

Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano
Departamento de Ambiente y Desarrollo
Ingeniería en Ambiente y Desarrollo



Proyecto Especial de Graduación

**Cartografía básica y caracterización de la calidad de agua para una
microcuenca del Río Bonito, San Antonio Bacadía, Taulabé, Honduras**

Estudiante

Ana Lucía Sajquím Velásquez

Asesores

Alexandra Maribel Manueles Lorenzo, Mtr.

Lourdes Susana Espinal Cabrera, Ing.

Jeffrey José Díaz Sierra, M.Sc.

Honduras, agosto 2024

Autoridades

SERGIO ANDRÉS RODRÍGUEZ ROYO

Rector

ANA M. MAIER ACOSTA

Vicepresidenta y Decana Académica

VICTORIA CORTÉS MATAMOROS

Directora del Departamento de Ambiente y Desarrollo

HUGO ZAVALA MEMBREÑO

Secretario General

Agradecimientos

Un especial agradecimiento a la alcaldía municipal de Taulabé por su colaboración técnica y económica en este Proyecto Especial de Graduación.

Contenido

Agradecimientos.....	3
Índice de Cuadros.....	6
Índice de Figuras.....	8
Índice de Anexos.....	9
Resumen.....	10
Abstract.....	11
Introducción.....	12
Metodología.....	15
Área de Estudio.....	15
Alcance y Diseño.....	16
Fuentes y Recopilación Inicial de Datos.....	17
Caracterización Biofísica de la Microcuenca.....	18
Delimitación de la Microcuenca.....	18
Coefficiente de Gravelius (Kc).....	18
Tiempo de Concentración (tc) en la Microcuenca.....	19
Densidad de Drenaje.....	20
Parámetros de Relieve.....	20
Identificación de Áreas Protegidas en la Microcuenca.....	21
Usos y Coberturas.....	21
Capacidad de Uso del Suelo.....	22
Conflictos de Uso.....	23
Análisis de Calidad de Agua.....	24
Temperatura.....	25
Potencial de Hidrógeno (pH).....	25

Turbidez	25
Nitratos	26
Sulfatos	26
Dureza	26
Conductividad Eléctrica.....	26
Sólidos Totales Disueltos	27
Ortofosfato.....	27
Coliformes Fecales	27
Coliformes Totales	28
Resultados y Discusión.....	29
Caracterización de la Microcuenca.....	29
Caracterización de la Calidad del Agua para las Comunidades de Cerro Azul, Varsovia y Bacadía	
Parámetros Físicoquímicos de las Fuentes de Captación	38
Potencial de Hidrógeno (pH).....	45
Turbidez	46
Coliformes.....	48
Conclusiones	51
Recomendaciones.....	52
Referencias.....	53
Anexos.....	57

Índice de Cuadros

Cuadro 1 Mapas básicos y temáticos para elaborar la línea base	17
Cuadro 2 Formas de la cuenca según su índice de compacidad.....	19
Cuadro 3 Clasificación de pendientes	21
Cuadro 4 Usos y coberturas del suelo.....	22
Cuadro 5 Capacidad de uso de suelo	23
Cuadro 6 Clasificación de conflictos de uso.....	23
Cuadro 7 Métodos analíticos para parámetros de calidad de agua	28
Cuadro 8 Características morfométricas	30
Cuadro 9 Área de pendiente.....	33
Cuadro 10 Usos y coberturas	35
Cuadro 11 Clasificación de la capacidad de uso de suelo.....	36
Cuadro 12 Resultados capacidad de usos del suelo	36
Cuadro 13 Parámetros de calidad de agua en la obra toma de Bacadía en comparación con la categoría para Uso en abastecimiento de poblaciones.....	39
Cuadro 14 Parámetros de calidad de agua en la obra toma de Bacadía en comparación con la categoría para uso agrícola y pecuario	40
Cuadro 15 Parámetros de calidad de agua en la obra toma de Bacadía en comparación la categoría para uso en preservación de flora y fauna	41
Cuadro 16 Parámetros de calidad de agua en la obra toma de Bacadía en comparación con la categoría para uso recreativo	42
Cuadro 17 Parámetros de calidad de agua en la obra toma de Cerro Azul en comparación con la categoría para uso de abastecimiento de poblaciones	43
Cuadro 18 Parámetros de calidad de agua en la obra toma de Cerro Azul en comparación con la categoría para uso de preservación de flora y fauna	43

Cuadro 19 Parámetros de calidad de agua en la obra toma de Varsovia en comparación con la categoría para uso de abastecimiento de poblaciones	44
Cuadro 20 Variación del pH en tres localidades según la época del año	45

Índice de Figuras

Figura 1 Ubicación del área de estudio.....	15
Figura 2 Esquema de la investigación	16
Figura 3 Mapa de ubicación de la microcuenca.....	30
Figura 4 Mapa de infraestructura y red hídrica de una microcuenca del Río Bonito, Bacadía	31
Figura 5 Mapa de áreas protegidas de una microcuenca del Río Bonito, Bacadía	32
Figura 6 Mapa de pendientes de una microcuenca del Río Bonito, Bacadía.....	34
Figura 7 Mapa de usos y coberturas de la microcuenca Río Bonito San Antonio Bacadía	35
Figura 8 Capacidad de uso de suelo de una microcuenca del Río Bonito, Bacadía	37
Figura 9 Mapa de conflictos de usos de la microcuenca Río Bonito San Antonio Bacadía	38
Figura 10 pH en las fuentes de captación en dos épocas del año	46
Figura 11 Turbidez en el agua de las fuentes de captación en dos épocas del año	47
Figura 12 Ortofosfatos en fuentes de captación en dos épocas del año.....	48
Figura 13 Coliformes totales en fuentes de captación en dos épocas del año en comparación con la Norma Técnica Nacional para la calidad de agua potable de 1995.....	49
Figura 14 Coliformes fecales (E. coli) en fuentes de captación en dos épocas del año en comparación con la Norma Técnica Nacional para la calidad de agua potable de 1995	50

Índice de Anexos

Anexo A Delimitación de la microcuenca en la hoja cartográfica a una escala de 1:50,000.....	57
Anexo B Parámetros de calidad de agua en la obra toma de Bacadía en comparación con la Norma Técnica Nacional para la calidad de agua potable de 1995.....	58
Anexo C Parámetros de calidad de agua en la obra toma de Varsovia en comparación con la categoría para uso de preservación de flora y fauna	59

Resumen

La microcuenca es una parte del territorio delimitada por líneas divisorias de agua, que fluye hacia un tributario. Las microcuencas y sus características biofísicas juegan un rol importante en la calidad y cantidad de agua. Se realizó esta investigación en una microcuenca del Río Bonito, San Antonio de Bacadía, Taulabé, Honduras. El propósito fue generar la cartografía básica y la caracterización de la calidad de agua de la microcuenca. Se utilizaron herramientas geográficas del programa QGIS® sobre análisis de superficies e hidrográficas, por otro lado, se midieron parámetros de calidad de agua. La microcuenca tiene un área de 10.63 ha, se ubica entre los 940 – 1,200 metros sobre el nivel del mar. En ella predominan las pendientes > 30% y el bosque mixto. Se llevó a cabo un análisis *in situ* en las obras de captación de las comunidades de Bacadía, Cerro Azul y Varsovia para temperatura, pH, conductividad y turbidez. En laboratorio, se analizaron los parámetros de fosfatos, manganeso, coliformes fecales y totales. Los resultados se compararon con la Norma Técnica para Calidad del Agua Potable de 1995 y con el borrador 15/05/01 de la Norma Técnica Nacional para Agua, indicando que todos los parámetros están dentro de los límites permisibles, excepto las coliformes totales y fecales. Los resultados de este proyecto se pueden usar en el diagnóstico de la microcuenca, requisito fundamental para el plan de acción de esta, en caso de pasar por un proceso de declaratoria.

Palabras clave: Cobertura de suelos, coliformes, conductividad eléctrica, imágenes por satélite, preservación

Abstract

The micro-watershed is a part of the territory that is delineated by water divides, which flow towards a tributary. Micro-watersheds and their biophysical characteristics play an important role in the quality and quantity of water. This research was conducted in a micro-watershed of the Río Bonito, San Antonio de Bacadía, Taulabé, Honduras. The purpose was to generate basic cartography and characterize the water quality of the micro-watershed. Geographic tools from the QGIS® program were used for surface and hydrographic analysis; additionally, water quality parameters were measured. The micro-watershed has an area of 10.63 hectares, located between 940 and 1,200 meters above sea level, with slopes > 30% and mixed forest predominating. An in-situ analysis was carried out at the catchment works of the communities of Bacadía, Cerro Azul, and Varsovia for temperature, pH, conductivity, and turbidity. In the laboratory, parameters of nitrates, phosphates, manganese, fecal and total coliforms were analyzed. The results were compared with the 1995 Water Quality Technical Standard and the draft 15/05/01 of the National Technical Standard for Water, indicating that all parameters are within permissible limits, except for the values of total coliforms and fecal coliforms (*E. coli*). The results of this project can be used in the diagnosis of the micro-watershed, a fundamental requirement for its action plan, in case it undergoes a declaration process.

Key words: Coliforms, electrical conductivity, land cover, preservation, satellite images

Introducción

Una cuenca se define como una región delimitada en una determinada área por la cual fluye de manera natural diversas corrientes de agua procedentes de diversas fuentes, hasta llegar al punto de descarga, comúnmente representado por un cuerpo de agua extenso, como un lago, laguna, humedal, acuífero u océano (Valdés y Hernández, 2018). Las cuencas hidrográficas son áreas geográficas definidas por su estructura física y la dinámica del agua que fluye a través de ellas (Martínez y Hernández, 2021). La microcuenca es una porción propia del territorio dentro de una subcuenca específica. Está delimitada por el parteaguas y contiene un cuerpo de agua que desemboca consistentemente en un afluente o subafluente del cauce principal (Ley Forestal, 2008).

Los sistemas de información geográfica son una herramienta fundamental en la planificación y gestión adecuada de los recursos hídricos, debido a que, por medio de los sistemas de información, se integra, almacena, analiza y se representa la información geográficamente referenciada, lo cual permite comparar diferentes escenarios y elaborar mapas de áreas o territorios de interés hidrológico (Cobeña et al., 2022). Por medio de las características biofísicas de las cuencas hidrográficas, se puede tener una visión clara de las dinámicas ambientales e identificar el estado del recurso hídrico, además de ello permite analizar factores que afectando positiva o negativamente la cantidad y calidad de agua.

La calidad del agua se relaciona con su composición y el grado en que está influenciada por la presencia de sustancias producidas por procesos naturales y antrópicos (Severiche et al., 2013). Estas sustancias pueden provenir de actividades como la industria, agricultura, y actividades domésticas, incluye factores físicos, químicos y biológicos, además de información sobre las formas, intensidad y permanencia de los contaminantes (Leandro et al., 2010). Para el monitoreo de sistemas acuáticos se debe coleccionar y analizar la información tanto temporal como espacial, ya que, de este modo se podrán realizar comparaciones con respecto a las situaciones de referencia y bajo diferentes escenarios. Es por ello, la importancia de realizar una línea base de las características de las microcuenca y la calidad

de agua, y así monitorear y analizar las tendencias en el tiempo (Zhen-Wu, 2010), con el fin de tomar decisiones de manejo.

Honduras posee una riqueza en sus recursos naturales, tanto renovables y no renovables, entre los cuales el agua ocupa un lugar importante, siendo fundamental para la existencia y el progreso de las actividades humanas que contribuyen al bienestar y desarrollo de la población. Según lo establece la *Ley General de Aguas de Honduras*, la protección y conservación del agua es una acción prioritaria del Estado, pero, también es crucial la participación ciudadana, la cual debe ser activa en la planificación de su gestión, uso, protección y consumo. Esto es parte fundamental de los principios y bases de la gestión hídrica (*Ley General de Aguas*, 2009).

En la actualidad muchas personas no tienen el acceso al recurso hídrico, debido a los problemas de degradación, contaminación y seguridad jurídica con respecto a la tenencia de la tierra dentro de zonas productoras de agua. En el artículo 122 de la *Ley Forestal, Áreas Protegidas y Vida Silvestre* se establece que las cuencas, subcuencas y microcuencas que suministran agua a las comunidades para diversos usos deben estar bajo un régimen especial de manejo. Esto debe ser logrado mediante la participación activa tanto de la comunidad como de instituciones competentes, asegurando así la conservación y gestión adecuada del recurso hídrico. Si las cuencas no han sido declaradas, las municipalidades o comunidades deben solicitar su declaración. Para ello, el Instituto de Conservación Forestal, Áreas Protegidas y Vida Silvestre (ICF), coordinará la creación de planes de manejo, con la colaboración de municipalidades, comunidades, propietarios privados ocupantes y otras entidades públicas con competencias afines. Las áreas de las cuencas son de importancia económica ambiental y social, por lo cual es obligatoria su delimitación y protección (LFAPVS, 2007).

El presente estudio se realizó en respuesta al interés de la municipalidad de Taulabé en preservar los recursos naturales de una microcuenca del Río Bonito, San Antonio Bacadía, Taulabé. Se generó información sobre la ubicación, usos y coberturas del suelo, pendientes y conflictos de uso. Se realizaron análisis para caracterizar la calidad de agua de las obras toma de Bacadía, Cerro Azul y

Varsovia, esta información sera clave para realizar un diagnóstico y el plan de acción de la microcuenca en caso de someterse a un proceso de declaratoria de la misma.

En esta investigación se realizó la cartografía básica y caracterización de la calidad de agua de una microcuenca Río Bonito, San Antonio Bacadía, Taulabé. Para ello, se establecieron los siguientes objetivos específicos: i) Caracterizar los elementos biofísicos de una microcuenca del Río Bonito, San Antonio Bacadía utilizando herramientas de Sistemas de Información Geográfica, ii) Evaluar la calidad de agua para las categorías de usos agrícolas, recreativos, de preservación de flora y fauna y de abastecimiento a poblaciones usando el Borrador 15/05/01 de la Norma Técnica Nacional para Agua en una microcuenca del Río Bonito, San Antonio de Bacadía y iii) Analizar la calidad de agua de dos obras toma del Río Varsovia y compararla con el Borrador 15/05/01 de la Norma Técnica Nacional para Agua categoría de uso en abastecimiento a poblaciones.

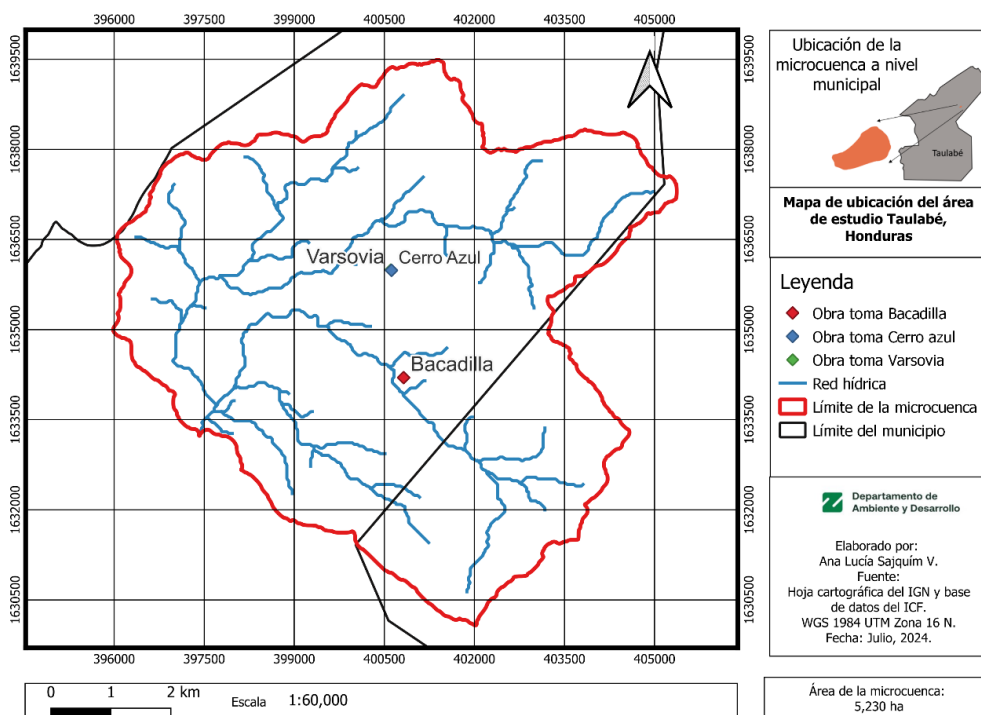
Metodología

Área de Estudio

El estudio se realizó en las microcuencas de Río Varsovia, y Río Bonito, ubicadas en el municipio de Taulabé. Este municipio se encuentra en la región central de Honduras entre los municipios de Santa Cruz de Yojoa, en el departamento de Cortés, así como San Pedro de Zacapa, en el departamento de Santa Bárbara, además limita al sureste con Siguatepeque, al este con Meámbar y al oeste con San José de Comayagua. El área de estudio comprende un área de 5,230 ha. En Taulabé se registran precipitaciones de 1,600 a 2,000 mm/año y temperaturas de 21 a 25 °C (Reyes, 2016). Específicamente, se caracterizó una microcuenca del Río Bonito ubicada en la comunidad de Bacadía, ubicada entre los 900 y 1,200 msnm (Figura 1).

Figura 1

Ubicación del área de estudio

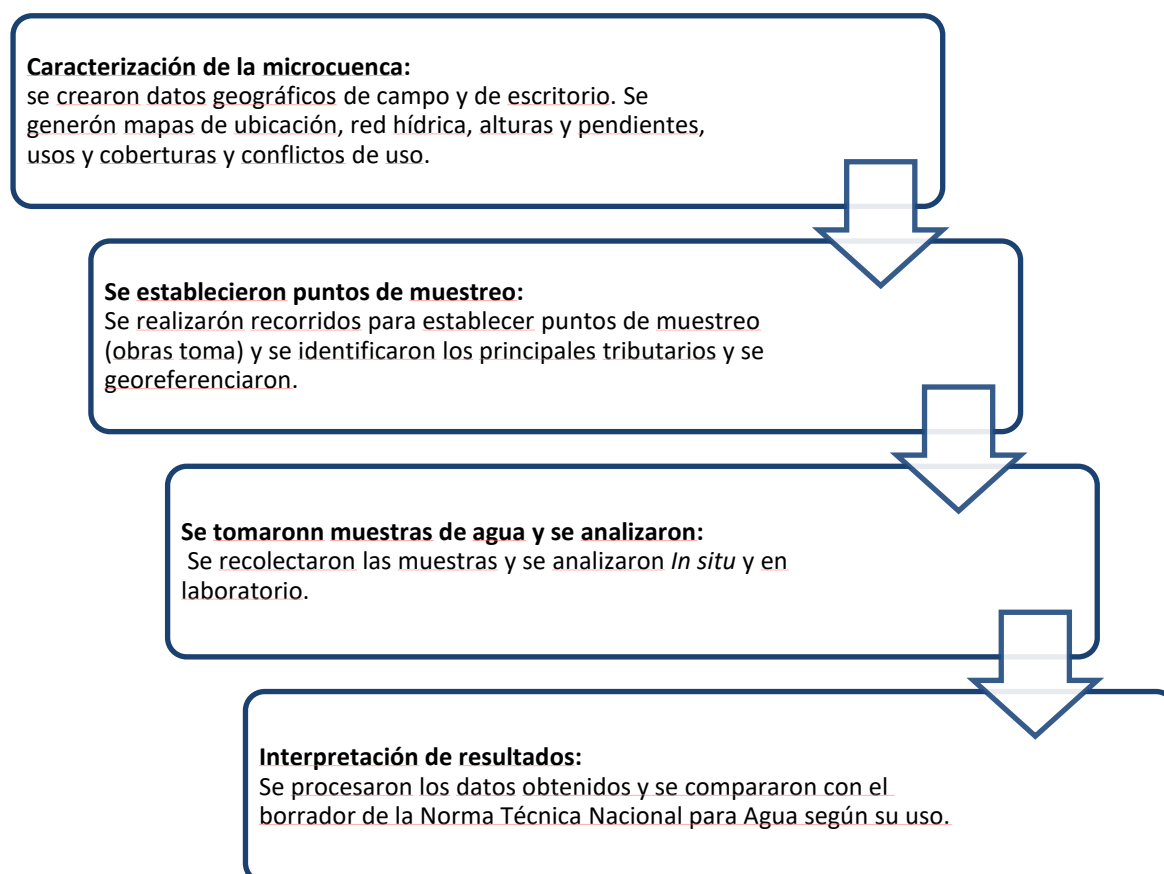


Alcance y Diseño

La investigación tuvo un enfoque descriptivo, centrándose en el análisis de diversos parámetros relacionados con la calidad del agua. Se utilizó un diseño cuantitativo no experimental para el análisis de la calidad del agua. Esto implica un diagnóstico del estado actual de una microcuenca del Río Bonito, San Antonio Bacadía, en términos de calidad de agua y su cartografía. En la Figura 2 se describe de forma general el proceso seguido, iniciando por la caracterización de la microcuenca y finalizando con la interpretación de los datos. Este enfoque servirá como punto de partida para una eventual declaratoria de la microcuenca, si resulta aplicable al área de estudio.

Figura 2

Esquema de la investigación



Fuentes y Recopilación Inicial de Datos

Para la definición de los límites de la microcuenca se partió de una revisión de la cartografía base disponible en el geoportal de ICF y de las hojas cartográficas del Instituto Geográfico Nacional (IGN). La red hídrica y el punto de salida de la microcuenca se definió en conjunto con el técnico de la Unidad Municipal Ambiental (UMA) de la municipalidad de Taulabé. Para el proceso de recolección y procesamiento de datos se partió de lo siguiente:

a) Se consultó y descargó información de geoportal del ICF y se consultaron los repositorios de lineamientos técnicos de esta misma institución en materia de declaratoria de microcuencas (sección de cuencas hidrográficas).

b) Se utilizó herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG), Sistemas de Posicionamiento Global (GPS, por sus siglas en inglés) y Sensores Remotos (SR). Estas herramientas permitieron recopilar, analizar y presentar la información geográfica de la microcuenca. La cartografía básica se elaboró siguiendo los lineamientos de la *Guía Metodológica para la Formulación de Mapas Temáticos, Áreas Críticas y Zonificación para Planes de Manejo en Cuencas y Microcuencas Hidrográficas* (Instituto de Conservación Forestal [ICF], 2022). En el Cuadro 1 se mencionan los mapas elaborados y la fuente de información utilizada para la elaboración de estos.

c) Para la recopilación de datos de calidad y cantidad de agua se recurrió a mediciones de campo y recolección de muestras en las obras tomas de interés.

Cuadro 1

Mapas básicos y temáticos para elaborar la línea base

Mapas Elaborados	Fuente de Información
Ubicación de la microcuenca en hoja cartográfica a escala 1:50,000	Datos de campo, imágenes satelitales, DEM de Alos Palsar
Infraestructura y red hídrica	Datos de campo, imágenes satelitales, DEM de Alos Palsar
Usos y Coberturas del suelo	Datos tomados en campo, imagen satelital
Clases de pendientes	DEM de Alos Palsar, clasificación de pendientes según el ICF
Capacidad de usos	Clases de capacidad de usos y pendientes
Conflictos de uso del suelo	Usos y coberturas y clases de pendientes

Caracterización Biofísica de la Microcuenca

La caracterización biofísica de una cuenca hidrográfica tiene como objetivo identificar, precisar y dimensionar las condiciones presentes en el medio biofísico. Este análisis permite evaluar el estado actual de los recursos naturales, el ambiente y la capacidad de carga de una microcuenca en un momento determinado (Gasparico, 2018). Esta caracterización debe partir de un espacio delimitado para la microcuenca objeto de estudio.

Delimitación de la Microcuenca

Se generó una delimitación automática utilizando el programa de acceso libre QGIS® v3.24.3 y un Modelo Digital de Elevación (DEM, por sus siglas en inglés). El cual se obtuvo de *Alos Palsar* con una resolución de 12.5 m por píxel. Se utilizó la herramienta GASS con el comando *r.fill.dir* para obtener un DEM sin depresiones. Posteriormente, se empleó el comando *r.watershed* con un tamaño de píxel de 12.5 m, obteniendo el ráster de acumulación de flujos. Para calcular la red hídrica, se usó la calculadora ráster y se seleccionaron los píxeles con una acumulación de flujo mayor a 100, dado que se trataba de una microcuenca pequeña, finalmente, se usó la herramienta *r.stram.extract* para obtener la red hídrica.

Para obtener la delimitación automática de la microcuenca se seleccionó el punto de aforo con el comando *r.water.outlet*. Posteriormente, el comando *r.to.vect* se utilizó para transformar la delimitación a formato *shapefile*, este fue corregido de forma manual usando la hoja cartográfica del IGN en formato digital. Una vez obtenido el límite, se llevó a cabo la caracterización de la microcuenca y se generó la información sobre distintos parámetros biofísicos, como el perímetro, el área e índice de forma. Para obtener el perímetro y el área, se empleó la calculadora de campos en formato vectorial del programa QGIS®.

Coefficiente de Gravelius (Kc)

El coeficiente de compacidad se obtuvo al relacionar el perímetro de la cuenca, con un círculo cuya área es igual al de la cuenca hidrográfica. Cuando este se encuentre más cerca del valor uno,

significa que la forma de cuenca se aproxima a la un círculo (Cobeña et al., 2022). Cuanto más se aproxime a este valor, mayor será la tendencia a acumular grandes volúmenes de agua de escorrentía, además, indica que la microcuenca presenta una susceptibilidad media a la torrencialidad, por lo cual, requiere un manejo específico en las áreas de baja cobertura, para que, durante eventos máximos de precipitación, se reduzca la probabilidad de inundaciones. Para el cálculo de este coeficiente, se usó la Ecuación 1 y en el Cuadro 2 se indican las clases y formas conforme al valor de compacidad.

$$K_c = \frac{0.28 P}{\sqrt{A}} \quad [1]$$

Donde:

P = Perímetro de la cuenca (km)

A = Área de cuenca (km²)

Cuadro 2

Formas de la cuenca según su índice de compacidad

Clase de Forma	Índices de Compacidad	Forma de la Cuenca
Clase I	1.0 a 1.25	Casi redonda a oval-redonda
Clase II	1.26 a 1.50	Oval-redonda a oval oblonga
Clase III	1.51 o más de 2	Oval – Oblonga a rectangular oblonga

Nota. Adaptado de Cañibano et al. (2016).

Tiempo de Concentración (tc) en la Microcuenca

Es el tiempo que tardaría una gota de agua en recorrer la distancia que separa el punto más alejado de la cuenca y la estación hidrométrica o de control de caudales. Este indicador y el antes expuesto dan una idea del comportamiento de los caudales de escorrentía superficial ante la ocurrencia de las precipitaciones que se den en una microcuenca y como incide en el comportamiento del caudal. Para el cálculo del tc se usó la Ecuación 2.

$$T_c = \left(\frac{0.87 * L^3}{h} \right)^{0.385} \quad [2]$$

Donde:

L = Longitud mayor del cauce

h = Diferencia de altitudes

La caracterización se encuentra relacionada con la red hídrica, ya que es un elemento importante en términos de manejo de cuencas. La clasificación se realizó por el método de Horton-Strahler, que permite determinar el orden de la microcuenca. Según este método, los afluentes que parten de una fuente son de orden uno; cuando dos afluentes de orden uno se une, forman un afluente de orden dos, y así sucesivamente. La digitalización de la red de órdenes se realizó manualmente en la tabla de atributos de la capa de red hídrica utilizando el *software* QGIS®. Además, se calculó la longitud del cauce, que está relacionado con el área de la microcuenca sobre el cual las corrientes hídricas drenan.

Densidad de Drenaje

Este parámetro se encuentra relacionado con la longitud de la red de drenaje y con el área de la microcuenca por la que fluyen las corrientes de agua. Además, se relaciona con el tiempo que tarda el escurrimiento superficial en salir de la cuenca. Para este cálculo se usó la Ecuación 3.

$$Dd = \frac{L \text{ (km)}}{A \text{ (km}^2\text{)}} \quad [3]$$

Donde:

L = Longitud de cauces (km)

A = Área de la cuenca (km²)

Parámetros de Relieve

Este parámetro ejerce una mayor influencia en la respuesta hidrológica que su forma; se establece que cuanto mayor sea el relieve o la pendiente más rápido se generará la escorrentía (Ibañez et al., 2011). La pendiente es un factor importante en relación con el efecto del agua al caer sobre la superficie, ya que influye en la velocidad que alcanza y en la erosión que produce.

Se generó una superficie de sombras para apreciar el relieve. La pendiente se generó por medio de la herramienta *Slope* de análisis ráster del programa QGIS®. Luego, se reclasificó en cuatro clases de pendientes establecidas por Rosales y Oyuela (Cuadro 3) y sugeridas por el ICF. El ráster de

salida, se convirtió a formato vectorial y se suavizó para evitar efectos de píxeles en los bordes. Finalmente, se calcularon las áreas por categoría y se generó el mapa de pendientes.

Cuadro 3

Clasificación de pendientes

Clase	Rango de Pendientes
1	0 - 12%
2	13 - 30%
3	31 - 50%
4	> 50

Nota. Adaptado de ICF (2022)

Identificación de Áreas Protegidas en la Microcuenca

Un área protegida se define como una región geográfica específica, claramente delimitada, que se reconoce, dedica y gestiona mediante leyes y otros métodos efectivos, con el objetivo de asegurar la conservación a largo plazo de la naturaleza, los servicios ecosistémicos y los valores culturales (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza [IUCN], 2009). Por tal razón, ayuda a la protección de fuentes de agua, evitando la contaminación y degradación de la calidad de agua, esto es crucial para mantener la salud de los ecosistemas. En este caso de estudio, se descargaron los datos del Geoportal del ICF, para identificar si la microcuenca se encontraba o no dentro un área protegida. Para ello, se utilizaron herramientas de superposición vectorial del programa QGIS®.

Usos y Coberturas

En las cuencas hidrográficas, el cambio del uso de suelo en condiciones rurales a urbanas altera la respuesta hidrológica, particularmente en el escurrimiento de las aguas. Esto se debe a que, ciertos tramos de los ríos no pueden manejar el aumento de la escorrentía (Campos y Vargas, 2014). Se ha demostrado que el inadecuado uso del suelo puede ocasionar grandes desastres, en épocas de intensidad de lluvia, la pérdida de bosque natural incrementa de manera directa la escorrentía superficial y degrada el suelo, incrementando el riesgo de inundaciones en la cuenca baja (Ramos, 2019).

En este caso de estudio, se consideraron los usos y coberturas del 2018 generados por el ICF con la finalidad de analizar las zonas destinadas a bosques, cultivos, pastos y otros usos dentro de la microcuenca. Sin embargo, los usos y coberturas del ICF no fueron apropiadas para el tamaño de esta microcuenca. Por lo tanto, se realizó una digitación manual de los polígonos de usos y coberturas, estos se codificaron y luego se nombraron conforme a las categorías. Para la identificación de los usos, se partió de la información de campo y se usó la imagen satelital de *Pléiades* de alta resolución (0.5 m) y se clasificaron de acuerdo con las categorías del ICF (Cuadro 4).

Cuadro 4

Usos y coberturas del suelo

Uso Actual/Unión	Uso Actual
Bosque denso	Bosque latifoliado: bosque latifoliado húmedo, bosque latifoliado decíduo, bosque mixto, bosque de palma de tique, bosque latifoliado húmedo inundable, bosque de mangle: alto y bajo; bosque de conífera denso
Bosque ralo	Bosque de conífera ralo, bosque de conífera plagado
Vegetación secundaria	Vegetación herbácea y/o arbustiva, vegetación secundaria húmeda y seca
Otro ecosistema	Sabanas, árboles dispersos fuera del bosque
Cafetales y agroforestería	Agroforestales: cafetales, frutales
Agropecuario intensivo	Cultivos agropecuarios: tecnificados, pastos y cultivos, musácea, piña, arrozales, otras especies de palma
Agropecuario extensivo	Agropecuario sin manejo: palma africana, caña de azúcar, otros usos agrícolas que estén sin manejo adecuado
Camaroneras/salitreras	Camaroneras y/o salitreras
Cuerpos de agua	Superficies de agua dulce: lagos, lagunas naturales de agua dulce, cuerpos de agua artificial, ríos y otras superficies de agua, superficies de agua salda: océanos, lagos y lagunas naturales salubres
Zonas urbanas	Zonas urbanizadas continuas y discontinuas, zonas industriales y comerciales
Suelo desnudo	Áreas abiertas sin o con poca vegetación: arenales de playas, suelos desnudos continentales, áreas húmedas costeras

Nota. Adaptado de ICF (2022).

Capacidad de Uso del Suelo

Se refiere a la identificación del nivel de uso más intensivo que una parcela de tierra puede soportar sin dañar los recursos de agua, suelo y los recursos humanos. Es el nivel máximo de explotación que puede soportar un terreno sin experimentar degradación (ICF, 2010). Se clasificó de acuerdo con las clases propuestas por el ICF (Cuadro 5) en la serie de suelos Naranjitos (ICF, 2022).

Cuadro 5

Capacidad de uso de suelo

Categoría	Capacidad de Uso
C1	Tierra cultivable con medidas extensivas de conservación de suelos
C2	Tierra cultivable con medidas intensivas de conservación de suelos
C3	Tierra cultivable a mano con medidas intensivas de conservación de suelos
A	Árboles frutales sobre obras mecánicas de conservación de suelos
P	Pastos preferiblemente de corte y sembrado en curvas a nivel
F1	Actividades de aprovechamiento forestal mecanizado
F2	Actividades de aprovechamiento forestal artesanal bajo medidas de restauración
F3	Protección de zonas de recarga de acuíferos, preservación de flora y fauna, reserva genética y belleza escénica.

Nota. Adaptado de ICF (2022).

Conflictos de Uso

Los conflictos de uso de suelo se determinan al evaluar si una actividad realizada en un tipo específico de suelo causa degradación o, por el contrario, resulta en un uso ineficaz de ese suelo (Guerra, 2014). La *Ley Forestal de Honduras 2007* indica que el uso deseado en las microcuencas productoras de agua para uso doméstico, productivo o de generación de energía debe estar cubierto de masa forestal arbórea, y que aquellas que estén deforestadas deberán iniciar el proceso de recuperación para cubrir el suelo con vegetación. Este análisis de conflictos de uso se realizó mediante la sobreposición de las capas de uso actual del suelo y pendientes, se categorizaron utilizando las clases establecidas por el ICF (Cuadro 6).

Cuadro 6

Clasificación de conflictos de uso

Categoría	Conflicto de Uso
1	Adecuado
2	Sobreuso
3	subuso

Nota. Adoptado de ICF (2022).

Análisis de Calidad de Agua

Se establecieron tres puntos de muestreo, que corresponden a las obras toma de Bacadilla, Cerro Azul y Varsovia, las cuales, abastecen a las comunidades de Bacadía, Cerro Azul y Varsovia. Con la asistencia del técnico de la Unidad Municipal de Ambiente (UMA) se recorrieron en campo los puntos de interés. El primer muestreo se realizó en época seca a inicios de mayo (02 de mayo), y el segundo en época lluviosa a principios de junio (13 de junio).

Se midieron los parámetros *In-situ* de pH, conductividad eléctrica, temperatura, sólidos totales disueltos, oxígeno disuelto y salinidad. Estos se midieron con equipo multiparamétrico *Oakton PCTS5™*. Para los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos, se recolectaron las muestras antes de ingresar al tanque de recepción de la obra toma.

Para la determinación de los parámetros fisicoquímicos de turbidez, nitratos, sulfatos, fosfatos, dureza y manganeso, se recolectaron muestras en envases de polietileno de alta densidad con una capacidad de 1 L, mientras que para los análisis bacteriológicos; coliformes totales y *E. coli*, se utilizaron bolsas estériles *Whirl-pack™* de 125 ml. El muestreo que se utilizó fue no probabilístico convencional, donde se obtuvieron las muestras en puntos específicos y no aleatoriamente. Las muestras fueron transportadas en una hielera para mantener una temperatura de 10 °C hasta su llegada al Laboratorio de Calidad de Agua de la Escuela Agrícola Panamericana.

Para los análisis bacteriológicos se realizó un filtrado de las muestras de 100 ml, una con una disolución de 50% (agua destilada y agua de muestra) y la otra directa. Estas muestras se dispusieron en cajas Petri y se colocaron en la incubadora por un periodo de 24 h a una temperatura de 37 °C. Luego, se contabilizaron las Unidades Formadoras de Colonia (UFC).

En Honduras, existen la *Norma Técnica para la Calidad del Agua Potable de 1995 (Ministerio de Salud, 31 de julio de 1995)* y el *Borrador 15/05/01 de Norma Técnica Nacional para Agua en las categorías de uso agrícola y pecuario; uso recreativo; uso de preservación de la flora y fauna (calidad básica del agua) y en abastecimiento a poblaciones (Secretaría de Salud, 2001)*. En este documento,

de aquí en adelante se denominará Borrador de Norma Técnica 15/05/01 según la categoría. En este proyecto, se tomó la decisión de utilizar el documento borrador debido a que la normativa vigente no permite evaluar la calidad de las fuentes de agua previo a su potabilización y tampoco realiza una discriminación conforme a sus potenciales usos. Por ejemplo, la *Norma Técnica para la Calidad del Agua Potable de 1995*, no contempla la evaluación de ortofosfatos. En las siguientes secciones se presenta una serie de definiciones de los parámetros evaluados para cada una de las muestras de agua.

Temperatura

Es un parámetro que se evalúa, porque puede generar cambios en la biodiversidad acuática y la interacción de los organismos desarrollados dentro del cuerpo de agua. La unidad que se utilizó para la medición de la temperatura fue en grados Celsius ($^{\circ}\text{C}$). El control de la temperatura dentro de un cuerpo de agua es de suma importancia ya que la variación de este parámetro puede influir en proceso como fotosíntesis de plantas y algas acuáticas, además de que se considera que, en aguas con mayor temperatura, el desarrollo de bacterias y otros organismos es mucho más rápido que en aguas con temperaturas más bajas (Colegio oficial de Biólogos de la Comunidad de Madrid, 2015).

Potencial de Hidrógeno (pH)

El pH hace referencia a un valor logarítmico relacionado a la concentración de iones de hidrógeno que se encuentran dentro del agua. Cuando se realiza un análisis de pH, la forma de medición es a través de una escala que va desde 0, que indica un pH muy ácido, hasta 14, que establece que el pH del agua es muy alcalino. De esta manera es cómo se establece que el punto neutro del pH es cuando este parámetro arroja un valor igual a 7 (Rodríguez, 2009).

Turbidez

La turbidez, cuya unidad de medición es la Unidad Nefelométrica de Turbidez (NTU), hace referencia a la característica de transparencia que tiene el agua y la capacidad de absorber luz por el líquido. Sin embargo, cuando existe contaminación, la visibilidad a través del agua se reduce por la

presencia de sólidos suspendidos, los cuales pueden ser resultado de diferentes actividades que se realizan a las orillas del cauce o las diferentes sustancias que son arrastradas por el cauce del río (Melo y Turriago, 2012).

Nitratos

Los nitratos se generan de forma natural y están presentes en todos los acuíferos, tanto pluviales como subterráneos. En las cuencas hidrográficas agrícolas, el nitrato se acumula debido a la aplicación de fertilizantes inorgánicos y abonos a base de estiércol en los suelos de uso agrícola (Robillard, 2023).

Sulfatos

Los sulfatos (SO_4^{2-}) son ampliamente presentes en la naturaleza y su concentración en el agua puede variar en el rango de cientos de miligramos por litro. Según Bolaños et al. (2017), los niveles de sulfato en el agua de lluvia y en las aguas superficiales se encuentran relacionados con las emisiones de dióxido de azufre generadas por actividades antropogénicas, en particular de los motores que funcionan con diésel como combustible.

Dureza

La dureza del agua indica la concentración de metales alcalinotérreos especialmente el calcio (Ca) y magnesio (Mg), que provienen de la disolución de minerales y rocas. Generalmente esta dureza se mide en mg/L como carbonato de calcio (CaCO_3) (Solís et al., 2018). El agua dura puede causar la formación de incrustaciones en los sistemas de distribución, mientras que el agua blanda puede provocar corrosión en dichos sistemas (Organización Mundial de la Salud [OMS], 2011).

Conductividad Eléctrica

La conductividad se refiere a la capacidad de una solución para transmitir electricidad, lo cual se debe a la presencia de iones cargados que facilitan el transporte de corriente eléctrica en soluciones acuosas. Estos iones provienen en su mayoría de sales y ácidos presentes en la solución (Rodríguez, 2009).

La conductividad se refiere a la capacidad de una solución para transmitir electricidad, lo cual se debe a la presencia de iones cargados que facilitan el transporte de corriente eléctrica en soluciones acuosas. Estos iones provienen en su mayoría de sales y ácidos presentes en la solución (Rodríguez, 2009).

Sólidos Totales Disueltos

Es una medida que refleja la cantidad de sustancias inorgánicas y orgánicas presentes en un líquido, ya sea en forma molecular, ionizada o en suspensión coloidal. Los sólidos en cuestión deben ser lo suficientemente pequeños como para pasar a través de un filtro con poros de 2 μm . Este parámetro mide específicamente el total de residuos sólidos filtrables, incluyendo sales y materiales orgánicos (Amézquita, 2016).

Ortofosfato

Los ortofosfatos son compuestos solubles derivados del ácido fosfórico. En cambio, los fosfatos de segundo y tercer orden son insolubles en agua. Desde el punto de vista geológico, este mineral es importante, ya que es el principal transportados del ácido fosfórico en el reino mineral, es un elemento que constituye las rocas eruptivas y acompaña a los minerales metálicos (Amézquita, 2016).

Coliformes Fecales

Es un grupo de bacterias termotolerantes que se distinguen de las coliformes totales por su capacidad de crecer a temperaturas más altas. *E. coli* es exclusivamente intestinal, tiene la capacidad de fermentar lactosa a 44 °C (Rojas y Rugama, 2013).

La concentración de coliformes termotolerantes y *E. coli* está estrechamente relacionada, ya que la detección de coliformes termotolerantes es rápida y sencilla. Estas bacterias actúan como indicadores secundarios de contaminación fecal y de la eficacia de los procesos de desinfección del agua.

Coliformes Totales

Es un grupo de bacterias que incluyen a todos los coliformes de cualquier origen. Se desarrollan a 35 °C, estas solo indican la existencia, pero, sin asegurar el origen de estas (Rojas y Rugama, 2013). El análisis de coliformes totales permite identificar si existe presencia de bacilos Gram negativos en el agua. Estos microorganismos pueden estar presentes en el medio ambiente y en el agua cargada de nutrientes. Sin embargo, su estudio en las diferentes fuentes de agua es importante, ya que la presencia de estos bacilos puede estar asociada a otros procesos de contaminación bacteriana.

Para la medición de los parámetros de calidad de agua, se utilizaron una serie de métodos específicos que se detallan en el Cuadro 7.

Cuadro 7

Métodos analíticos para parámetros de calidad de agua

Parámetro	Método
Nitratos	4500-NO ₃ -C. Second Derivate Ultraviolet Spectrophotometric Method
Coliformes fecales y <i>Escherichia coli</i>	9222 Membrane Filter Technique for members of the coliform group
Ortofosfatos	Lovibond Phospho Molybdenum Blue Method 324
Sulfatos	4500 SO ₄ .E Turbidimetric Method
pH	4500 B. Electrometric Method
Dureza	2340 C. EDTA Titrimetric Method
Manganeso	8149 Hach PAN Method
Oxígeno Disuelto	4500- O G. Membrane- Electrode Method
Conductividad eléctrica	2510.B Laboratory Method
Turbidez	2130 B. Nephelometric Method
Temperatura	2550. B Laboratory and fields Method

Nota. Métodos de análisis basados en la Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater de la American Public Health Association (APHA, por sus siglas en ingles), tomado de Baird et al. (2017)

Resultados y Discusión

Caracterización de la Microcuenca

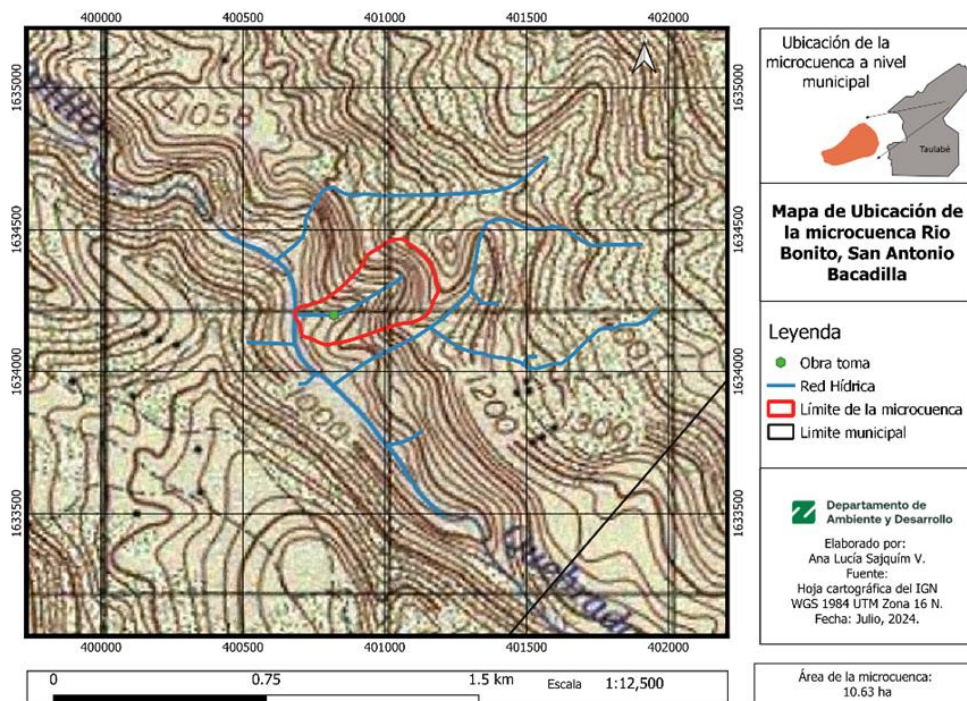
La microcuenca objeto de estudio es parte del río Bonito, ubicada en San Antonio Bacadía, abarca un área de 10.63 ha y posee un perímetro de 1.358 km. Se ubica entre los 940 – 1,200 msnm (Cuadro 8). La microcuenca forma parte de la subcuenca del lago de Yojoa, ubicándose en la parte media- baja de dicha subcuenca.

En la Figura 3, la microcuenca se representa a una escala de 1:12,500. Aunque las directrices para la declaratoria de microcuencas sugieren el uso de una escala de 1:50,000 (Anexo A), se optó por la escala más detallada debido al reducido tamaño de la microcuenca, siendo menor a 100 ha. La microcuenca, solamente cuenta con un tributario y la longitud de la red hídrica es de 0.419 km. De acuerdo con la clasificación de zonas de vida de Holdridge, esta microcuenca se encuentra en un Bosque Húmedo Subtropical. Esta clasificación permite comprender las condiciones ecológicas de la biodiversidad que predomina en la región.

Al ser una microcuenca < 100 ha, se recomienda no realizar una zonificación (ICF, 2022). De acuerdo con el área o tamaño, se debe implementar un plan de acción, para un periodo de 2 años, ya que este permitirá que exista una gestión eficiente y sostenible de los recursos hídricos y ambientales de la microcuenca.

Figura 3

Mapa de ubicación de la microcuenca



Nota. Según la hoja cartográfica puede nombrarse Bacadilla.

Cuadro 8

Características morfométricas

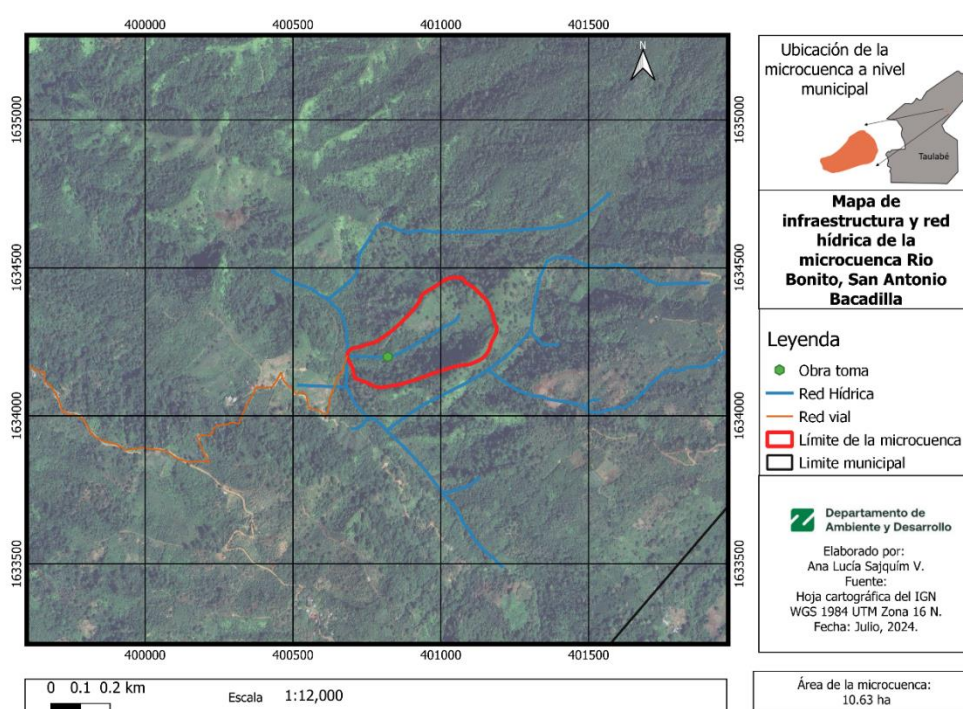
Características	Datos
Área de la microcuenca	10.63 ha
Altitud mínima de la microcuenca	940 msnm
Altitud máxima de la microcuenca	1,200 msnm
Pendiente media de la microcuenca	86%
Perímetro de la microcuenca	1.358 km
Longitud del cauce principal	0.419 km
Zona de vida, según la clasificación de Holdrige	Bosque húmedo subtropical
Ecosistemas presentes en la microcuenca	Bosque

La infraestructura abarca la red hídrica y vial, como se muestra en la Figura 4; la red vial se extiende desde la comunidad de San Antonio Bacadía hasta la obra de captación ubicada a 5 km de distancia. Según la Unidad Municipal Ambiental de Taulabé, esta obra toma abastece a 600 familias. El acceso a esta obra se realiza a través de caminos de terracería y veredas, lo que indica que es limitado.

El índice de compacidad de la microcuenca es de 1.16, ubicándola en la clase 1, indicando que su forma es casi redonda. Este índice es útil para evaluar la forma y la eficiencia hidrológica de la microcuenca, ya que una representación redonda tiende a tener una alta tendencia a inundaciones (Rodríguez, 2014). El orden de la red se realizó por medio del método de Horton y se determinó que es de orden uno y en la parte superior surge el nacimiento de agua. Esta característica puede influir en la gestión y planificación del recurso, especialmente en el flujo de agua y la respuesta ante eventos de precipitación.

Figura 4

Mapa de infraestructura y red hídrica de una microcuenca del Río Bonito, Bacadía

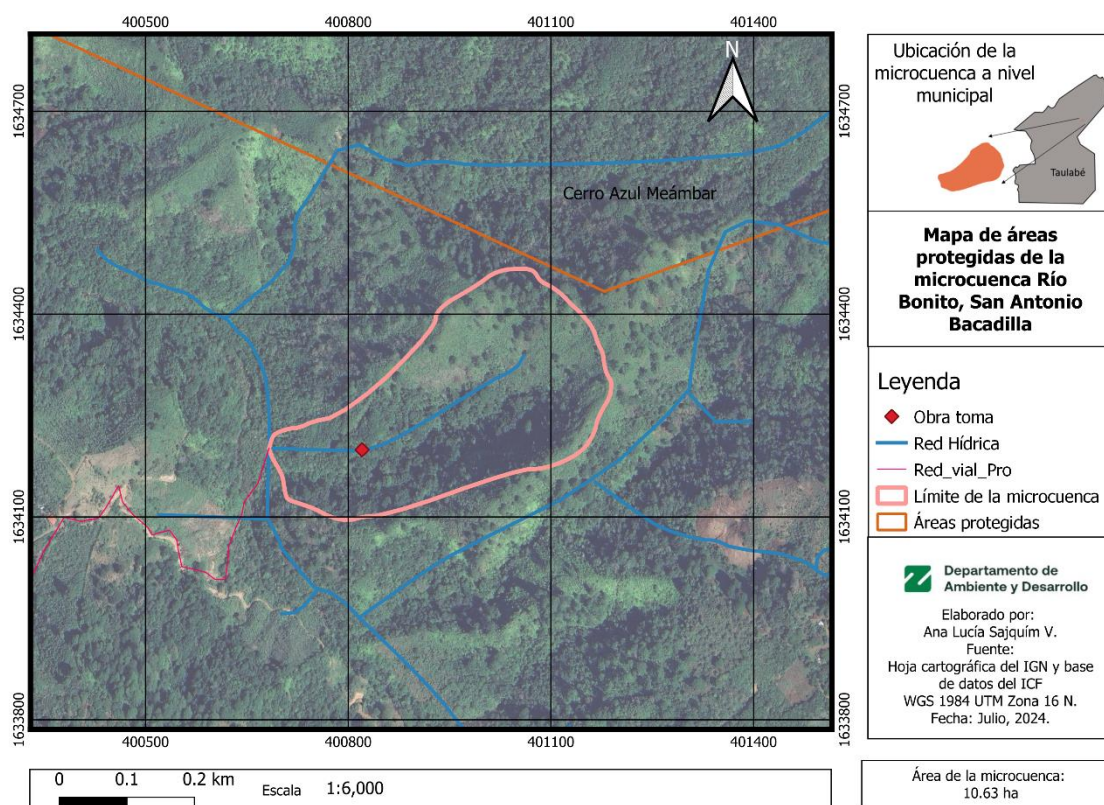


Según se observa en la Figura 5, la microcuenca se encuentra ubicada específicamente en el suroeste del Parque Nacional Azul Meámbar (PANACAM), dentro de la zona de amortiguamiento. La delimitación de la microcuenca se encuentra entre 940 - 1,200 msnm, esto con el objetivo de evitar conflictos con la zona núcleo del parque. Siguiendo las directrices establecidas por el ICF (Aprobación Plan de Manejo Parque Nacional Azul Meámbar (PANACAM) Período 2016-2027, 2016) y el Sistema

Nacional de Áreas Protegidas (SINAPH, 1997), las zonas de amortiguamiento son contiguas a la zona núcleo y se permiten prácticas de uso múltiple en ellas. Estas áreas deben tener al menos dos kilómetros de ancho desde el límite exterior de la zona núcleo. En contraste, las zonas núcleo son áreas designadas para uso restringido, con el objetivo de proteger, conservar o mantener hábitats y especies críticas de manera perpetua. En este caso, la microcuenca se ubica fuera de la zona núcleo.

Figura 5

Mapa de áreas protegidas de una microcuenca del Río Bonito, Bacadía



Se realizó un mapa de pendientes, relevando que la mayor parte del territorio de la microcuenca, es decir el 67.35% se ubica en pendientes superiores al 50% (Figura 6). Se identificaron 2.98 ha correspondientes en pendientes de clase 3, que varían entre el 31 – 50%, mientras que únicamente el 2.15% del área muestra pendientes menores al 12% (Cuadro 9). Este análisis enfatiza la predominancia de pendientes pronunciadas en la microcuenca, lo cual tiene implicaciones con

respecto al uso de suelo y el conflicto de este. Las zonas con pendientes altas están asociadas con el escurrimiento superficial y la infiltración del suelo (Caycho, 2020).

La elevación es uno de los parámetros de mayor relevancia debido a que permite determinar la oferta hídrica en relación del movimiento del agua a través de la longitud del cauce. Una mayor elevación implica un mayor potencial de escorrentía y velocidad del flujo, lo que puede influir en la disponibilidad y la distribución del agua en la cuenca hidrográfica.

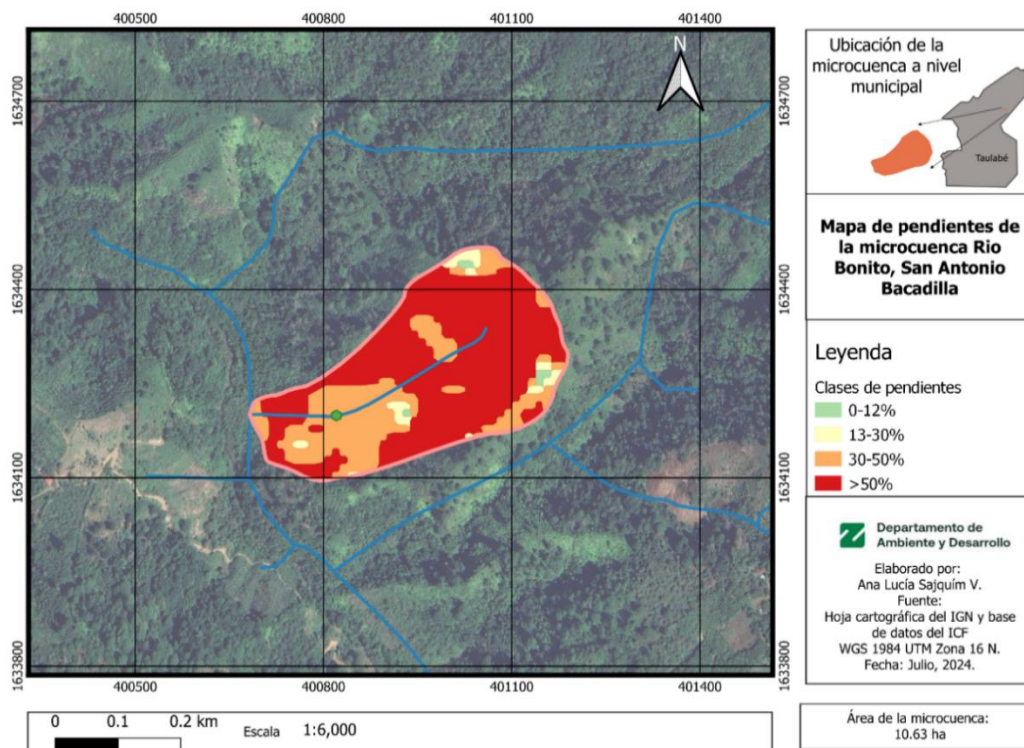
Cuadro 9

Área de pendiente

Clase	Rango de Pendientes	Área (ha)	Porcentaje que Representa
1	0-12%	0.228	2.15%
2	13-30%	0.36	3.35%
3	31-50%	2.98	28.06%
4	> 50	7.062	66.44%

Figura 6

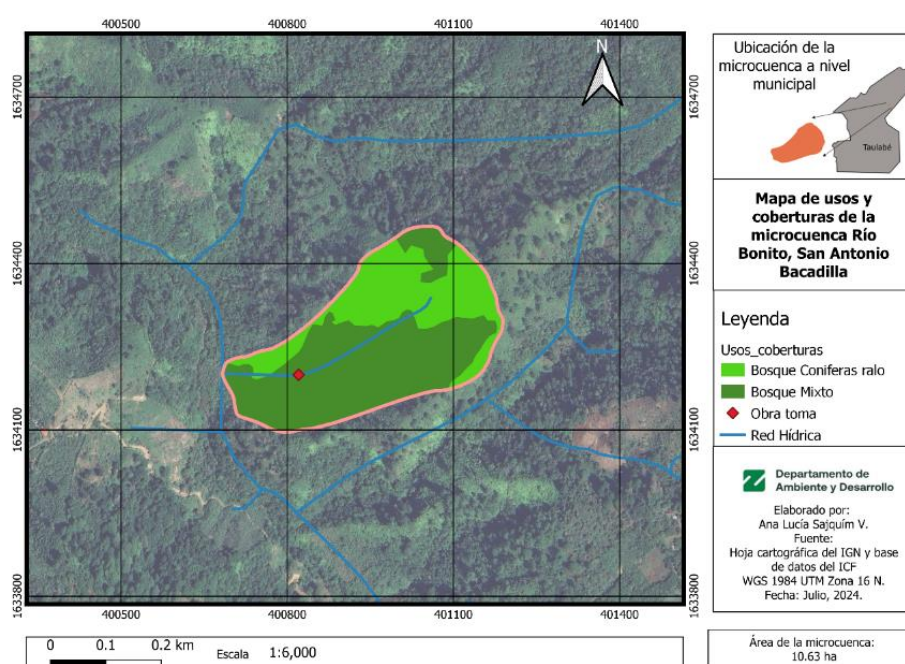
Mapa de pendientes de una microcuenca del Río Bonito, Bacadía



En el mapa de usos y coberturas de la microcuenca (Figura 7), se destacan principalmente dos tipos de vegetación según la clasificación propuesta por el ICF (2022), el bosque latifoliado mixto con una extensión de 6.67 ha y el bosque de coníferas ralo con 3.96 ha (Cuadro 10). Esta clasificación se realizó con respecto a las observaciones en campo, ya que, al compararlo con el mapa de coberturas del ICF de 2018, se notó discrepancias tales como áreas identificadas con café que en realidad no contienen plantaciones dentro de los límites de la microcuenca. Además, el proceso de clasificación se realizó manualmente, con imágenes satelitales de alta resolución de *Pléiades* del primero de enero de 2024. La microcuenca presenta coberturas boscosas importantes, sin embargo, es necesario analizar la presión de los usos agrícolas en los alrededores de esta.

Cuadro 10*Usos y coberturas*

Clase	Cobertura Vegetal	Área (ha)	Porcentaje que Representa
1	Bosque latifoliado Mixto	6.67	62.65%
2	Bosque de coníferas ralo	3.96	37.36%

Figura 7*Mapa de usos y coberturas de la microcuenca Río Bonito San Antonio Bacadilla*

Para el mapa de capacidad de uso (Figura 8), se realizó un análisis considerando la pendiente y la clasificación propuesta por el ICF (2022). La microcuenca se encuentra dentro de la serie de suelos conocida como Naranjito, la cual está descrita en el Cuadro 11. Aunque la microcuenca tiene la capacidad para diferentes usos como; C1, que corresponde a la tierra cultivable con medidas extensivas de conservación de suelos; el C2, se refiere a tierra cultivable con medidas intensivas de conservación de suelos; el A, destinado a árboles frutales; y el F2, que implica aprovechamiento forestal artesanal bajo medidas de restauración, actualmente toda la microcuenca se encuentra

clasificada como F3 (Cuadro 12). Esta categoría de F3 corresponde a zonas de protección de recarga de acuíferos, por tanto, el suelo no debería de usarse para otros fines.

Esta clasificación permite tomar decisiones informadas sobre el manejo del suelo, asegurando las necesidades agrícolas como las de conservación, esto puede ser un punto de partida para el desarrollo económico sostenible. Sin embargo, la clasificación actual como zona de protección, garantiza la disponibilidad de agua para las comunidades y la preservación del recurso bosque.

Cuadro 11

Clasificación de la capacidad de uso de suelo

Serie de Suelo	Rango de Pendientes (%)			
	0-12%	13-30%	31-50%	>50%
Na- Naranjito	C1	C2/A	F2	F3

Nota. Tomado de ICF (2022)

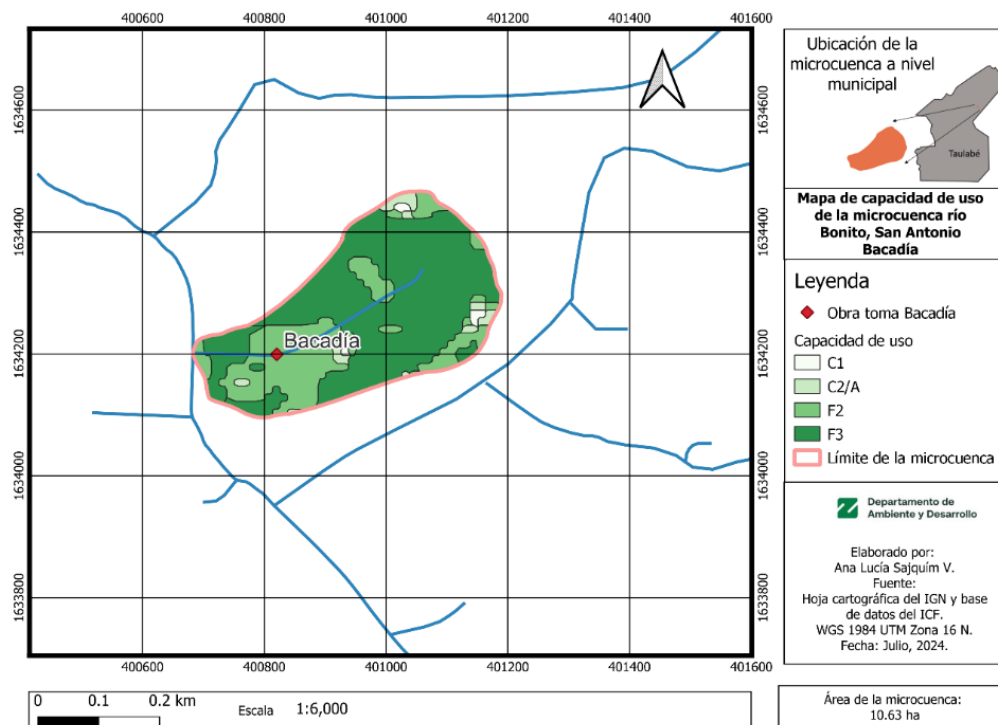
Cuadro 12

Resultados capacidad de usos del suelo

Clase	Capacidad de Usos	Área (ha)	Porcentaje al que Representa
1	C1	0.23	2.15%
2	C2/A	0.0.36	3.35%
3	F2	2.98	28.06%
4	F3	7.062	66.44

Figura 8

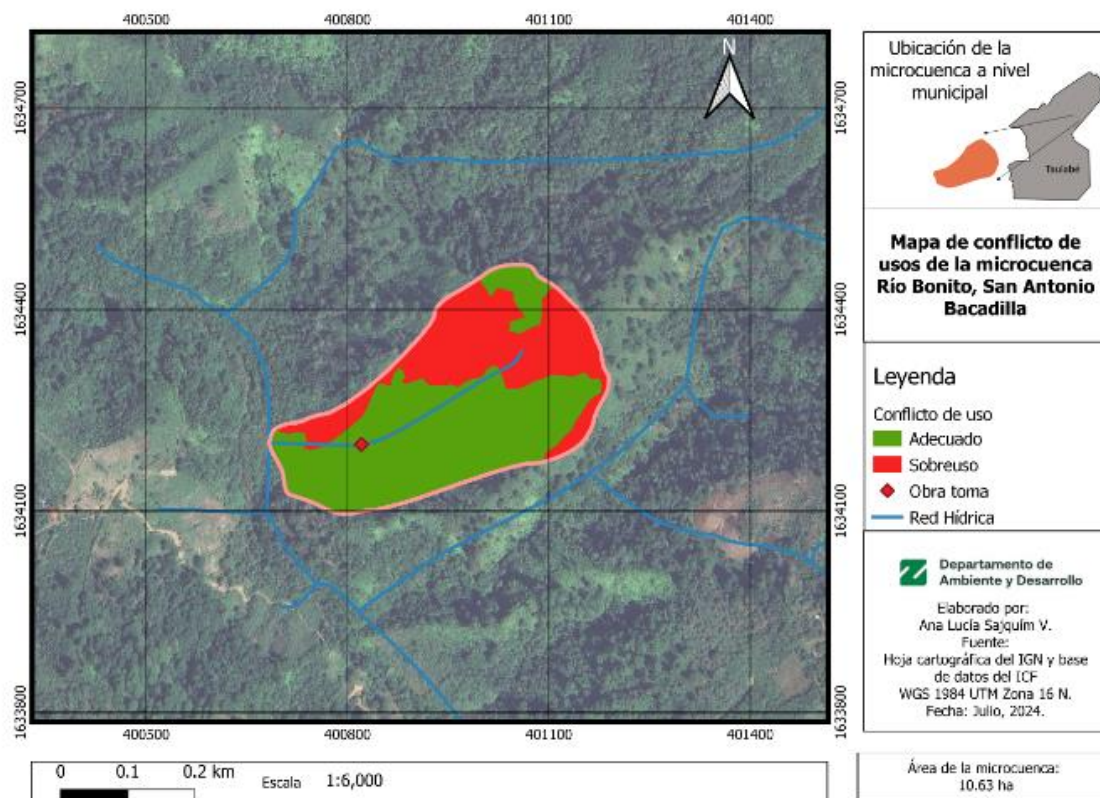
Capacidad de uso de suelo de una microcuenca del Río Bonito, Bacadía



El mapa de conflictos representa el uso actual del suelo en relación con su capacidad de uso, proporcionando información del estado actual de la microcuenca. Según se observa en la Figura 9, el 62.72% del suelo se encuentra en uso de adecuado, lo que significa que estas áreas están siendo gestionadas de acuerdo con su capacidad de soporte. Sin embargo, el 37.28% del suelo está siendo sometido a un sobreuso, lo que indica que puede existir degradación de este, debido a la presencia de una zona con bosque ralo dentro de la microcuenca. Al tener una cubierta vegetal menos densa, es más susceptible a la erosión, esto podría estar asociado con actividades antropogénicas del pasado. Sin embargo, es necesario una mayor documentación de los antecedentes para proponer prácticas de restauración.

Figura 9

Mapa de conflictos de usos de la microcuenca Río Bonito San Antonio Bacadía



Caracterización de la Calidad del Agua para las Comunidades de Cerro Azul, Varsovia y Bacadía

Parámetros Físicoquímicos de las Fuentes de Captación

Para esta investigación se recolectaron un total de seis muestras de agua, tres en época seca a principios de mayo y las tres restantes a inicios de la época lluviosa en junio. Estas muestras se utilizaron para la medición de parámetros físicoquímicos y bacteriológicos en el Laboratorio de Calidad de Agua en el Departamento de Ambiente y Desarrollo de Zamorano. Es importante, recalcar que en este estudio se usó el *Borrador de Norma Técnica 15/05/01* debido a que este tiene más parámetros de evaluación y hace una discriminación para los diferentes usos del agua. Sin embargo, en el Anexo B se presentan los resultados de los parámetros de calidad de agua para la obra toma de Bacadía en comparación con la *Norma Técnica para la Calidad del Agua Potable de 1995*.

En el *Borrador de la Norma Técnica 15/05/01 para Agua de Uso en Abastecimiento de Poblaciones*, existen dos categorías de agua: La Categoría A comprende las aguas que, desde el punto de vista sanitario, pueden ser potabilizadas con la sola adición de desinfectantes. La categoría B comprende aguas que, desde el punto de vista sanitario, deben ser potabilizadas mediante un tratamiento convencional o avanzando.

Como se observa en el Cuadro 13, en cuanto al parámetro de oxígeno disuelto, este se encuentra por encima del valor máximo permisible, esto conlleva varios beneficios para el ecosistema acuático, ya que, favorece la proliferación y biodiversidad de organismos en los cuerpos de agua, aumenta la actividad microbiana, reduce la turbidez, mejora el movimiento y la circulación del agua.

Además, el parámetro de ortofosfatos se encuentra ligeramente por encima de la normativa en ambas categorías, esto se puede deber a los minerales presentes en el suelo, ya que, los fosfatos pueden provenir de fuentes naturales como minerales y la erosión de rocas, pero también pueden entrar al sistema acuático por actividades humanas como el uso de fertilizantes, detergentes y desechos domésticos e industriales (en esta microcuenca, este no es el caso). Un exceso de fosfatos en el agua puede causar eutrofización, lo que lleva a un crecimiento excesivo de algas y a una disminución del oxígeno disuelto, afectando negativamente a los ecosistemas acuáticos (Caballero et al., 2013). Los ortofosfatos en agua destinada para consumo humano, cuando están presentes en pequeñas cantidades, no representan un riesgo significativo para la salud. Sin embargo, es importante realizar monitoreos y controlar sus niveles, para evitar los problemas previamente descritos.

Cuadro 13

Parámetros de calidad de agua en la obra toma de Bacadía en comparación con la categoría para Uso en abastecimiento de poblaciones

Parámetro	Época Seca	Época Lluviosa	Categoría "A"	Categoría "B"
			(Desinfección)	(Tratamiento Convencional)
			Valor Máximo Permisible	Valor Máximo Permisible
Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	134.1	43.6	1,000	1,600

Parámetro	Época Seca	Época Lluviosa	Categoría "A"	Categoría "B"
			(Desinfección)	(Tratamiento Convencional)
			Valor Máximo Permisible	Valor Máximo Permisible
pH	8.005	8.071	6.5 - 8.5	6 - 9
Temperatura °C	22.6	25.5	----	---
Turbidez (UNT)	0.47	0.14	15	600
Sólidos disueltos (mg/L)	53.8	19	1,000	2,000
Oxígeno disuelto (mg/L)	ND	7.9	5	4
Nitratos (mg/L)	0.2	0.2	50	50
Ortofosfatos (mg/L)	0.36	0.51	0.1	0.5
Sulfatos (mg/L)	2.6	2.4	250	400
Manganeso (mg/L)	<0.01	<0.01	0.5	1
Dureza (mg/L CaCO ₃)	18	ND	----	----
Salinidad (ppt)	<0.05	<0.05	----	----
Coliforme total (UFC/100 ml)	195	170	500	1,000
<i>E. coli</i> (UFC/100 ml)	2	2	100	2,000

Nota. ND, No disponible.

Según el *Diagnóstico del Sector Agua Potable y Saneamiento* del municipio de Taulabé (Reyes, 2016), el 20% de la población se dedica al cultivo de café y caña, mientras que el 5% se dedica a la ganadería y la agricultura de granos básicos. Por lo tanto, comparar los parámetros de calidad de agua es crucial para el desarrollo de estas actividades productivas. Como se muestra en el Cuadro 14, existen tres categorías de agua para uso agrícola y pecuario. Todos los parámetros analizados se encuentran dentro de los valores establecidos por *Borrador de la Norma Técnica 15/05/01*, lo que indica que el agua es apta para los usos mencionados, contribuyendo a la sostenibilidad y productividad de las actividades agrícolas y ganaderas de la región.

Cuadro 14

Parámetros de calidad de agua en la obra toma de Bacadía en comparación con la categoría para uso agrícola y pecuario

Parámetro	Época Seca	Época Lluviosa	Categoría "A"	Categoría "B"	Categoría "C"
			Agua Para Riego De Vegetales Que Se Consumen Crudos	Agua Para Riego De Otro Tipo De Cultivo	Agua Para Consumo De Ganado Mayor Y Menor
			Valor Máximo Permisible	Valor Máximo Permisible	Valor Máximo Permisible
Conductividad (µS/cm)	134.1	43.6	3,000	3,000	3,000
pH	8.005	8.071	6 - 9	6 - 9	6 - 9

Parámetro	Época Seca	Época Lluviosa	Categoría "A"	Categoría "B"	Categoría "C"
			Agua Para Riego De Vegetales Que Se Consumen Crudos	Agua Para Riego De Otro Tipo De Cultivo	Agua Para Consumo De Ganado Mayor Y Menor
			Valor Máximo Permisible	Valor Máximo Permisible	Valor Máximo Permisible
Temperatura (°C)	22.6	25.5	----	----	----
Turbidez (UNT)	0.47	0.135	----	----	----
Sólidos disueltos (mg/L)	53.8	19	2,000	2,000	2,000
Oxígeno disuelto (mg/L)	ND	7.9	>/ 3	>/ 3	----
Nitratos (mg/L)	0.2	0.2	----	----	----
Ortofosfatos (mg/L)	0.36	0.51	----	----	----
Sulfatos (mg/L)	2.6	2.4	----	----	----
Manganeso (mg/L)	<0.01	<0.01	0.5	0.5	0.5
Dureza (mg/L CaCO ₃)	18	ND	----	----	----
Salinidad (ppt)	<0.05	<0.05	----	----	---
Coliforme total (UFC/100 ml)	195	170	5,000	1,0000	5,000
<i>E. coli</i> (UFC/100 ml)	2	2	1,000	2,000	1,000

Nota: ND, No disponible

De acuerdo con el artículo 14 del *Borrador de Norma Técnica 15/05/01 en preservación de flora y fauna*, cuyo objetivo es mantener la vida natural de los ecosistemas acuáticos y terrestres sin ocasionar alteraciones sensibles en ellos, se observa en el Cuadro 15, que los parámetros se encuentran dentro de los valores establecidos, sin embargo, el nivel de oxígeno disuelto está en el límite de lo que estipula la normativa. Este parámetro es crucial para el desarrollo de la vida y es un indicador clave de la calidad de agua, por lo cual, no representa un riesgo para la salud del ecosistema.

Cuadro 15

Parámetros de calidad de agua en la obra toma de Bacadía en comparación la categoría para uso en preservación de flora y fauna

Parámetro	Época Seca	Época Lluviosa	Valor Máximo Permisible
Conductividad (µS/cm)	134.1	43.6	----
pH	8.005	8.071	4.5 – 9.5
Temperatura (°C)	22.6	25.5	----
Turbidez (UNT)	0.47	0.135	----
Sólidos disueltos (mg/L)	53.8	19	----
Oxígeno disuelto (mg/L)	ND	7.9	3
Nitrato (mg/L)	0.2	0.2	50
Ortofosfatos (mg/L)	0.36	0.51	----
Sulfatos (mg/L)	2.6	2.4	400

Parámetro	Época Seca	Época Lluviosa	Valor Máximo Permissible
Manganeso (mg/L)	<0.01	<0.01	0.5
Dureza (mg/L CaCO ₃)	18	ND	----
Salinidad (ppt)	<0.05	<0.05	----
Coliforme total (UFC/100 ml)	195	170	2,500
<i>E. coli</i> (UFC/100 ml)	2	2	5,000

Nota: ND No disponible

Debido a que uno de los principales atractivos turísticos de la zona son sus áreas recreativas, es importante comparar estos parámetros del *Borrador de Norma Técnica 15/05/01 de uso recreativo* de la obra toma de Bacadía. Existen dos clasificaciones: Contacto directo e indirecto. Dentro del contacto directo se incluyen los cuerpos de agua y piscinas. En el análisis se encontró que *E. coli* supera los niveles permisibles en la subclasificación de piscinas de contacto directo. Según OMS (2011), cuando los parámetros de calidad no cumplen con los estándares recomendados por las normativas, se recomienda tratar el agua antes de entrar en contacto directo con los usuarios de las áreas recreativas.

Cuadro 16

Parámetros de calidad de agua en la obra toma de Bacadía en comparación con la categoría para uso recreativo

Parámetro	Época Seca	Época Lluviosa	Contacto Directo		Contacto Indirecto
			Valor Máximo Permissible		Valor Máximo Permissible
			Cuerpo De Agua	Piscinas	
Conductividad (µS/cm)	134.1	43.6	----	----	----
pH	8	8.07	6 - 9	6 - 8	5.5 – 9.5
Temperatura °C	22.6	25.5	----	40	---
Turbidez (UNT)	0.47	0.14		10	----
Sólidos disueltos (mg/L)	53.8	19	---	----	----
Oxígeno disuelto (mg/L)	----	7.9	4	4	3
Nitratos (mg/L)	0.2	0.2	-----	----	----
Ortofosfatos (mg/L)	0.36	0.51	----	----	----
Sulfatos (mg/L)	2.6	2.4	----	-----	----
Manganeso (mg/L)	<0.01	<0.01	----	----	----
Dureza (mg/L CaCO ₃)	18	ND	----	400	----
Salinidad (ppt)	<0.05	<0.05	----	----	----
Coliforme total (UFC/100 ml)	195	170	5,000	100	1,000
<i>E. coli</i> (UFC/100 ml)	2	2	1,000	1	2,000

Para la población de Cerro Azul se comparó con respecto al *Borrador de la Norma Técnica 15/05/01* de uso en abastecimiento de poblaciones y la preservación de flora y fauna. Para el abastecimiento de poblaciones se observa en el Cuadro 17, que el pH se encuentra por debajo de la normativa, tanto en época seca como en época lluviosa, para la categoría A, los ortofosfatos se encuentran fuera del parámetro, sin embargo, es probable que esto se deba a la mineralización del suelo. Mientras que para los parámetros de preservación de flora y fauna se encuentran dentro de los parámetros establecidos (Cuadro 18).

Cuadro 17

Parámetros de calidad de agua en la obra toma de Cerro Azul en comparación con la categoría para uso de abastecimiento de poblaciones

Parámetro	Época Seca	Época Lluviosa	Categoría "A"	Categoría "B"
			(Desinfección)	(Tratamiento Convencional)
			Valor Máximo Permisible	Valor Máximo Permisible
Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	29.1	31	1,000	1,600
pH	6.092	6.389	6.5 - 8.5	6 - 9
Temperatura $^{\circ}\text{C}$	24.6	25	----	---
Turbidez (UNT)	0.63	0.54	15	600
Sólidos disueltos (mg/L)	11.6	15.2	1,000	2,000
Oxígeno disuelto (mg/L)	----	---	5	4
Nitratos (mg/L)	0.38	0.38	50	50
Ortofosfatos (mg/L)	0.23	0.26	0.1	0.5
Sulfatos (mg/L)	2.3	<2	250	400
Manganeso (mg/L)	<0.01	<0.01	0.5	1
Dureza (mg/L CaCO_3)	18	----	----	----
Salinidad (ppt)	0.02	<0.05	----	----
Coliforme total (UFC/100 ml)	311	368	500	1,000
<i>E. coli</i> (UFC/100 ml)	5	7	100	2,000

Cuadro 18

Parámetros de calidad de agua en la obra toma de Cerro Azul en comparación con la categoría para uso de preservación de flora y fauna

Parámetro	Época Seca	Época Lluviosa	Valor Máximo Permisible
Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	29.1	31	----
pH	6.092	6.389	4.5 – 9.5
Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	24.6	25	----

Parámetro	Época Seca	Época Lluviosa	Valor Máximo Permissible
Turbidez (UNT)	0.63	0.54	----
Solidos disueltos (mg/L)	11.6	15.2	----
Oxígeno disuelto (mg/L)	----	----	3
Nitratos (mg/L)	0.38	0.38	50
Ortofosfatos (mg/L)	0.23	0.26	----
Sulfatos (mg/L)	2.3	<2	400
Manganeso (mg/L)	<0.01	<0.01	0.5
Dureza (mg/L CaCO ₃)	18	----	----
Salinidad (ppt)	0.02	<0.05	----
Coliforme total (UFC/100 ml)	311	368	2,500
<i>E. coli</i> (UFC /100 ml)	5	7	5,000

En la comunidad de Varsovia, se observa en el Cuadro 19 la categoría de uso de agua para abastecimiento de poblaciones, que todos los parámetros se encuentran dentro de lo indicado en el *Borrador de la Norma Técnica 15/05/01*, al igual que para la categoría de uso de preservación de flora y fauna (Anexo C), se observa que no existe mucha variación en conductividad con respecto a época seca y lluviosa, al igual que pH, sin embargo, en parámetros como turbidez existe una diferencia, esto se debido a la cantidad de materia orgánica que contenía el agua, al momento de la recolección, debido a que las obras toma están expuestas.

Cuadro 19

Parámetros de calidad de agua en la obra toma de Varsovia en comparación con la categoría para uso de abastecimiento de poblaciones

Parámetro	Época Seca	Época Lluviosa	Categoría "A"	Categoría "B"
			(Desinfección)	(Tratamiento Convencional)
			Valor Máximo Permissible	Valor Máximo Permissible
Conductividad (µS /cm)	35.6	40	1,000	1,600
pH	6.597	6.532	6.5 - 8.5	6 - 9
Temperatura °C	24.9	25	----	---
Turbidez (UNT)	2.62	0.36	15	600
Solidos disueltos (mg/L)	14.3	15.8	1,000	2,000
Oxígeno disuelto (mg/L)	----	---	5	4
Nitratos (mg/L)	0.34	0.26	50	50
Ortofosfatos (mg/L)	0.21	0.34	0.1	0.5
Sulfatos (mg/L)	2.3	<2	250	400
Manganeso (mg/L)	<0.01	<0.01	0.5	1
Dureza (mg/L CaCO ₃)	18	ND	----	----
Salinidad (ppt)	0.02	<0.05	----	----

Parámetro	Época Seca	Época Lluviosa	Categoría "A" (Desinfección)	Categoría "B" (Tratamiento Convencional)
			Valor Máximo Permisible	Valor Máximo Permisible
Coliforme total (UFC/100 ml)	188	240	500	1,000
<i>E. coli</i> (UFC/100 ml)	10	5	100	2,000

Potencial de Hidrógeno (pH)

Los datos de las fuentes de captación se encontraron dentro del rango establecido por el *Borrador de Norma Técnica 15/05/01*, según el uso de abastecimiento de poblaciones categoría A, que estipula un pH entre 6.5 a 8. Los resultados registrados fueron tomados en dos diferentes épocas del año. Los valores no son superiores a 8.07 (Cuadro 21), por lo que, se puede considerar dentro de los límites aceptables para el uso de preservación de flora y fauna, según lo estipulado por el *Borrador de la Norma Técnica 15/05/01*. Esto indica que las fuentes de captación monitoreadas mantienen una calidad de agua adecuada en términos de pH, tanto en la época seca como en la lluviosa.

De acuerdo con la Figura 10, se comparó el pH con respecto al *Borrador de Norma Técnica 15/05/01* y a la época del año de las tres obras toma.

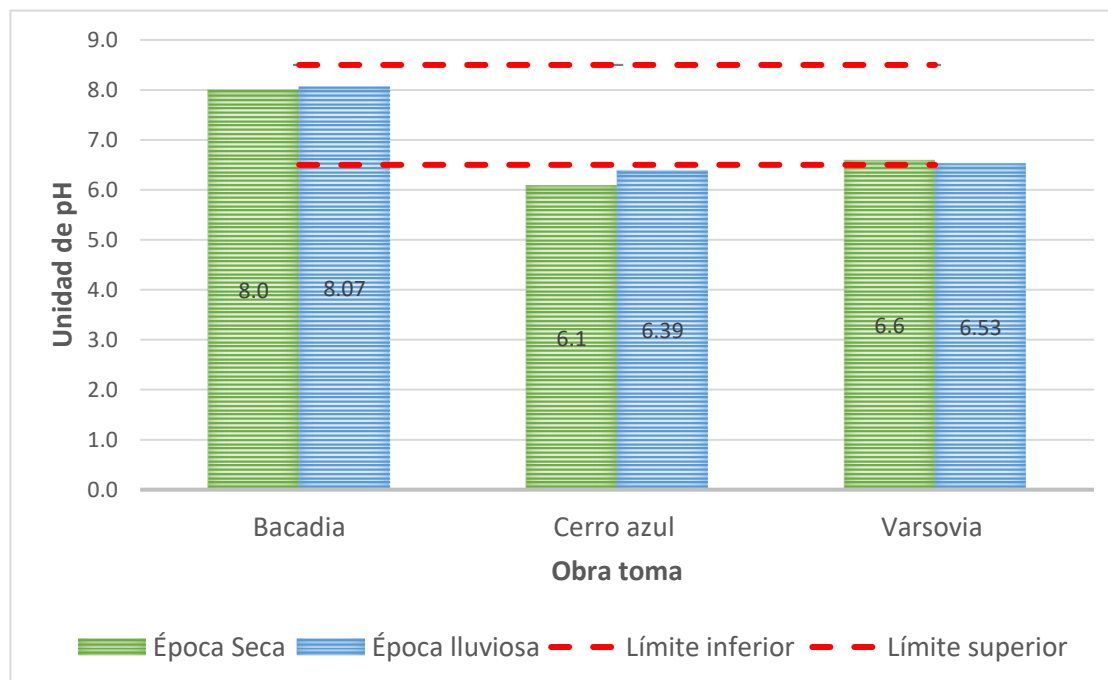
Cuadro 20

Variación del pH en tres localidades según la época del año

Fuente De Captación	Época Seca	Época Lluviosa
Bacadía	8.005	8.071
Cerro Azul	6.092	6.389
Varsovia	6.597	6.532

Figura 10

pH en las fuentes de captación en dos épocas del año

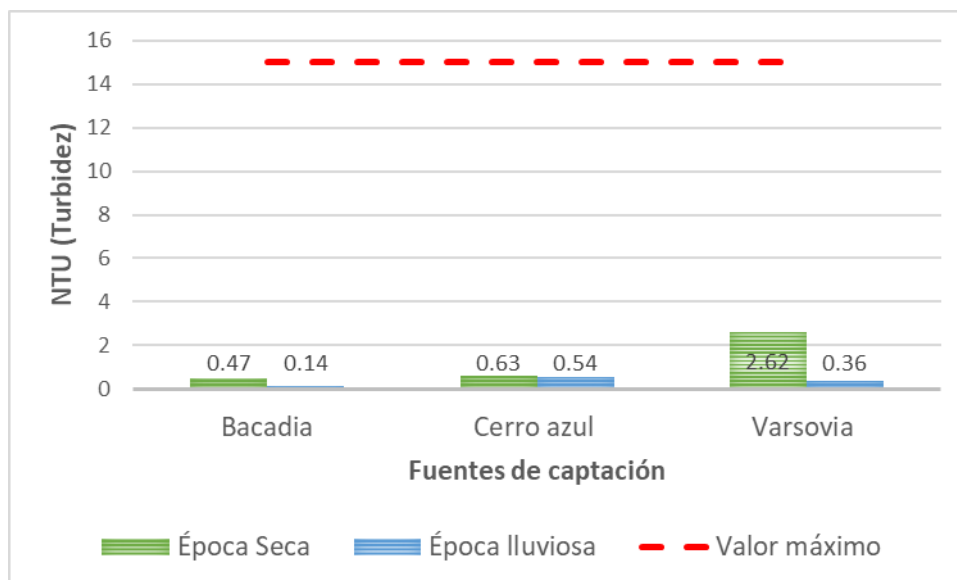


Turbidez

De acuerdo con el *Borrador de Norma Técnica 15/05/01* de agua para uso de abastecimiento de poblaciones, se observa en la Figura 11, que el valor máximo permisible es de 15 NTU de acuerdo con la categoría A, y las obras evaluadas, se encuentran dentro de lo establecido, sin embargo, se observa una diferencia entre época seca y época lluviosa, ya que, los valores son mayores en época seca, esto se debe a que existe mayor flujo en época lluviosa. De acuerdo con los datos obtenidos en campo con respecto al caudal de la obra toma de Bacadia en época seca fue de 2.38 L/s, mientras que para inicios de la época lluviosa fue de 5.39 L/s. Es importante considerar que la relación entre caudal y turbidez puede variar dependiendo de las características específicas de cada cuerpo de agua, como la geología de la cuenca, el uso del suelo, la presencia de actividades humanas, entre otros factores. Al recolectar la muestra en Varsovia, se observó presencia de materia orgánica en descomposición, lo cual puede deberse al arrastre de sedimentos del suelo.

Figura 11

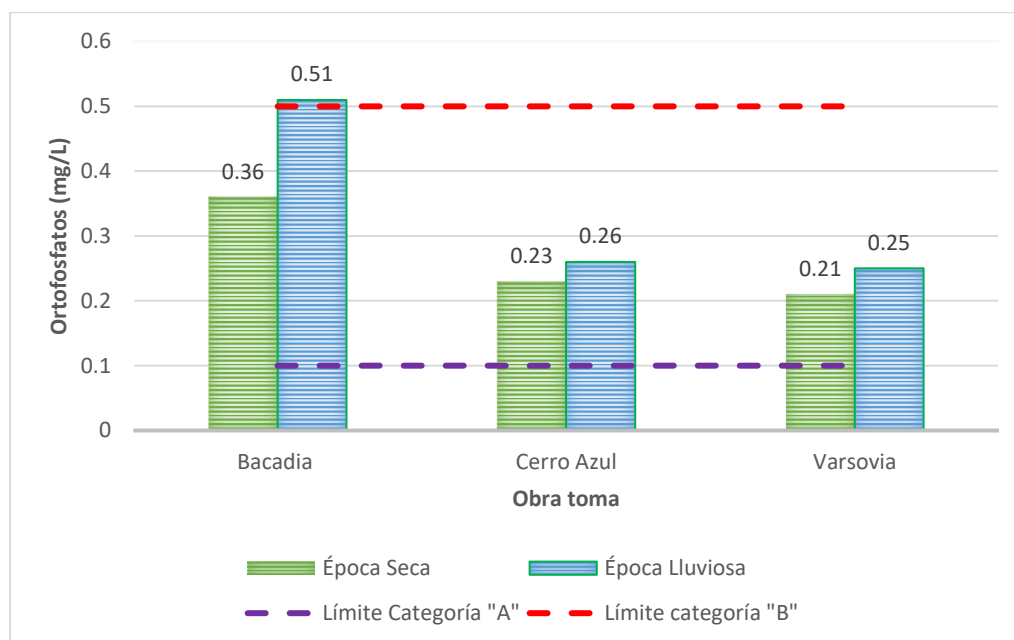
Turbidez en el agua de las fuentes de captación en dos épocas del año



Los resultados de los análisis de ortofosfatos (Figura 12), comparándolos con el *Borrador de Norma Técnica 15/05/01 de uso para abastecimiento a poblaciones*, revelan que el agua analizada de las obras toma se encuentra en el límite de la normativa tanto en época seca como en época lluviosa, esto puede estar relacionado con los factores geológicos (Benítez y Sariia-Villa, 2020), ya que, la geología local y la composición del suelo pueden contribuir a niveles naturalmente más altos de fosfatos en las aguas subterráneas y superficiales utilizadas para el abastecimiento de poblaciones. En este caso, aunque los valores sobrepasan muy poco el límite permitido, es importante recalcar los riesgos, en relación con las aguas destinadas al consumo humano, un alto contenido altera las características organolépticas y dificulta el proceso de la floculación en las plantas de tratamiento (Ramos Ilvis, 2016).

Figura 12

Ortofosfatos en fuentes de captación en dos épocas del año



Coliformes

De acuerdo con la *Norma Técnica para Calidad del Agua Potable de 1995 (Ministerio de Salud, 31 de julio de 1995)*, se observa que el parámetro de coliformes totales y *E. coli* sobrepasan el límite admisible (Figura 13 y Figura 14). La obra toma de Bacadía es la que menores valores de *E. coli* presenta. Esto es de vital importancia, debido a que el agua llega a las comunidades de Cerro Azul, Bacadía y Varsovia. Según Reyes (2016), no existe un tratamiento de desinfección, ya que el agua llega directo de la microcuenca a los consumidores; razón por la cual, monitorear estos parámetros permite proteger la salud de los consumidores. Dada la presencia de *E. coli*, lo recomendable es que el agua sea sometida a métodos de desinfección antes de su consumo. Entre los tratamientos más comunes se encuentran los métodos físicos, como la aplicación de calor; químicos, como el cloro, dióxido de cloro y ozono; o el uso de ración UV. Sin embargo, este último tiene una baja eficiencia cuando el agua presenta alta turbidez (Romero, 2008). La presencia de *E. coli*, indica la falta de acceso adecuada a

agua y saneamiento y genera impactos negativos en la salud de los usuarios. Según Rock y Rivera (2014) la mayoría de las bacterias *E.coli* no son patógenas, pero si una persona se infecta, el tracto gastrointestinal es el principal sitio de infección. Los síntomas pueden incluir náuseas, vómitos, diarrea y fiebre. Esta bacteria se produce de manera natural en el tracto gastrointestinal de humanos y animales. Sin embargo, si invade áreas del cuerpo como riñones o la sangre puede causar enfermedades.

Figura 13

Coliformes totales en fuentes de captación en dos épocas del año en comparación con la Norma Técnica Nacional para la calidad de agua potable de 1995

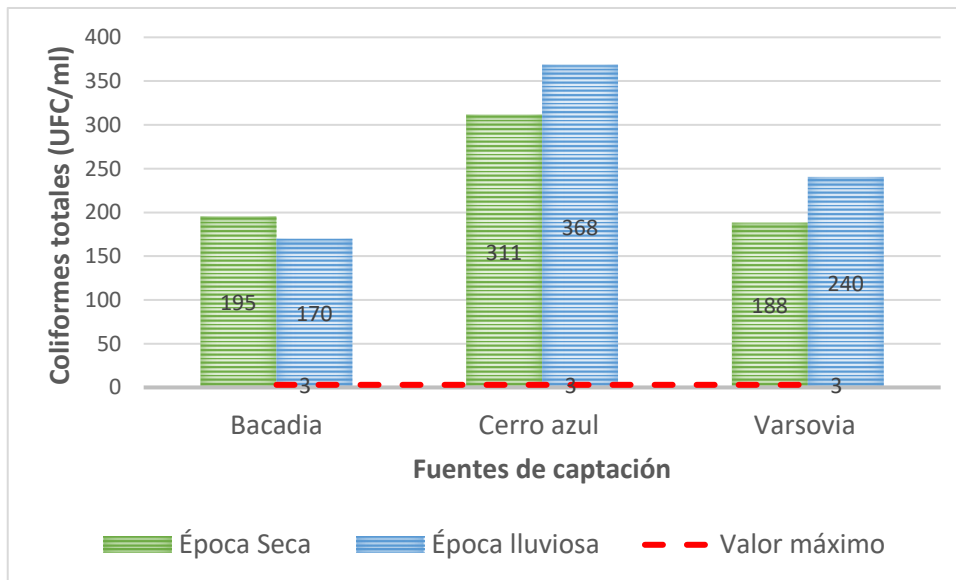
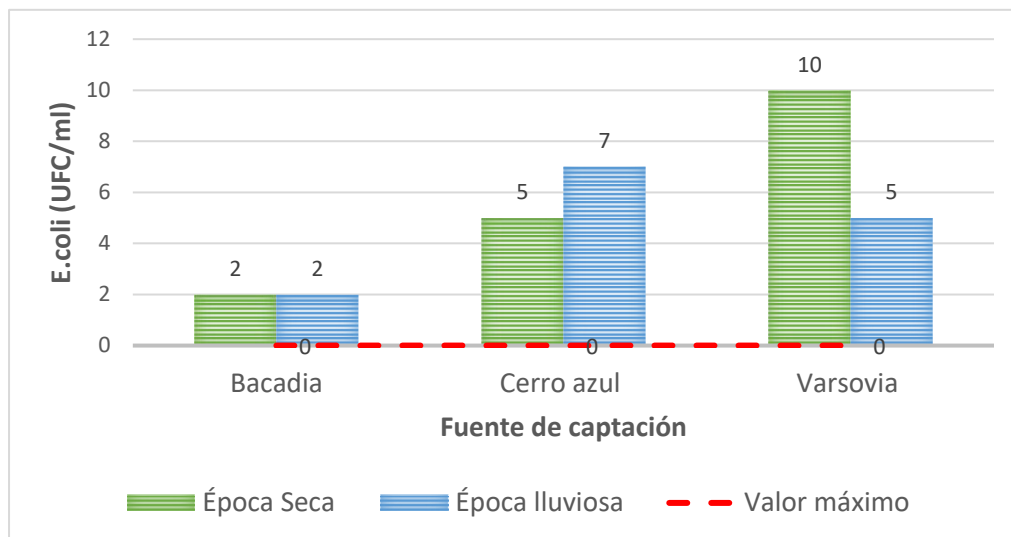


Figura 14

Coliformes fecales (E. coli) en fuentes de captación en dos épocas del año en comparación con la Norma Técnica Nacional para la calidad de agua potable de 1995



Conclusiones

La microcuenca de un tributario del Río Bonito, San Antonio Bacadía, tiene una extensión menor a 100 ha, por lo tanto, en caso de someterse a un proceso de declaratoria se deberá de elaborar un plan de acción y no un plan de manejo. La microcuenca se ubica en la zona de amortiguamiento del área protegida Cerro Azul Meámbar, próxima a la zona núcleo. En la microcuenca predomina el bosque mixto y bosque ralo de coníferas, ubicados en pendientes de escarpadas a muy escarpadas.

Los parámetros fisicoquímicos evaluados en todas las obras tomas están dentro de los valores permisibles por el *Borrador 15/05/01 de la Norma Técnica para uso de abastecimiento de poblaciones*. Sin embargo, los valores de las coliformes totales y las coliformes fecales (*E. Coli*), fueron comparados con la *Norma Técnica para la Calidad del Agua Potable de 1995*, y estos se encuentran por encima de los valores permisibles.

En todas las obras toma evaluadas (Bacadía, Cerro Azul y Varsovia), se encontró presencia de *E. coli*. La obra toma de Bacadía es la que menos UFC presenta (2 UCF/ml). Sin embargo, es importante garantizar la seguridad y calidad de agua antes de ser dotada y consumida por la población. En este sentido, el agua de todas las obras tomas debe ser sometida a métodos de desinfección, tales como hervir, filtrar o desinfectar con cloro el agua. La *Norma Técnica para la Calidad del Agua Potable de 1995* indica que, para la desinfección con cloro, es importante tener en cuenta un valor de pH < 8 y un valor de turbidez < 1 NTU.

Recomendaciones

Socializar los resultados de este estudio con la Unidad Municipal Ambiental de Taulabé, Comayagua, con el fin de contribuir a la elaboración de un diagnóstico biofísico de la microcuenca parte de un posible plan de acción, esto en caso de aplicar a un proceso de declaratoria.

Completar el análisis biofísico, incluyendo la sección de flora y fauna y en el análisis socioeconómico, es importante realizar un mapeo de actores y un análisis del problema para construir el plan de acción de forma participativa. Por otro lado, es de suma importancia conocer el estado de la tenencia de la tierra con el fin de encontrar el mecanismo de protección adecuado.

Rectificar y confirmar la delimitación de la microcuenca en campo, involucrando a los actores y autoridades, esto en caso de someterse a un proceso de declaratoria.

Realizar monitoreos de la calidad y cantidad de agua al menos dos veces al año, durante las épocas seca y lluviosa, para determinar si existen cambios. Estos monitoreos deben llevarse a cabo tanto en la obra toma como los tanques de captación y en las llaves de la comunidad para contrastar si la calidad se mantiene al llegar a los usuarios.

Es de suma importancia que el agua para consumo humano no sea dotada o consumida sin previo tratamiento de calidad de agua, esto debido a la presencia de coliformes fecales (*E.Coli*) en todas las obras tomas.

Realizar un estudio de suelos y generar información más detallada sobre las propiedades físicas y químicas del suelo en la microcuenca. Esto para determinar la aptitud del suelo y evaluar correctamente su capacidad. Por otro lado, es importante analizar la presión que podrían ejercer los usos y coberturas del suelo de las áreas contiguas a la microcuenca.

Referencias

- Amézquita, J. L. (2016). *Evaluación del índice de calidad del agua del Río Alameda, en la provincia de Huamanga - Ayacucho, periodo marzo - septiembre del año 2015* [Tesis de Posgrado, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, Perú]. repositorio.unsch.edu.pe. <https://repositorio.unsch.edu.pe/items/39686ea9-5c6c-418a-bed4-24f845f580f0>
- Baird, R. B., Eaton, A. D. y Rice, E. (Eds.). (2017). *Standard methods for examination of water and wastewater* (Twenty third edition). American Public Health Association.
- Benítez, P. y Sariia-Villa, J. (2020). Contaminación del agua por metales pesados, métodos de análisis y tecnologías de remoción. *Entre Ciencia E Ingeniería*, 14(27), 9–18. <http://www.scielo.org.co/pdf/ecei/v14n27/1909-8367-ecei-14-27-9.pdf>
- Bolaños, J., Cordero, G. y Segura, G. (2017). Determinación de nitritos, nitratos, sulfatos y fosfatos en agua potable como indicaciones de contaminación ocasionada por el hombre, en dos cantones de Alajuela (Costa Rica). *Tecnología En Marcha*, 30(4), 15–27. https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S0379-39822017000400015&script=sci_arttext
- Caballero, R., Hernández, R., Vera, L. y Delgado, M. (2013). Mineralización del N desde fracciones lábiles y estables de la materia orgánica de un suelo de sabana con coberturas perennes de gramínea y leguminosa. *Sociedad Venezolana De La Ciencia Del Suelo*. <http://saber.ucv.ve/bitstream/10872/4986/1/Mineralizaci%3%b3n%20N%20CVCS%202013.pdf>
- Campos, R. y Vargas, H. (2014). Incremento de Áreas Impermeables por Cambios de Usos de la Tierra en la Microcuenca del Río Burío. *Reflexiones*, 93(1), 33–46. https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1659-28592014000100003
- Cañibano, A., Sastre Vázquez, P. y D'Andrea, R. (2016). Área y perímetro para la caracterización de formas. *Suma*, 1, Artículo 83, 25–32. <https://redined.educacion.gob.es/xmlui/bitstream/handle/11162/252423/Ca%3%b1ibano.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Caycho, L. (2020). *Modelacion Geoespacial con SIG en la identificación zonas vulnerables y cuantificación de la erosión hídrica, cuenca del Río Huarmey* [Tesis de pregrado]. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú. <https://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/4669>
- Cobeña, H., Velásquez, F., Navarrete, J. y Delgado, C. (2022). Vista de Caracterización biofísica de la microcuenca Sarampión, Manabí – Ecuador. *Ciencias Naturales Y Ambientales*, 16(2), 357–364. <https://revistas.ug.edu.ec/index.php/cna/article/view/1863/2663>
- Colegio oficial de Biólogos de la Comunidad de Madrid. (2015). *Descripción de indicadores: Temperatura*. Universidad Complutense de Madrid. <https://www.ucm.es/data/cont/docs/952-2015-02-14-Temperatura%20f26.pdf>
- Ley Forestal Áreas Protegidas y Vida Silvestre Declaratoria y Protección de Microcuencas Abastecedoras de Agua, La Gaceta (2008). <https://fapvs.hn/wp-content/uploads/2018/08/Ley-Forestal-Areas-Protegidas-y-Vida-Silvestre-1.pdf>
- Ley General de Aguas, Gaceta 43 (2009). https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-cam_files/ley-general-de-aguas-2009.pdf

- Gasparico, L. (2018). *Caracterización Biofísica y Socioeconómica de la Microcuenca del Río Guadrón, Guatemala, C.A* [Trabajo de Graduación]. Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. <http://www.repositorio.usac.edu.gt/10197/1/T-03526.pdf>
- Guerra, S. (2014). *Determinación del conflicto de uso de suelo para las veredas las Petadas y la Correa del municipio de Puerto Rondón dentro de la cuenca del Río Cravo norte en el departamento de Arauca* [Tesis de Pregrado]. Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá. https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/11729/Guerra%20Rodriguez%20Sergio_2014.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Ibañez, S., Moreno, H. y Gisbert, J. (2011). *Morfología de las cuencas hidrográficas*. Universidad Politécnica de València. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/10782/Morfologia%20cuenca.pdf?sequence=1>
- Instituto de Conservación Forestal. (2010). *Estrategia Nacional de Manejo de Cuencas Hidrográficas*. Instituto de Conservación Forestal. <https://cuencasgolfodefonseca.org/wp-content/uploads/2017/11/Estrategia-Nacional-de-Cuencas.pdf>
- Aprobación Plan de Manejo Parque Nacional Azul Meámbar (PANACAM) Período 2016-2027, 34,193 La Gaceta (2016). <https://faolex.fao.org/docs/pdf/hon168265.pdf>
- Instituto de Conservación Forestal. (2022). *Guía para la Zonificación de Cuencas Hidrográficas*. <https://icf.gob.hn/wp-content/uploads/2022/03/Anexo-2.-Guia-para-la-zonificacion-de-cuencas.pdf>
- Leandro, H., Coto, J. y Salgado, v. (2010). Calidad del agua de los ríos de la microcuenca IV del Río Virilla. *Uniciencia*, 24(69-74).
- Ley Forestal, Áreas Protegidas y Vida Silvestre, La Gaceta (2007). <https://fapvs.hn/wp-content/uploads/2018/08/Ley-Forestal-Areas-Protegidas-y-Vida-Silvestre-1.pdf>
- Martínez, J. y Hernández, J. (2021). Línea base para un programa de educación ambiental no formal en la microcuenca Xichú, Guanajuato. *Acta Universitaria*, 31. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0188-62662021000100101&script=sci_arttext
- Melo, G. y Turriago, F. (2012). *Evaluación de la eficiencia de la utilización de semillas de moringa oleífera como una alternativa de biorremediación en la purificación de aguas superficiales del caño cola de pato ubicado en el sector rural del municipio de Acacias* [Tesis de grado]. Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD, Colombia. <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/1428>
- Ministerio de Salud (31 de julio de 1995). *Norma Técnica Nacional para la calidad del Agua Potable*. (Norma Técnica para la calidad del Agua Potable, 084). <http://aguasdesiguatatepeque.com/Imagenes/Archivos%20PDF/Norma%20Tecnica%20calidad%20del%20agua%20potable.pdf>
- Organización Mundial de la Salud. (2011). *Guías para la calidad del agua de consumo humano*. Organización Mundial de la Salud. <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/272403/9789243549958-spa.pdf?sequence=1>

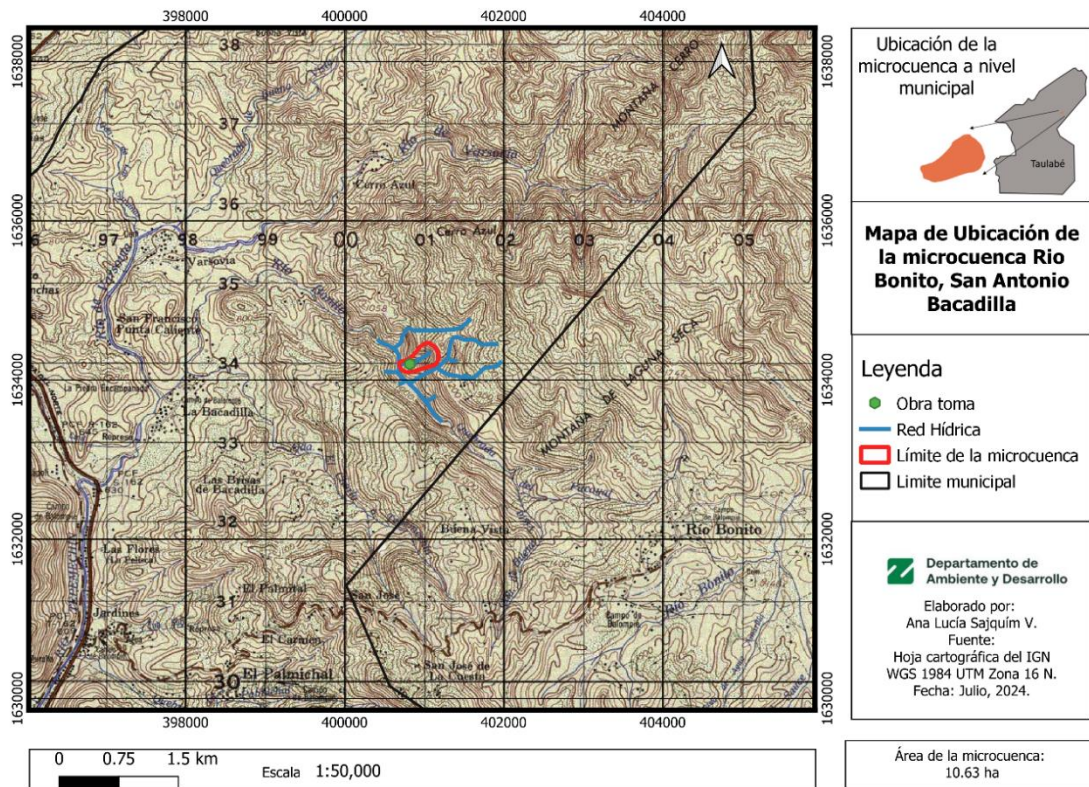
- Ramos, A. (2019). Interceptación y Escorrentía del bosque altoandino en la reserva forestal protectora "El Malmo". *Acta Biológica Colombiana*, 24(1), 97–108. <https://www.redalyc.org/journal/3190/319059543008/html/>
- Ramos Ilvis, A. (2016). *Evaluación Microbiológica y Físico-química de la Caidad del Agua para Consumo Humano de la Junta Administradora de Agua Potable Galten Guilbut Ubicada en el Cantón Chambo* [Tesis de Pregrado]. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. <http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/4913/1/56T00622%20UDCTFC.pdf>
- Reyes, S. (2016). *Diagnóstico del sector Agua Potable y Saneamiento: Programa de Agua y Saneamiento Rural*. Programa de Agua y Saneamiento Rural SANAA/BID. <https://conasa.hn/wp-content/uploads/2017/04/DA-TAULABE-COMAYAGUA.pdf>
- Robillard, P. (2023). Nitratos en el Agua Potable. *PennState Extension*. <https://extension.psu.edu/nitratos-en-el-agua-potable>
- Rock, C. y Rivera, B. (2014). *La Calidad del Agua, E. coli y su Salud*. The University of Arizona. <https://repository.arizona.edu/bitstream/handle/10150/670057/AZ1624S-2014.pdf?sequence=1>
- Rodrigues, V. (2014). Avaliação dos processos hidrológicos em microbacias hidrográficas. *Sociedad Española De Ciencias Forestales (SECF)*. Publicación en línea avanzada. <https://doi.org/10.31167/csef.v0i41.17401>
- Rodriguez, J. (2009). Parámetros físicoquímicos de dureza total en calcio y magnesio, pH, conductividad y temperatura del agua potable analizados en conjunto con las Asociaciones Administradoras del Acueducto, (ASADAS), de cada distrito de Grecia, cantón de Alajuela, noviembre 2008. *Pensamiento Actual*, 9(12-13), 125–134. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5897932>
- Rojas, M. y Rugama, N. (2013). *Identificación de coliformes fecales en agua de pozos en cuatro comunidades del sector sur de la Ciudad de León agosto-octubre 2011/agosto-octubre 2012* [Tesis, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua UNAN, León, Nicaragua]. RIS. <http://riul.unanleon.edu.ni:8080/jspui/bitstream/123456789/6262/1/224734.pdf>
- Romero, M. (2008). Tratamientos Utilizados en Potabilización de Agua. *Boletín Electrónico*, 8, 1–12. https://fgsalazar.net/LANDIVAR/ING-PRIMERO/boletin08/URL_08_ING02.pdf
- Reglamento del Sistema Nacional de áreas protegidas de Honduras, La Gaceta (1997). https://www.tsc.gob.hn/web/leyes/Reglamento_del_Sistema_Nacional_de_Areas_Protegidas_en_Honduras.pdf
- Secretaria de Salud (2001). *Borrador de la Norma Técnica Nacional para Agua*.
- Severiche, C., Barreto, A. y Acevedo, R. (2013). Efecto de las Lluvias sobre la Calidad del Agua en La Ciénaga Grande de Santa Marta, Colombia. *Avances Investigación en Ingeniería*, 10(1), 58–67. <https://revistas.unilivre.edu.co/index.php/avances/article/view/2727>
- Solís, Y., Zúñiga, L. y Mora, D. (2018). La conductividad como parámetro predictivo de la dureza del agua en pozos y nacientes de Costa Rica. *Revista Tecnología En Marcha*, 31(1), 35. <https://doi.org/10.18845/tm.v31i1.3495>

- Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza. (2009). *Comisión Nacional de Microcuencas Proyecto Tacaná*.
<https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/2009-095.pdf>
- Valdés, A. y Hernández, J. (2018). Zonas funcionales y unidades de paisaje físico-geográfico en la microcuenca Potrero de la Palmita, Nayarit, México. *Revista Geográfica De América Central*, 1(60), 189–229. <https://doi.org/10.15359/rgac.60-1.7>
- Zhen-Wu, B. Y. (2010). Índices de calidad del agua en la microcuenca de la quebrada Victoria, Guanacaste, Costa Rica (2007-2008). *Research Journal UNED*, 2(1).
<https://www.redalyc.org/pdf/5156/515651985004.pdf>

Anexos

Anexo A

Delimitación de la microcuenca en la hoja cartográfica a una escala de 1:50,000



Anexo B

Parámetros de calidad de agua en la obra toma de Bacadía en comparación con la Norma Técnica

Nacional para la calidad de agua potable de 1995

Parámetro	Época Seca	Época Lluviosa	Valor Recomendado	Valor Máximo
Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	134.1	43.6	400	--
pH	8.005	8.071	6.5	8.5
Temperatura °C	22.6	25.5	18	30
Turbidez (UNT)	0.47	0.14	1	5
Sólidos disueltos (mg/L)	53.8	19	--	1000
Oxígeno disuelto (mg/L)	ND	7.9		
Nitratos (mg/L)	0.2	0.2	25	50
Ortofosfatos (mg/L)	0.36	0.51		
Sulfatos (mg/L)	2.6	2.4	25	250
Manganeso (mg/L)	<0.01	<0.01	0.01	0.5
Dureza (mg/L CaCO_3)	18	ND	400	--
Salinidad (ppt)	0.1	0.1	---	---
Coliforme total (UFC/100 ml)	195	170	--	3
<i>E. coli</i> (UFC/100 ml)	2	2	--	0

Anexo C

Parámetros de calidad de agua en la obra toma de Varsovia en comparación con la categoría para uso de preservación de flora y fauna

Parámetro	Época Seca	Época Lluviosa	Valor Máximo Permisible
Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	35.6	40	----
pH	6.597	6.532	4.5 – 9.5
Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	24.9	25	----
Turbidez (UNT)	2.62	0.36	----
Sólidos disueltos (mg/L)	14.3	15.8	----
Oxígeno disuelto (mg/L)	----	----	3
Nitratos (mg/L)	0.34	0.26	50
Ortofosfatos (mg/L)	0.21	0.25	----
Sulfatos (mg/L)	2.3	<2	400
Manganeso (mg/L)	<0.01	<0.01	0.5
Dureza (mg/L CaCO_3)	18	----	----
Salinidad (ppt)	0.02	<0.05	----
Coliforme total (UFC/100 ml)	188	240	2,500
<i>E. coli</i> (UFC/100 ml)	10	5	5,000