.org/10.29019/enfoqueute.v6n4.80
- Consejo Nacional de Planificación. (2024). *Plan de Desarrollo para el Nuevo Ecuador 2024 - 2024*. Quito.
- Costa Posada, Domínguez Calle, Rivera H., & Venegas Sarmiento. (2005). El índice de escasez de agua. ¿Un indicador de crisis o una alerta para orientar la gestión del recurso hídrico? *Revista de Ingeniería*.
- Domínguez Calle, E. A., Rivera, H. G., Vanegas Sarmiento, R., & Moreno, P. (2008). RELACIONES DEMANDA-OFFERTA DE AGUA Y EL ÍNDICE DE ESCASEZ DE AGUA COMO HERRAMIENTAS DE EVALUACIÓN DEL RECURSOHÍDRICO COLOMBIANO. *REV. ACAD. COLOMB. CIENC.: VOLUMEN XXXII, ECOLOGÍA*, 195-212.
- Dourojeanni, A. (1994). La gestión del agua y las cuencas en América Latina. *REVISTA DE LA CEPAL*, 111 - 127.
- Esparza, M. (2014). La sequía y la escasez de agua en México. Situación actual y perspectivas futuras. *Secuencia - Revista de historia de Ciencias Sociales*, 89, 195 -219.
- Falkenmark, M., & Widstrand, C. (1992). *Polution and Water Resources: A delicate balace*. Washington D. C.
- FAO. (2015). *AQUASTAT Perfil de País - Ecuador*. Italia.
- García Reinoso, P., Monsalve Durango, E., & Lozano Sandoval, G. (2011). Análisis espacial y temporal del índice de escasez de agua en la cuenca del río Quindio Colombia. *Invest. Univ. Quindio*, (22) 70-82.
- Garrido, A., Pérez, J., & Enríquez, C. (2010). Delimitación de las zonas funcionales de las cuencas hidrográficas de México. Las cuencas hidrográficas de México: diagnóstico y priorización. *Instituto de Ecología de México Press*, 14-17.
- Gaspari, F. J., Rodríguez Vagaría, A. M., Senisterra, G. E., Delgado, M. I., & Besteiro, S. I. (2013). *Elementos metodológicos para el manejo de cuencas hidrográficas* (1 ed., Vol. 1). La Plata Buenos Aires. Argentina.: E-Book.

- Gobierno Autónomo Descentralizado de la Parroquia. (2015). *PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL DE LA PARROQUIA GONZALEZ SUAREZ 2015 - 2019*. González Suarez - Otavalo.
- Gobierno Autónomo Descentralizado de la Parroquia Rural San Pablo del Lago. (2015). *PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL DE LA PARROQUIA SAN PABLO actualización 2015 - 2019*. San Pablo - Otavalo.
- Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial Rural de San Pablo del Lago. (2020). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Parroquia San Pablo del Lago*. San Pablo.
- Gonzalo Rivera, H., Marin Ramirez, R., & Venegas, R. (2004). *Metodología de calculo del indice de escasez*. Bogotá.
- Guaña Oña, L. (2019). Inventario socioambiental participativo de los recursos hídricos existentes en la parroquia rural San Pablo del Lago, cantón Otavalo. <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/8874>. Otavalo, Ecuador.
- Heras, R. (1976). *Hidrología y recursos hídricos*. Madrid España.
- IDEAM. (1998). *Estudio nacional del agua*. Colombia.
- IDEAM. (2004). *Proyecto Sistema de Información del Medio Ambiente, SIMA. Metodología para el Cálculo del Índice de Escasez*. Lima.
- IDEAM. (2008). *Informe Anual sobre el Estado del Medio Ambiente y los Recursos Naturales Renovables en Colombia. Estudio Nacional del Agua. Relaciones de demanda de agua y oferta hídrica*. Bogota.
- Infante, L., & Ortiz, H. (2008). Ajuste metodológico al Índice de Escasez de agua propuesto por el IDEAM en el Plan de Ordenación y manejo de la cuenca del río Pamplonita, norte de Santander, Colombia. *Colombia Forestal*, 165 - 173.
- Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales, I. (2004). Proyecto Sistema de Información del Medio Ambiente, SIMA. Metodología para el Cálculo del Índice de Escasez.
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. (2022). *Censo Nacional de Población y Vivienda*.
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología INAMHI. (2015). Mapa de escurrimiento en la Cuenca Río Mira. Quito.

- Jackson, R., Idso, R., & Reginato, J. (1981). Canopy temperature as a crop water stress indicator. *Water Resour.*
- Jardi, M. (1985). Forma de una cuenca de drenaje. Analisis de las variables morfométricas que nos la definen. *Revista de Geografía*, 41 - 68.
- Jiménez Cortes , J. C. (2017). *CARACTERIZACIÓN MORFOMÉTRICA Y DIAGNÓSTICO DEL RECURSO HÍDRICO DEL RIO LINDO EN EL MUNICIPIO DE VIOTÁ, CUNDINAMARCA*. Bogota.
- Lago, G. A. (2020). *ACTUALIZACIÓN DEL PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL DE LA PARROQUIA SAN PABLO DEL LAGO – PERÍODO 2019-2023*. SAN PABLO DEL LAGO - OTAVALO.
- MAG - SIGTIERRAS. (2023). *Modelo Digital del Terreno*. <http://geoportal.agricultura.gob.ec/index.php/biblioteca-geoportal-agroecuadoriano>. Ecuador.
- Ministerio del Ambiente [MAE]. (2002). *División Hidrográfica del Ecuador en el Ámbito de Sistemas, Cuencas y Subcuencas. Unidad de Cambio Climático - Consejo de Recursos Hídricos*.
- Oppliger, A., Höhl, J., & Fragkou, M. (2019). Escasez de agua: develando sus orígenes híbridos en la cuenca del río Bueno, Chile. *Revista de geografía Norte Grande*.
- Ordoñez, J. J. (2011). *¿QUÉ ES CUENCA HIDROLÓGICA?* LIMA - PERÚ: SENAMHI.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2018). *Progresos en el nivel de estrés hídrico: valores de referencia mundiales para el indicador 6.4.2 de los ODS*. Roma: Creative Commons.
- ORGANIZATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. (1993). *OECD CORE SET OF INDICATORS FOR ENVIRONMENTAL PERFORMANCE REVIEWS. A synthesis report by the Group on the State of the Environment*. Paris.
- Pérez, J. (1979). *Fundamentos del ciclo Hidrológico*. Universidad de Venezuela. Caracas - Venezuela.
- Perugachi Cachimuel, J. M., & Chachipundo Ulcuango, C. (2020). *La Lucha por el Agua. Gestión Comunitaria del Proyecto de Agua Potable Pesillo-Imbabura*. Cuenca Ecuador: ABYA YALA.

- Ponce, V. (2015). *El Sistema de Codificación Pfafstetter para la Identificación de Cuencas Hidrográficas*.
- Proyecto Sistema de Información del Medio Ambiente, [SIMA]. (2004). *Método para el cálculo del índice de escasez de agua superficial*. Lima.
- Rosas, L., & Quispe, M. (2009). *MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE DELIMITACIÓN Y CODIFICACIÓN DE UNIDADES HIDROGRÁFICAS CASO: ECUADOR*. ECUADOR: UICN.
- Ruiz, R., & Torres, H. (2011). *Codificación y clasificación de cursos de agua superficiales del Perú*. Lima - Perú.
- Ruiz, R., & Torres, H. (2008). *MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE DELIMITACIÓN Y CODIFICACIÓN DE UNIDADES HIDROGRÁFICAS: CASO AMÉRICA DEL SUR*. UICN SUR.
- Secretaría Nacional de Planificación. (2024). *Plan de Desarrollo Para El Nuevo Ecuador*. Quito.
- Secretaría Nacional del Agua, S. (2011). *Resolución 2011-245*. Quito.
- Sellers, C., Buján, S., Corbelle, E., & Miranda, D. (2017). *Morfología interpretativa de alta resolución usando datos LiDAR en la cuenca hidrográfica del río Paute en Ecuador*. Cuenca.
- SENAGUA. (2017). *Datos de caudales de autorizaciones de uso de agua*. Ibarra.
- Shepherd Gill. (2006). *El Enfoque Ecosistémico. Cinco pasos para su Implementación*. UICN, Glad. Suiza y Cambridge, Reino Unido.
- Solanes, M., & Getches, D. (1998). *Prácticas recomendables para la elaboración de leyes y regulaciones relacionadas con el recurso hídrico*. Washington, D.C.: Banco Interamericano de Desarrollo.
- Szollosi, N., Najlis, P., & Bjorklund, G. (1998). *Evaluación de los recursos mundiales de agua dulce. Naturaleza y recursos*.
- Thornthwaite, C., & Mather, R. (1955). The water balance. *Climatology, laboratory of climatology*, 104.
- UICN - SENAGUA - SGCAN. (2009). *Delimitación y Codificación de Unidades Hidrográficas del Ecuador Escala 1:250000 Nivel 5. Metodología Pfafstetter*. Quito.

- United Nations Convention to Combat Desertification, [UNCCD]. (2017). *Perspectiva global de la tierra. Los recursos hídricos. CNUCLD*, 160 - 188.
- Vásquez Valencia, R., & García Almada, R. (2018). *Indicadores PER y FPEIR para el análisis de la sustentabilidad en el municipio de Cihuatlán*. Jalisco, México.
- Vázcones, M., Mancheno, A., Alvarez, C., Prenh, C., Cevallos, C., & Ortiz, L. (2019). *Cuencas Hidrográficas*. Cuenca - Ecuador: ABYA YALA.
- Walker, J., Dowling, T., & Veitch, S. (2006). An assessment of catchment condition in Australia. *Ecological Indicators*, 205 - 214.
- World Vision. (2004). *Manual de Manejo de Cuencas*. San Salvador: Visión Mundial El Salvador.
- WWAP. (2019). *Informe mundial de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos 2019: no dejar a nadie atrás*. París - Francia.
- Yáñez, L., Franco, P., Bastidas, W., & Córdova, V. (2017). RESUMEN DEL PLAN DE GESTIÓN INTEGRADA E INTEGRAL DE LOS RECURSOS HÍDRICOS Y DE LAS CUENCAS Y MICROCUENCAS HIDROGRÁFICAS DEL ECUADOR. *Aqua - LAC*, 124 - 132.

ANEXOS

ANEXO 1.**TABLAS**

Tabla 1.

Aforos realizados a fuentes de agua e identificadas en campo.

Nombre de la fuente	Caudal m³/s	X	Y
Tomaturo 2	0,0006	818718,53	10019335,87
S/N	0,0005	811400,78	10022373,83
Apangora 1	0,0470	811120,68	10022955,27
Apangora 2	0,0630	811110,96	10022959,97
Apangora 3	0,0890	811098,73	10022965,62
Sumak Yaku	0,1360	810908,52	10023133,40
Romero	0,0015	810904,01	10023158,14
Araque	0,0019	810662,13	10023129,79
Antamba	0,0036	810626,22	10023220,95
Araguillin	0,0000	810611,03	10023229,10
Imbabura	0,0000	813378,55	10026737,29
Ojo de quinde	0,1530	811339,16	10021956,82
S/N	0,0018	811354,48	10022059,68
S/N	0,0001	811524,65	10022140,27
Angélica	0,0184	812296,16	10021576,22
La Clemencia	0,0038	812186,01	10021307,14
Justicia	0,0000	812214,62	10021297,13
Potrero	0,0000	812055,58	10020941,94
Gaglio Pogyo	0,0001	812173,13	10020855,37
R. Proaño	0,0000	812316,19	10021011,30
Tomaturo 1	0,0043	818047,38	10019423,15
S/N	0,0000	815055,49	10023851,58
Dausa Pogyo	0,0000	817019,15	10024709,48
Puma Pogyo	0,0004	817888,48	10024445,43
Pichacho	0,0004	814579,02	10026679,69
Carbón Pogyo	0,0001	818562,39	10024064,39
San Francisco	0,0069	817289,25	10019098,10
La Compañía	0,0016	817564,58	10018464,46

Potrерillo	0,0003	815659,36	10018759,63
Proaño	0,0005	815722,30	10018901,26
Agua de Güitig	0,0001	815441,92	10018888,38
TOTAL	0,535		

Nota: Tomado de Guaña (2019)

Tabla 2

Listado de autorizaciones de uso de agua, ubicadas en la cuenca hidrográfica del río Itambi.

NOMBRE DE USUARIO AUTORIZADO	CANTÓN	PARROQUIA	NOMBRE DE LA FUENTE	NOMBRE DE USO	X	Y	COTA
COMUNIDAD PIJAL	OTAVALO	GONZALEZ SUAREZ	RIO AMBI / RIO ITAMBI	ACUICULTURA	815700	10019800	2820.0
JUNTA ADMINISTRADORA DE AGUA POTABLE COMUNIDAD ANGLA	OTAVALO	SAN PABLO	RIO AMBI / VERTIENTE SAN FRANCISCO Y PEROLCUNGA	CONSUMO HUMANO	817880	10018990	3550.0
COMUNIDAD PIJAL	OTAVALO	GONZALEZ SUAREZ	RIO AMBI / VERTIENTE GALLO POGYO	CONSUMO HUMANO	813086	10019287	2700.0
FUNDACION VILLANOVA	OTAVALO	SAN PABLO DE LAGO	RIO ITAMBI	INDUSTRIAL	814335	10019303	2701.0
FUNDACION VILLANOVA	OTAVALO	SAN PABLO DE LAGO	RIO ITAMBI	ABREVADERO SOBERANIA ALIMENTARIA	814335	10019303	2701.0
FUNDACION VILLANOVA	OTAVALO	SAN PABLO DE LAGO	RIO ITAMBI	RIEGO	814335	10019303	2701.0
FUNDACION VILLANOVA	OTAVALO	GONZALEZ SUAREZ	VERTIENTE LA TRONCA	ABREVADERO SOBERANIA ALIMENTARIA	813527	10019419	2704.0
FUNDACION VILLANOVA	OTAVALO	GONZALEZ SUAREZ	VERTIENTE LA TRONCA	CONSUMO HUMANO	813527	10019419	2704.0
COMUNIDAD SAN ISIDRO Y SAN FRANCISCO	OTAVALO	SAN PABLO	RIO AMBI / VERTIENTE CALLO POGYO	CONSUMO HUMANO	818006	10019889	2710.0
JUNTA ADMINISTRADORA REGIONAL PIJAL Y OTRAS	OTAVALO	GONZALEZ SUAREZ	RIO AMBI / VERTIENTE GALLO POGYO	CONSUMO HUMANO	813300	10019800	2710.0
ASOCIACION TRABAJADORES AUTONOMOS ATAHUALPA	OTAVALO	GONZALEZ SUAREZ	RIO AMBI / VERTIENTE APANGORA	CONSUMO HUMANO	813720	10016240	3012.0
QUILUMBAQUI MILTON Y OTRO	OTAVALO	GONZALEZ SUAREZ	RIO AMBI / VERTIENTE SIN NOMBRE	CONSUMO HUMANO	811900	10018700	2945.0
COMUNIDAD MARISCAL SUCRE	OTAVALO	GONZALEZ SUAREZ	VERTIENTE POGYOPAMBA	RIEGO	811261	10019088	2728.0
COMUNIDAD MARISCAL SUCRE	OTAVALO	GONZALEZ SUAREZ	VERTIENTE POGYOPAMBA	ABREVADERO SOBERANIA ALIMENTARIA	811261	10019088	2728.0
CEVALLOS TORRES WALTER FABIAN	OTAVALO	GONZALEZ SUAREZ	RIO AMBI / VERTIENTE POGYOPAMBA	CONSUMO HUMANO	811506	10019480	2739.0
CEVALLOS TORRES WALTER FABIAN	OTAVALO	GONZALEZ SUAREZ	RIO AMBI / VERTIENTE POGYOPAMBA	ABREVADERO SOBERANIA ALIMENTARIA	811506	10019480	2739.0

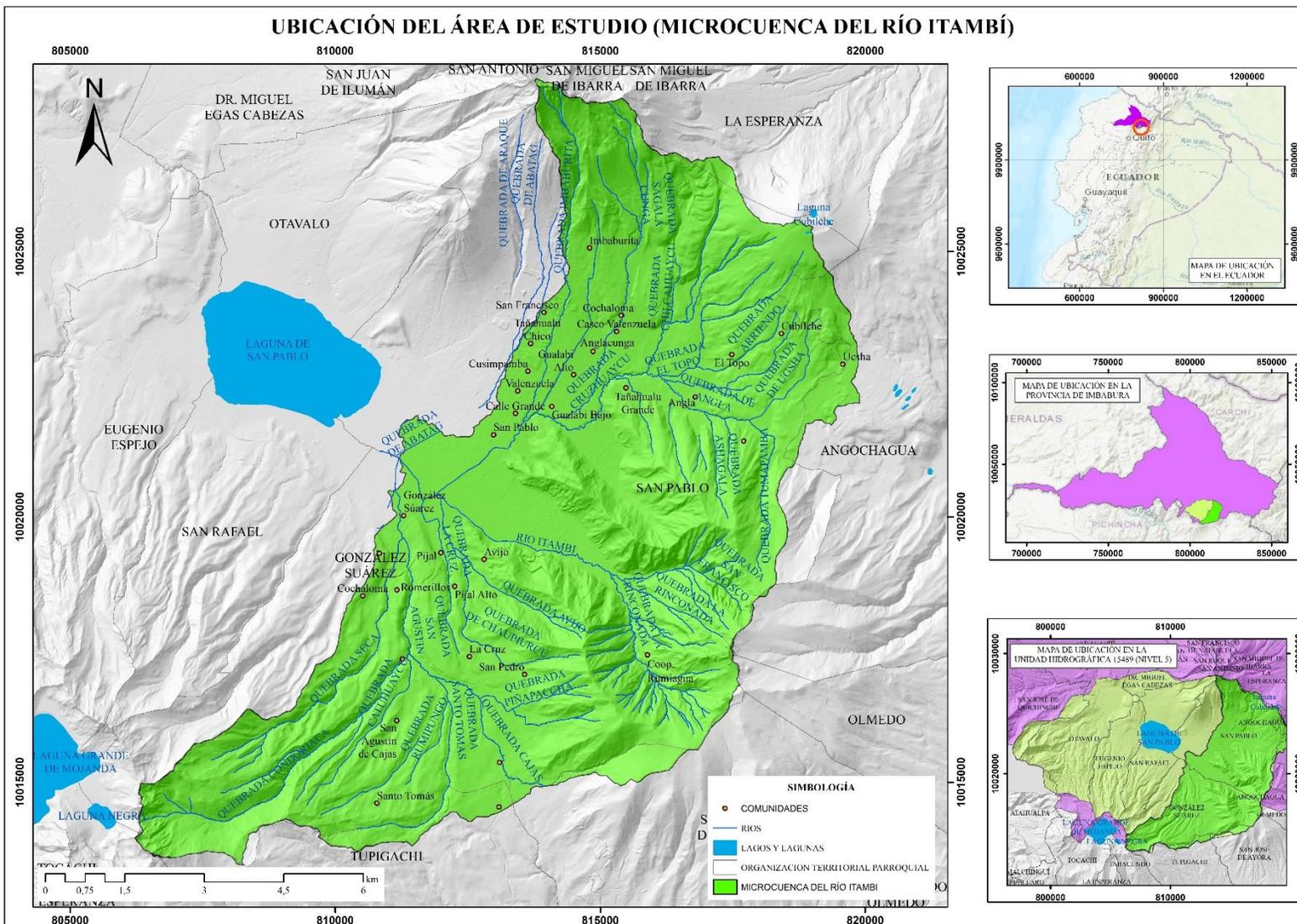
NOMBRE DE USUARIO AUTORIZADO	CANTÓN	PARROQUIA	NOMBRE DE LA FUENTE	NOMBRE DE USO	X	Y	COTA
CEVALLOS TORRES WALTER FABIAN	OTAVALO	GONZALEZ SUAREZ	RIO AMBI / VERTIENTE POGYOPAMBA	RIEGO	811506	10019480	2739.0
CABILDO DE LA COMUNIDAD DE PIJAL	OTAVALO	GONZALEZ SUAREZ	QUEBRADA SAN FRANCISCO DE MILAN O LA COMPANIA	CONSUMO HUMANO	816800	10018400	3350.0
COMUNIDAD PIJAL ALTO	OTAVALO	GONZALEZ SUAREZ	RIO AMBI / VERTIENTE TURUCU	CONSUMO HUMANO	813215	10017926	2954.0
FUNDACION VILLANOVA	OTAVALO	SAN PABLO DE LAGO	VERTIENTE LOS POGYOS	RIEGO	812942	10020190	2698.0
FUNDACION VILLANOVA	OTAVALO	SAN PABLO DE LAGO	VERTIENTE LOS POGYOS	ABREVADERO SOBERANIA ALIMENTARIA	812942	10020190	2698.0
JUNTA DE AGUA POTABLE COMUNIDAD SAN AGUSTIN	OTAVALO	GONZALEZ SUAREZ	VERTIENTE EL LAUREL	CONSUMO HUMANO	807761	10014580	3680.0
CRIOLLO BAEZ CESAR FLOIRAN	OTAVALO	GONZALEZ SUAREZ	VERTIENTES SIN NOMBRE	ACUICULTURA	811677	10019913	2691.0
COMUNIDAD DE CACHIVIRU	OTAVALO	SAN PABLO	QUEBRADA SAN FRANCISCO	CONSUMO HUMANO	815913	10018460	2960.0
JUNTA ADMINISTRATIVA AGUAS POTABLE GONZALES SUAREZ	OTAVALO	GONZALEZ SUAREZ	RIO AMBI / VERTIENTE DE APANGORAS	CONSUMO HUMANO	811579	10018508	2795.0
JUNTA ADMINISTRATIVA AGUAS POTABLE GONZALES SUAREZ	OTAVALO	GONZALEZ SUAREZ	RIO AMBI / VERTIENTE POGYO DE APANGORAS	CONSUMO HUMANO	811950	10020279	2692.0
COMUNIDAD LOMA GORDA	OTAVALO	GONZALEZ SUAREZ	RIO AMBI / VERTIENTE PUNGO HUAYCU	CONSUMO HUMANO	807231	10015010	3767.0
JUNTA ADMINISTRADORA DE AGUA POTABLE COMUNIDAD PIJAL BAJO	OTAVALO	GONZALEZ SUAREZ	VERTIENTE CUCOBANCE	CONSUMO HUMANO	811595	10018515	2789.0
JUNTA ADMINISTRADORA DE AGUA POTABLE COMUNIDAD PIJAL BAJO	OTAVALO	GONZALEZ SUAREZ	VERTIENTE GALLO POGYO	CONSUMO HUMANO	812915	10020200	2678.0
ANDRADE MENDEZ FELIX ANGEL	OTAVALO	GONZALEZ SUAREZ	QUEBRADA CUCUBANSTE O CUCUVANCE	RIEGO	811646	10018737	2780.0
COMUNIDAD MARISCAL SUCRE	OTAVALO	GONZALEZ SUAREZ	VERTIENTE CONDOR JACA PACCHA	CONSUMO HUMANO	809250	10015350	3400.0
FUNDACION VILLANOVA	OTAVALO	SAN PABLO DE LAGO	VERTIENTE GALLO POGYO	RIEGO	812678	10019804	2673.0
FUNDACION VILLANOVA	OTAVALO	SAN PABLO DE LAGO	VERTIENTE GALLO POGYO	ABREVADERO SOBERANIA ALIMENTARIA	812678	10019804	2673.0

NOMBRE DE USUARIO AUTORIZADO	CANTÓN	PARROQUIA	NOMBRE DE LA FUENTE	NOMBRE DE USO	X	Y	COTA
COMPANIA TRANSGUAY SOCIEDAD ANONIMA	OTAVALO	SAN PABLO	RIO ITAMBI	ABREVADERO SOBERANIA ALIMENTARIA	815311	10018704	2775.0
COMPANIA TRANSGUAY SOCIEDAD ANONIMA	OTAVALO	SAN PABLO	RIO ITAMBI	RIEGO	815311	10018704	2775.0
JUNTA ADMINISTRADORA DE AGUA POTABLE COMUNIDAD EL ANGLA	OTAVALO	SAN PABLO	POZO	CONSUMO HUMANO	815393	10022036	2787.0
COMUNIDAD GUALACATA	OTAVALO	GONZALEZ SUAREZ	RIO AMBI / VERTIENTE GUAGZARA	RIEGO	811070	10020169	2724.0

Nota: Registro Único de Autorizaciones de Uso de Agua MAATE (2024).

ANEXO 2.

MAPAS



UBICACIÓN DE AUTORIZACIONES DE USO EN LA MICROCUENCA DEL RÍO ITAMBÍ

