

POTENCIALIDAD DEL RECURSO HÍDRICO SUPERFICIAL DE LA MICROCUENCA QUEBRADA GRANDE, DE LA CEIBA, ATLÁNTIDA, HONDURAS

Surface water potential of the Quebrada Grande Micro-watershed, La Ceiba, Atlántida, Honduras

Gloria Raquel Rodas Velásquez

Universidad Internacional Iberoamericana (raquelrodashn@gmail.com) (<https://orcid.org/0009-0001-8158-5906>)

Debora Libertad Ramírez Vargas

Universidad Internacional Iberoamericana (debora.ramirez@unini.edu.mx) (<https://orcid.org/0000-0001-8709-457X>)

Información del manuscrito:

Recibido/Received: 27/11/25

Revisado/Reviewed: 28/05/26

Aceptado/Accepted: 21/09/26

RESUMEN

Palabras clave:

Microcuenca, caudal, oferta hídrica, demanda de agua, gestión sostenible.

El estudio evalúa la potencialidad del recurso hídrico superficial de la microcuenca Quebrada Grande, ubicada en La Ceiba, Atlántida, Honduras; fuente de abastecimiento de agua para el sector I de la ciudad de La Ceiba. El propósito es determinar la oferta y la demanda de agua mediante mediciones de caudal y proyecciones poblacionales a diez años. La metodología aplicada fue de tipo no experimental y descriptiva, con un muestreo intencional. Se realizaron 7 aforos entre 2023 y 2024, empleando el método de la sección transversal con un correntómetro FLOWATCH para medir la velocidad de la corriente, así mismo se mide la profundidad y ancho del cauce. Los resultados muestran un caudal promedio de 1.30 m³/s, con un máximo 2.36 m³/s en la época lluviosa y un caudal mínimo de 0.18 m³/s por segundo en la estación seca. La microcuenca abastece a 17591 habitantes, con un promedio de consumo de agua de 0.20 m³/día. Al proyectar el crecimiento poblacional al año 2034 (1.65% anual), se estima una población de 20719 habitantes y una demanda de 1512472 m³/año. La oferta hídrica anual se estima en 5676480 m³/año, manteniendo un superávit de 4164008 m³/año, lo que indica la capacidad que tiene la microcuenca para sostener el suministro de agua durante la próxima década. La variabilidad del caudal responde a las condiciones climáticas estacionales y bajo escenarios actuales de conservación la disponibilidad hídrica, es suficiente para la demanda de agua futura. No obstante, se recomienda mantener el monitoreo hidrológico y fortalecer las estrategias de manejo sostenible para garantizar la continuidad del recurso hídrico.

ABSTRACT

Keywords:

Micro- watershed, flow rate, water supply, water demand, sustainable management.

This study evaluates the potential of the surface water resources of the Quebrada Grande micro-watershed, located in La Ceiba, Atlántida, Honduras; a water supply source for Sector I of the city of La Ceiba, Atlántida, Honduras. The purpose is to determine water supply and demand through flow measurements and ten-year population projections. The methodology employed was non-experimental and descriptive, using purposive sampling. Seven flow measurements were

taken between 2023 and 2024, employing the cross-sectional method with a FLOWATCH current meter to measure flow velocity. The depth and width of the channel were also measured. The results show an average flow rate of 1.30 m³/s, with a maximum of 2.36 m³/s during the rainy season and a minimum flow rate of 0.18 m³/s during the dry season. The micro- watershed supplies water to 17,591 inhabitants, with an average daily water consumption of 0.20 m³. Projecting population growth to 2034 (1.65% annually), the population is estimated at 20,719 inhabitants, with a demand of 1,512,472 m³/year. The annual water supply is estimated at 5,676,480 m³/year, maintaining a surplus of 4,164,008 m³/year, indicating the micro- watershed 's capacity to sustain the water supply for the next decade. Flow variability is due to seasonal climatic conditions, and under current conservation scenarios, water availability is sufficient for future demand. However, continued hydrological monitoring and strengthened sustainable management strategies are recommended to ensure the continuity of the water resource.

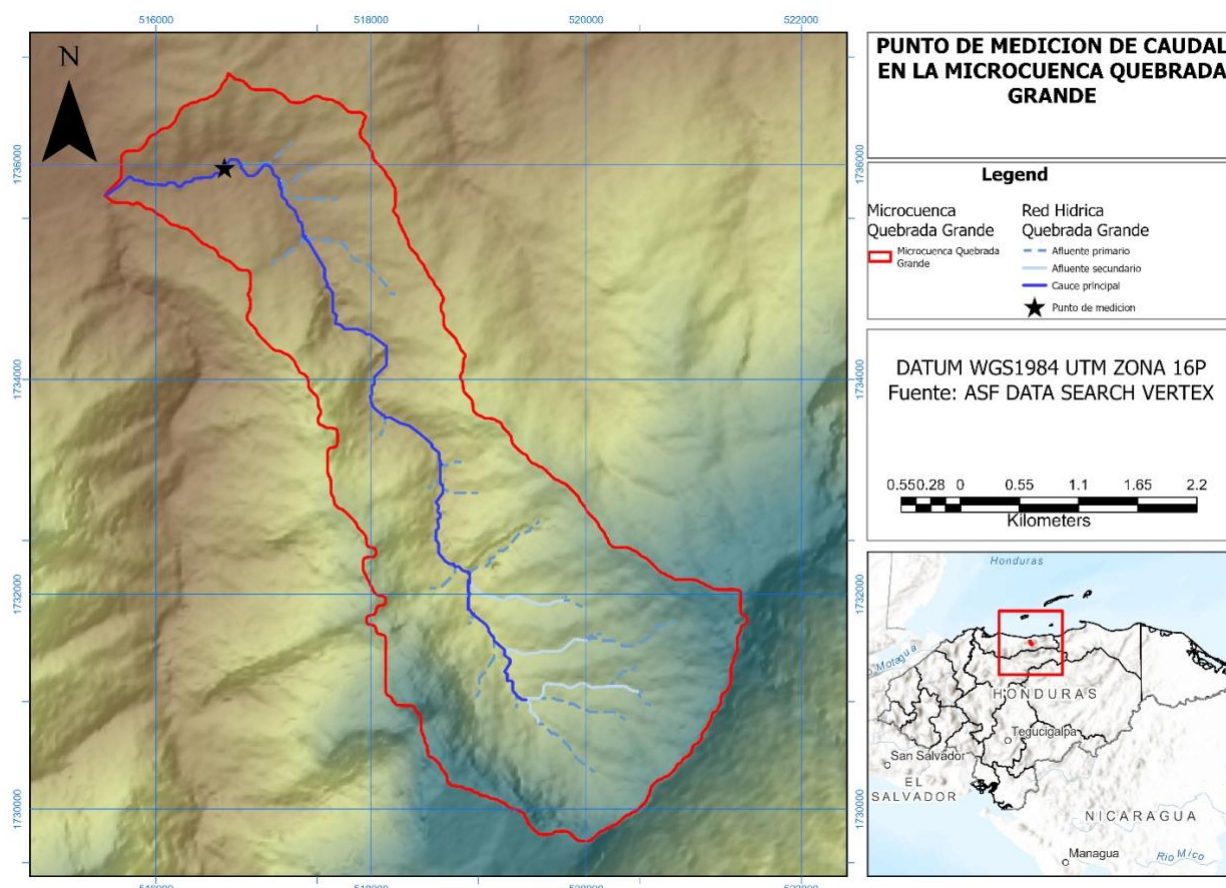
Introducción

Este estudio se basa en la comprensión y aplicación de los principios de la medición de caudal o aforo en Cuencas Hidrográficas, específicamente en la microcuenca Quebrada Grande de la Ceiba, Honduras.

La microcuenca Quebrada Grande objeto del presente estudio, está ubicada en el municipio de La Ceiba, departamento de Atlántida, Honduras, drena sus aguas a la subcuenca Río Bonito, la cual está ubicada entre los municipios de La Ceiba y El Porvenir. Se ubica en las siguientes coordenadas 17°19' y 17°41' longitud y 55°09'00'' y 55°21'00'' de latitud, hojas cartográficas No 2863 III La Ceiba y 2862 IV Pico Bonito. Comprende una zona de elevación que va desde los 400 m.s.n.m. en su punto más bajo y 2000 m.s.n.m. en su punto más alto (Cerro Búfalo). La Figura 1 muestra a detalle los datos de georreferenciación y la boca toma de la microcuenca de la microcuenca Quebrada Grande.

Figura 1.

Punto de medición o bocatoma de la microcuenca Quebrada Grande



Una cuenca hidrográfica se define como el espacio territorial delimitado por aguas divisorias conformada por sistemas de agua que fluyen al cause principal, lago o fuente hídrica, hasta finalmente desembocar en el mar (Visión Mundial, 2004).

Una cuenca hidrográfica se puede dividir atendiendo a diferentes criterios como el grado de concentración de una red de drenaje la cual a su vez define unidades menores tales como subcuencas y microcuencas. Las subcuencas son áreas que desarrollan su drenaje directamente hacia el curso principal de la cuenca, por lo que, varias subcuencas pueden conformar una cuenca. La microcuenca se define como un área que desarrolla su drenaje

directamente a la corriente principal de una subcuenca, varias microcuencas pueden conformar una subcuenca (CATIE, 2006).

Figura 2

Estructura de una Cuenca Hidrográfica.



Nota. Ordoñez, 2011.

La medición de caudal es una práctica indispensable para la gestión hídrica. El caudal de los ríos y quebradas proporciona información crítica sobre el volumen de agua que fluye en un momento dado, lo cual es fundamental para la planificación del uso del agua, la predicción de eventos extremos como inundaciones y sequías, y la evaluación del impacto de actividades humanas en los recursos hídricos (Martínez, 2023).

Definición de caudal y su importancia en la gestión de recursos hídricos.

El caudal de un río es la cantidad, o volumen, de agua que pasa por una sección determinada en un tiempo determinado. El caudal está dado en función de la sección transversal (m^2) y por la velocidad (m/s) a la que el agua atraviesa la sección y se expresa en metros cúbicos por segundo (m^3/s). El problema consiste en determinar la velocidad, ya que es variable para cada punto del cauce y aunque se pueden usar métodos de aproximación, lo normal es considerar los datos ofrecidos por las estaciones de aforo instaladas hidrográficamente. Los caudales en corrientes naturales se generan por la interacción que existe entre las precipitaciones que caen en su cuenca y las características propias de dicha cuenca. Las magnitudes de los caudales dependen de características como: intensidad de las lluvias, duración, patrones temporales y distribución sobre el área, además de las características morfológicas y fisiográficas de la cuenca (Compagnucci, 2007).

De acuerdo con Gaspari et al., (2010). La cuantificación de un caudal se denomina aforo. Se designa caudal al volumen de agua que circula a través de un conducto (cauce natural o artificial, tuberías, etc.) por unidad de tiempo.

La importancia de la medición de caudal es que permite conocer los datos de caudales y volúmenes en forma oportuna y veraz. La información del volumen de agua también permite lograr una mayor eficiencia en la programación, ejecución y evaluación del manejo integral del agua (Organización Meteorológica Mundial, 2011).

Métodos y técnicas para medir el caudal de un cuerpo de agua.

La medición del caudal de un río, canal o tubería se denomina aforo y existen técnicas adecuadas a distintas situaciones, dependiendo del lugar, geografía, topografía, entre otros.

Según Villon (2004), los métodos prácticos de aplicación más utilizados son: Aforo con flotadores, Aforos volumétricos, Aforos químicos, Aforos con vertederos, Aforos con correntómetro o molinete y Aforos con medidas de la sección y la pendiente.

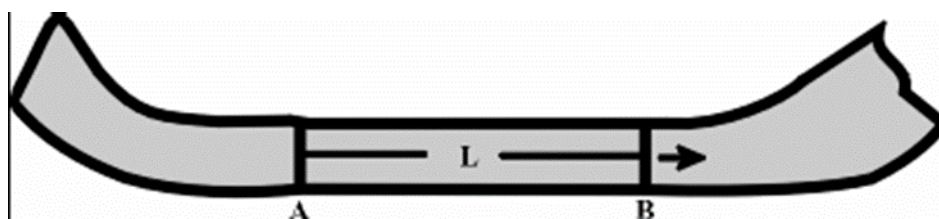
1. Aforo con flotadores

El método de aforo por flotadores es un método de campo, sencillo y rápido para estimar el caudal de agua que pasa en una sección transversal del río. Con este método se calcula las velocidades superficiales de la corriente de un canal o río, utilizando materiales sencillos (flotadores) que se puedan visualizar y cuya recuperación no sea necesaria (SENAMHI, 2001).

A continuación, se desarrolla la medición de caudal con el método del flotador según Villon (2004). Una forma sencilla de aproximar el valor del caudal de un cauce es realizar el aforo con flotadores. Ver Figura 3.

Figura 3.

Diseño del Método del Flotador



Nota. Tomado de Villon, 2004.

Por este método, se mide la velocidad superficial (v) de la corriente y el área de la sección transversal (A), luego con estos valores aplicando la ecuación de continuidad. Para realizar el aforo, se debe escoger en lo posible un tramo recto del cauce de longitud L . El procedimiento para medir la velocidad es como sigue:

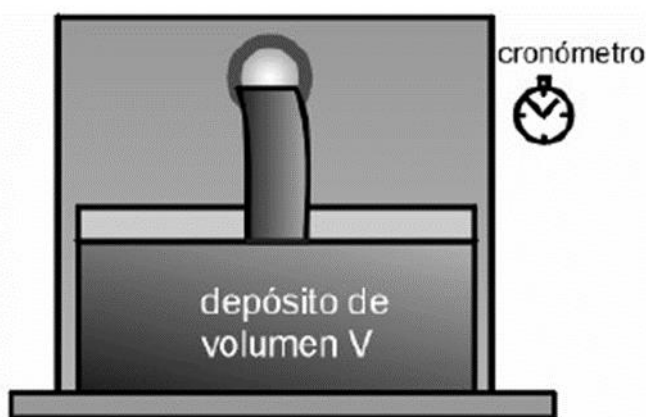
- Medir la longitud (L) del tramo **AB**.
- Medir con un cronómetro el tiempo (T), que tarda en desplazarse el flotador (botella lastrada, madera, cuerpo flotante natural) en el tramo **AB**.
- Calcular la velocidad superficial.

2. Aforos volumétricos

El método de aforos volumétricos que se describe en este apartado es según Villon (2004), es usado para corrientes pequeñas como nacimientos de agua o riachuelos, siendo el método más exacto, a condición de que el depósito sea bastante grande y de que pueda medir su capacidad de forma precisa. Consiste en hacer llegar un caudal a un depósito impermeable cuyo volumen sea conocido y contar el tiempo total en que se llena el depósito (Figura 4). Este método es el más exacto, pero es aplicable sólo cuando se miden caudales pequeños. Por lo general, se utiliza en los laboratorios para calibrar diferentes estructuras de aforo, como sifones, vertederos. Aforar parchar, etc.

Figura 4.

Depósito de Agua con el método de aforo volumétrico



Nota. Tomado de Villon, 2004.

3. Aforos con correntómetro o molinete

Los correntómetros o molinetes son aparatos que miden la velocidad, en un punto dado del curso del agua. La velocidad es medida en los instrumentos, por medio de un órgano móvil (hélice). La hélice detecta la velocidad de la corriente y transmite una señal cuando ha dado un cierto número de vueltas sobre un contador o contómetro (impulsiones de sonido, señales luminosas, digitales, etc) (Villon 2004).

La velocidad se mide indirectamente, ya que en la práctica lo que se mide es el tiempo que emplea la hélice, para dar un cierto número de revoluciones, y mediante una fórmula propia para cada hélice se calcula la velocidad.

Para usar este método se deben de cumplir una serie de condiciones ideales para realizar una buena toma de datos con este aparato, entre ellas se pueden mencionar:

- Ubicación ideal: Los filetes líquidos deben ser paralelos entre sí, las velocidades sean suficientes, para una buena utilización del correntómetro y las velocidades son constantes para una misma altura de la escala limnimétrica.
- Condiciones exigidas: Un recorrido rectilíneo entre dos riberas o márgenes francas, un lecho estable y un perfil transversal relativamente constante según el perfil en longitud.

Por otro lado, existen al menos tres formas de aforo con correntómetro o molinete que se mencionan a continuación:

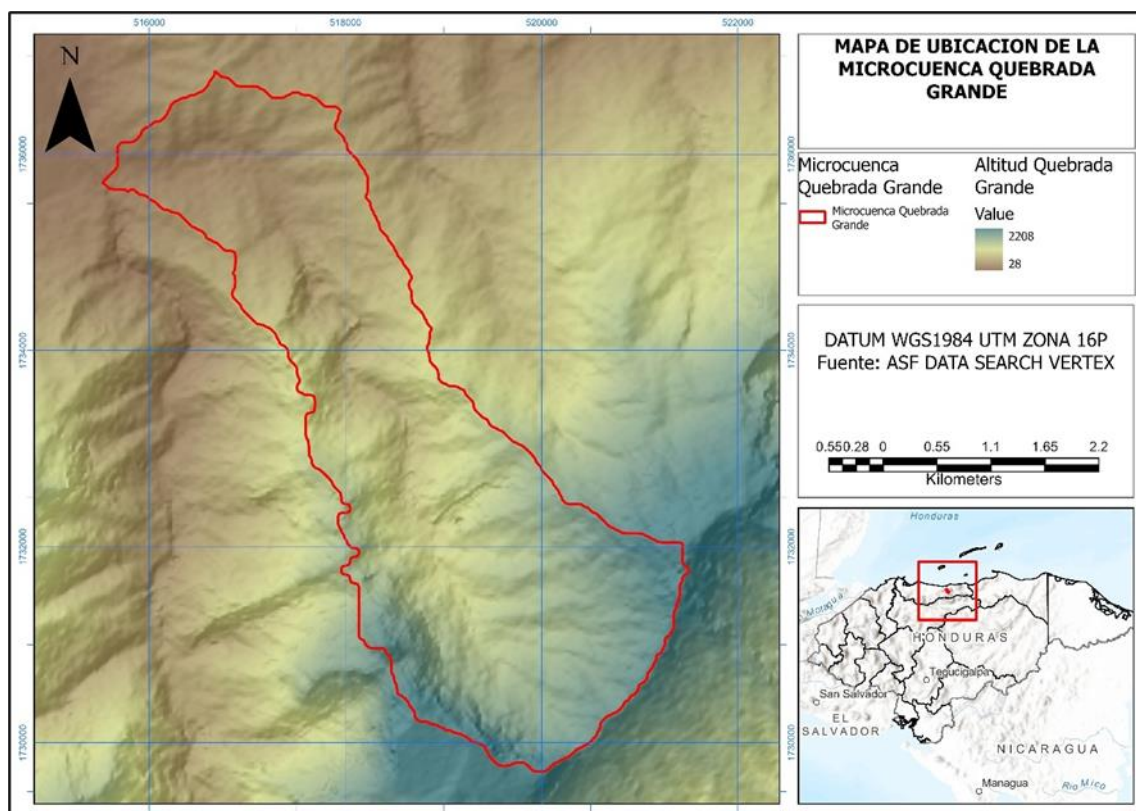
1. A pie: Se utiliza cuando el curso de agua es pequeño, poco profundo y fondo resistente. Se coloca una cinta graduada de un margen a otro, y se va midiendo la velocidad a diferentes profundidades, a puntos equidistantes de un extremo a otro de la sección.
2. A cable: La sección se materializa con un cable tendido de un extremo a otro, y el aforo se hace en bote o por un funicular.
3. Sobre una pasarela: Se coloca una pasarela entre los pilones de un puente, el aforador se coloca sobre la pasarela, y realiza la medición de las velocidades desde allí.

Método

El estudio se realizó en la microcuenca Quebrada Grande, esta pertenece a la subcuenca Rio Bonito y a la cuenca del Cangrejal. La Microcuenca Quebrada Grande que actualmente abastece de agua potable al sector Oeste de la Ciudad de La Ceiba. Según Mi Ambiente, (s.f), la

cobertura del servicio de agua potable es de 45% de la población de La Ceiba que se abastecen de la microcuenca quebrada Grande, ubicada al sur oeste del municipio de La Ceiba, Atlántida, en el área escolar de las 2,000 hectáreas del Centro Universitario Regional del Litoral Atlántico (CURLA) ver Figura 5.

Figura 5
Ubicación de la Microcuenca Quebrada Grande



La gestión hídrica de la microcuenca Quebrada Grande, que abastece de agua al sector I de la ciudad de La Ceiba, es un tema crucial para asegurar la sostenibilidad y calidad del recurso hídrico en la región. La presente metodología se ha diseñado con el objetivo de proporcionar un marco estructurado y riguroso para la investigación, abarcando desde el diseño de la investigación hasta el análisis de los datos recolectados.

Diseño de la investigación

El diseño de la investigación es **No experimental** mediante un modelo de la muestra **no probabilístico**, con un **muestro intensional**, un diseño **no experimental** de tipo **descriptivo**, para determinar la oferta y la demanda de agua y hacer proyecciones a futuro de acuerdo con el número de habitantes que se abastecen de esta fuente de agua.

La investigación es de tipo **Descriptiva** porque evalúa el balance hídrico de la microcuenca a partir de datos de las estaciones meteorológicas y medición de caudal in situ, realizando trabajo de campo y combinando con trabajo de gabinete apoyado en cálculos. Se plantean 2 fases de desarrollo:

FASE 1: Recopilar información

a. Información hidrológica o del caudal

- Toma de datos de caudales: Implica la toma de datos de flujo de agua en un punto dado del río mejor conocido como aforo. Para este estudio se utiliza el método de la sección

transversal usando un correntómetro y se toma medidas de profundidad del río, velocidad de la corriente y ancho del río, por un tiempo de 45 minutos.

b. Información cartográfica

La información cartográfica la proporciona la base de datos del Instituto Nacional de Conservación Áreas Protegidas y Vida Silvestre (ICF) e información documentos bibliográficos de la microcuenca Quebrada Grande.

c. Información de población

Recolectar información de censos poblacionales, tasas de crecimiento poblacional del Instituto Nacional de Estadísticas de Honduras (INE) para el Municipio de La Ceiba. Y solicitar información al Servicio Nacional de Acueductos y Alcantarillados (SANAA) de cantidad de usuarios que se abastecen de la fuente de agua de la microcuenca Quebrada Grande.

Etapla 2: Estimación del caudal de la microcuenca Quebrada Grande.

Para llevar a cabo esta estimación, se utilizará un correntómetro, un instrumento que permite medir la velocidad del agua en los cuerpos de agua, proporcionando datos precisos sobre el caudal y el flujo hídrico.

Procedimientos para cálculo del Caudal

Para el cálculo de caudal de la microcuenca Quebrada Grande se utilizará la metodología de Viani (1995), el procedimiento consiste en medir primero, la velocidad de la superficie del agua en el centro del río o canal y se usa un correntómetro, luego se mide la sección transversal o ancho del río o canal, y para el volumen se calcula con la Ecuación 1:

$$Q = (V)(A) \quad (1)$$

Donde:

Q= Caudal

V= Velocidad de la corriente

A= área de la sección transversal

Procedimiento de medición de la velocidad y profundidad del agua

El Procedimiento para medir la velocidad del agua con el método de la sección transversal, consistirá en introducir el correntómetro en el agua y para calcular la velocidad del agua, los pasos siguientes:

- a. Con el uso del correntómetro, para este estudio se usa el Flowacht; un correntómetro es un instrumento específicamente diseñado para medir la velocidad del agua. Consiste en un sensor o rueda que gira con el flujo del agua y está conectado a un mecanismo que registra la velocidad del agua.
- b. Se selecciona una sección transversal del cuerpo de agua donde se va a medir el caudal.
- c. Divide la sección transversal en varios puntos de medición. Estos puntos deben estar distribuidos uniformemente a lo ancho y a lo largo de la sección.
- d. En cada punto de medición, utiliza el correntómetro para medir la velocidad del flujo de agua.
- e. Para este estudio se establece la profundidad de medición aproximadamente al 60% de la profundidad de la Quebrada. Según, ICC (2017), el método 6/10: Es el método más empleado y práctico y adoptado por parte de ICC para el cálculo de velocidad del agua. Dicho método consiste en colocar el correntómetro a un 60 % de la profundidad del punto sondeado, contando a partir de la superficie del agua hacia abajo.
- f. Se introduce el correntómetro en el agua, se sujeta el correntómetro por el mango o la cuerda y se sumerge, asegurándose de que esté en posición vertical y a la profundidad deseada.

- g. Observar el movimiento del sensor: A medida que el agua fluye, el correntómetro registrará la velocidad midiendo el giro de la rueda o el movimiento del sensor. Observar y registrar los datos de velocidad del agua en la quebrada proporcionados por el correntómetro.

Medición del área de la sección o ancho del río:

De acuerdo con Valencia (2014), para determinar el área de una sección se deberá realizar el siguiente procedimiento:

- Se ubican los extremos de la sección en ambas orillas.
- Se amarra una cuerda de dos estacas ubicadas en los extremos de la sección.
- Se mide el ancho o sección transversal del río.
- Se divide en partes iguales o secciones.
- Se mide la profundidad del agua para cada sección.
- Se registran los datos en el formato de campo.
- Se calcula el área para cada sección.
- Se mide la velocidad superficial del agua en cada punto. (la que fue medida con el correntómetro).
- Se calcula el caudal en cada punto multiplicando la velocidad del agua por el área correspondiente. El área se obtiene multiplicando el ancho de la sección transversal por la profundidad medida en cada punto.
- Se suman los caudales calculados en cada punto para obtener el caudal total de la sección transversal.

Cada sección se toma como el área de un rectángulo, se promedian los 2 lados verticales (profundidades) y se multiplican por el ancho de la sección, que son los lados horizontales. A continuación, se detalla el cálculo del área de la sección con la Ecuación 2.

$$A1 = \frac{P1 + P2}{2} (An) \quad (2)$$

Donde:

A1= área de cada sección

P1= Profundidad 1

P2= Profundidad 2

An= Ancho de la sección

Luego, cada resultado parcial del área se multiplica por la velocidad de cada sección, se suman todos los resultados parciales y con ello se obtiene el caudal total (Q) en metros cúbicos por segundo. El cálculo de cada sección de la quebrada se hace con la Ecuación 3:

$$q1 = (A1)(vel) \quad (3)$$

Donde:

q1= Volumen de cada sección

A1= área de cada sección

Vel= Velocidad del agua de cada sección.

Población y muestra

Para dar inicio se caracteriza el área, iniciando por describir detalladamente el área de la microcuenca de la Quebrada Grande. Esto incluye su extensión geográfica, límites, características topográficas, cursos de agua y distribución de asentamientos humanos.

La población es el área de la microcuenca Quebrada Grande, ubicada al suroeste del municipio de La Ceiba, departamento de Atlántida, drena a la subcuenca de Río Bonito (hojas

cartográficas No 2863 III La Ceiba y 2862 IV Pico Bonito). Los límites de la microcuenca Quebrada Grande colindan con lo siguiente: al norte con las instalaciones físicas de CURLA; al Sur con el Parque Nacional Pico Bonito; al Este con los ríos La Ausencia y Danto; y al Oeste con el río Bonito y la comunidad de Montevideo.

Dentro de la microcuenca no hay pobladores, pero abastece de agua potable a 17,591 usuarios del agua (SANAA, 2024), esa es la población del sector I de la ciudad de la Ceiba.

La muestra son las mediciones de caudal o aforo en el río, específicamente la boca toma de la represa. El sujeto de estudio es la Microcuenca Quebrada Grande, tomando en consideración los aspectos hidrométricos obtenidos de la siguiente manera:

- ✓ Los datos de ancho, profundidad y velocidad de la quebrada son utilizados para calcular el volumen del caudal.
- ✓ Los datos de población se utilizan para calcular la oferta y demanda de agua proveniente de la Quebrada Grande. (Datos del censo de población del Instituto Nacional de Estadísticas de Honduras (INE)).

Variables

las variables, tanto independientes como dependientes, desempeñan un papel crucial en el análisis, destacando que el diseño de la investigación es de tipo no experimental y descriptivo, lo que significa que se desarrolla sin manipular las variables y por lo tanto se analizan y describen los datos:

Volumen (m^3/s) de Caudal de la Microcuenca (Variable Independiente): con mediciones In Situ, se calcula el volumen mediante el aforo in situ, que implica medir el ancho, la profundidad y la velocidad del agua en la microcuenca. Los datos se plasman en una tabla de Excel donde se mide profundidad del río en metros, ancho del río en metros y velocidad de la corriente en metros cúbicos por segundo (m^3/s), para luego obtener el caudal que pasa por la fuente o boca toma del río.

Población para Abastecer (Variable Independiente): Se analiza la población y sus necesidades hídricas actuales y futura para garantizar un suministro adecuado. Con los datos de población del Servicio de Acueductos y Alcantarillado (SANAA, 2024), y el crecimiento poblacional del INE se elabora una tabla en Excel y se proyecta la población en crecimiento hasta alcanzar el año 10. Y de aquí se obtiene la cantidad de agua que consumen o demandan los habitantes del sector 1 de La Ceiba.

Oferta y Demanda de Agua m^3/s (Variables Dependientes): Interacción Dinámica, la oferta de agua depende de los datos del balance hídrico y del caudal en la microcuenca. Los cálculos de la oferta y la demanda son establecidos por el consumo de los habitantes y se muestran en metros cúbicos por segundo por persona. Las variables que tomar en cuenta son presentadas en la Tabla 1.

Tabla 1.

Variables dependientes e independientes determinadas por su espacio temporal.

Variables Dependientes	Variables Independientes
Oferta y demanda de agua	Volumen de caudal de la microcuenca, Población por abastecer

La población para abastecer es la variable independiente, implica la cantidad de agua demandada por los usuarios. La oferta y demanda de agua, será considerada variable dependiente porque la oferta depende del volumen del caudal de la microcuenca y la demanda depende de la población a abastecer de agua.

Instrumento de investigación

Los instrumentos de recogida de datos de las Mediciones de Caudal In Situ se realizan en puntos estratégicos de la microcuenca para determinar el volumen de caudal. El análisis cartográfico y de drenaje se utilizan herramientas como Q-GIS para visualizar la topografía y la red de drenaje.

El procesamiento de los datos se hace mediante la técnica del análisis de contenido: explora los significados ocultos.

Instrumentos de recogida de datos

- ✓ Se usan mapas cartográficos digitales para delimitar la microcuenca y así plasmar las características.
- ✓ Los datos de volumen del caudal se obtienen ejecutando el aforo in situ, usando el método del área velocidad, en la bocatoma de la Quebrada Grande, haciendo uso de una cinta métrica, una vara graduada en centímetros y un cronometro.
- ✓ Se hace uso de los Censos poblacionales de la zona de estudios, que se obtienen del Instituto Nacional de Censos y Estadísticas de Honduras (INE), los que son utilizados para calcular la oferta y la demanda.

Análisis de datos:

Para el análisis de datos se utilizan los programas computacionales: hojas de cálculo de Excel, y Q-GIS (mapas), se usan como herramientas para el procesamiento de la información recolectada del área de estudio y se uniformizan los registros históricos de las variables hidrométricas, climáticas para su evaluación. Se presentan cuadros, gráficos, tablas de análisis de las diferentes variables con sus promedios anuales y mensuales. **En la tabla 3** muestra las herramientas para la obtención de resultados del este estudio:

Tabla 3.

Herramientas para la obtención de resultados

Herramientas	Cálculo a realizar	Observaciones
<i>Hojas de cálculo de Excel</i>	Volumen de Caudal de la Microcuenca	Con los datos hidrométricos de la quebrada.
<i>Hoja de cálculo de Excel y</i>	Estimación de la población	se proyectará la población a futuro a través del método aritmético.
<i>ARC-GIS</i>	Elaborar mapas	Mapa de ubicación

Resultados

Caudal de La Microcuenca Quebrada Grande

En la microcuenca Quebrada Grande, se procede a levantar datos de caudales in situ, específicamente en el área aguas arriba de la toma de la represa del SANAA, lugar donde se embalsa el agua destinada al abastecimiento de la población del sector I de la ciudad de La Ceiba. El aforo de la Quebrada Grande se efectúa utilizando un correntómetro marca FLOWATCH durante 7 eventos o tomas de datos, correspondientes a temporadas de invierno y verano de los años 2023 y 2024, con el propósito de observar las diferencias entre la época

lluviosa y la seca. Se registran un total de siete muestras o datos de caudal: cuatro en 2023 y tres en 2024.

El punto donde se toman los datos de caudal de La microcuenca Quebrada Grande es en la obra toma que se ubica en el río que abastece de agua al sector 1 de la Ciudad de La Ceiba. Las coordenadas son X: 516637 - Y:1735967, con una elevación de 148 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m) y una temperatura de 23.5 °C, datos de coordenadas y elevación se mide con un GPS Garmin Xtrex y la temperatura se toma con el Correntómetro marca FLOWATH.

Como complemento a este monitoreo, se realizan análisis comparativos de las precipitaciones registradas en la estación meteorológica cercana a la microcuenca, con el fin de correlacionar los datos de caudal obtenidos con los eventos de lluvia. Esto permite una mejor interpretación de la respuesta hidrológica de la Quebrada Grande ante las variaciones climáticas estacionales.

Se calcularon los caudales tomando parámetros como ancho del río y velocidad utilizando el correntómetro y realizan los cálculos en hojas de EXCEL. En cada sección se toma como el área de un rectángulo, se promedian los 2 lados verticales (profundidades) y se multiplican por el ancho de la sección, que son los lados horizontales. A continuación, se detalla el cálculo del área de la sección con la Ecuación 4.

$$A1 = \frac{P1 + P2}{2} (An) \quad (4)$$

Donde:

A1= área de cada sección

P1= Profundidad 1

P2= Profundidad 2

An= Ancho de la sección

Una vez calculada el área de cada sección, cada resultado parcial del área (q)se multiplica por la velocidad de cada sección, se suman todos los resultados parciales y con ello se obtiene el caudal total (Q) en metros cúbicos por segundo. El cálculo de cada sección de la quebrada se hace con la Ecuación 5:

$$q1 = (A1)(vel) \quad (5)$$

Donde:

q1= Volumen de cada sección

A1= área de cada sección

Vel= Velocidad del agua de cada sección.

Se realizaron 7 mediciones de caudal o aforo en la Microcuenca Quebrada Grande y en las 7 mediciones se dividió el río en secciones y en cada sección del río se toman los parámetros de profundidad 1 y 2, velocidad media de la sección medida con el correntómetro que mide la velocidad de la corriente y se toma el ancho de la sección. Se procedió al cálculo de caudal por sección para posteriormente realizar una sumatoria de todas las secciones del río que da como resultado el caudal total en unidades de m³/s.

El cálculo de la sección se hace con la relación al tamaño del río y en el caso de la Quebrada Grande se procedió a definir el tamaño de la sección dependiendo del ancho del río ya que en temporada de verano baja el nivel del río y en invierno aumenta, por lo que se

tomaron datos de 1, 2 y 5 metros de ancho dependiendo la época si es lluvia o seca en **La Tabla 4** se muestran las medidas del ancho y sección del río en las 7 mediciones.

Tabla 4.

Medidas del ancho y secciones del río en las mediciones de caudal

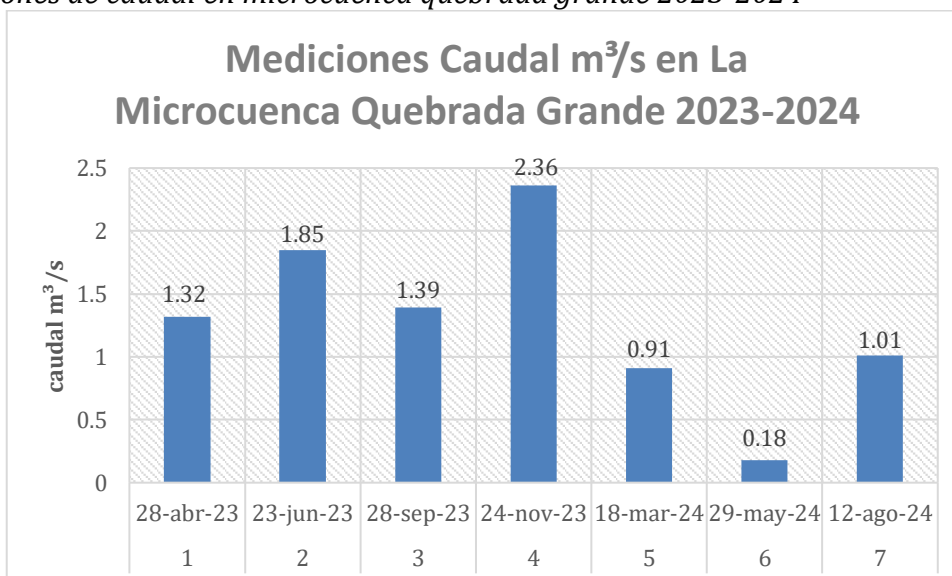
No.	Fecha	Ancho del río (m)	Ancho de la sección	Caudal m ³ /s
1	28-abr-23	6.30	1	1.32
2	23-jun-23	18.80	5	1.85
3	28-sep-23	21.80	5	1.39
4	24-nov-23	15.0	2	2.36
5	18-mar-24	10.60	2	0.91
6	29-may-24	5.0	1	0.18
7	12-ago-24	12	1	1.01
Promedio del caudal				1.30

Como resultado de las 7 mediciones de caudal durante los años 2023 y 2024, se obtuvo un promedio de **caudal de 1.30 m³/s** (metros cúbicos por segundo). El mayor caudal es de **2.36 m³/s** y el menor caudal es de **0.18 m³/s**; tomando este dato de menor caudal para hacer las proyecciones en este estudio.

En la Figura 6, se muestran los datos de caudal de la Microcuenca Quebrada Grande, donde se observa que en los meses de abril y septiembre de 2023 el caudal baja y para los meses de junio y noviembre del 2023 el caudal sube; y para el año 2024 el caudal estuvo por debajo de todos los valores medidos en 2023, mostrando para marzo y agosto de 2024 los valores más altos de la medición y para mayo 2024 el valor más bajo que se ha medido. Es importante mencionar, que el caudal medido en el año 2023 es más alto que el del 2024, mostrando un promedio de 1.30 m³/s para La Quebrada Grande.

Figura 6

Mediciones de caudal en microcuenca quebrada grande 2023-2024



Para efecto de los cálculos de consumo de agua por persona por día se considera según datos del Instituto Nacional de estadísticas (INE) donde el consumo diario de agua por persona es de $0.20 \text{ m}^3/\text{día}$ que equivale a 200 l/día, y para efectos de este estudio se toma este valor.

El estudio se toma en cuenta la población del sector I de La ciudad de La Ceiba, que incluye población y consumo diario de agua del sector I de la Ceiba. La microcuenca abastece de agua para consumo doméstico a 27 colonias, 3,909 usuarios o clientes, con una población para 2024 de 17,591 personas.

Para hacer los cálculos de la población se multiplica el número de usuarios o clientes del servicio del agua por 4.5 que es el promedio de personas por vivienda para la zona de La Ceiba, y para el consumo de agua por persona se considera $0.20 \text{ m}^3/\text{d}$, que equivale a 200 litros de agua al día por persona, según datos del Instituto Nacional de Estadísticas (INE).

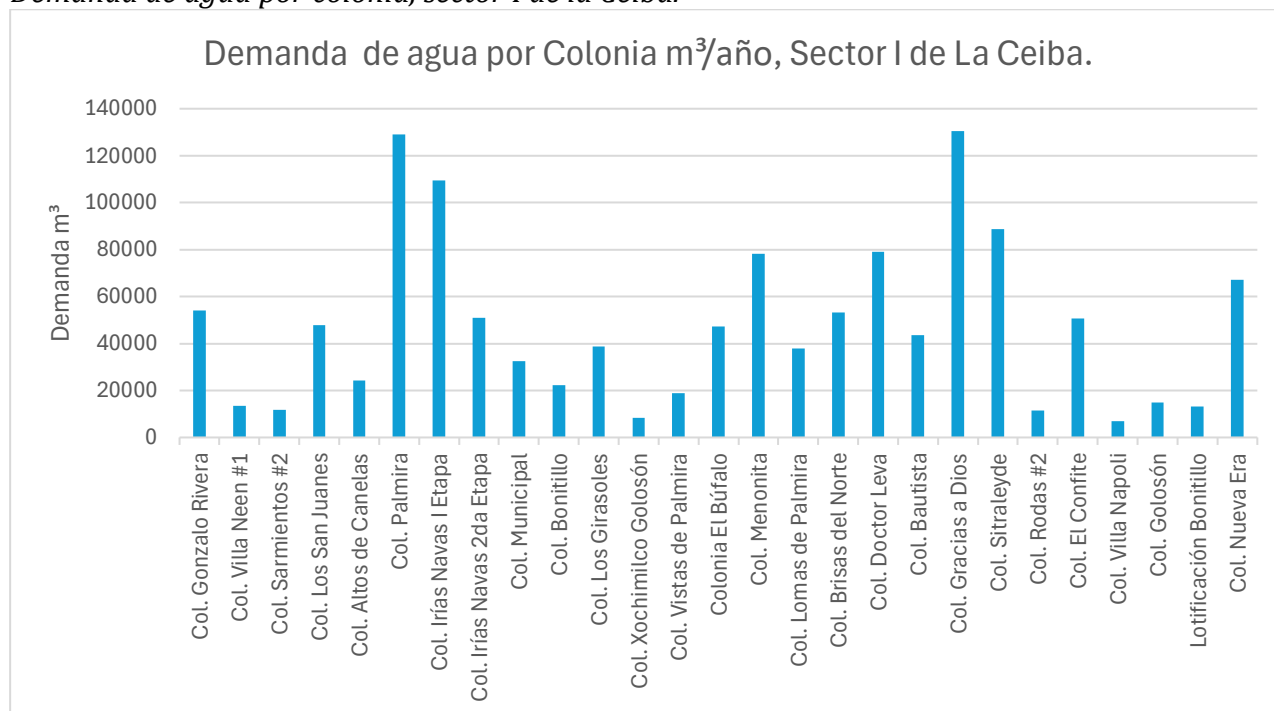
Los usuarios del agua de las 27 colonias del sector I de La Ceiba, tiene una población total de 17,591 para el año 2024. **La Tabla 5.** Muestra la cantidad de colonias, el número de usuarios del sector I, que se abastecen de agua de la Microcuenca Quebrada Grande.

Tabla 5.*Colonias que se abastecen de la Microcuenca Quebrada Grande*

No.	Nombre de la Colonia	Nº Usuarios/ agua	Nº Habitantes/ Colonia
1	Col. Gonzalo Rivera	165	742.5
2	Col. Villa Neen #1	41	184.5
3	Col. Sarmientos #2	36	162
4	Col. Los San Juanes	146	657
5	Col. Altos de Canelas	74	333
6	Col. Palmira	393	1768.5
7	Col. Irías Navas I Etapa	333	1498.5
8	Col. Irías Navas 2da Etapa	155	697.5
9	Col. Municipal	99	445.5
10	Col. Bonitillo	68	306
11	Col. Los Girasoles	118	531
12	Col. Xochimilco Golosón	25	112.5
13	Col. Vistas de Palmira	57	256.5
14	Colonia El Búfalo	144	648
15	Col. Menonita	238	1071
16	Col. Lomas de Palmira	115	517.5
17	Col. Brisas del Norte	162	729
18	Col. Doctor Leva	241	1084.5
19	Col. Bautista	133	598.5
20	Col. Gracias a Dios	397	1786.5
21	Col. Sitralejde	270	1215
22	Col. Rodas #2	35	157.5
23	Col. El Confite	154	693
24	Col. Villa Napoli	21	94.5
25	Col. Golosón	45	202.5
26	Lotificación Bonitillo	40	180
27	Col. Nueva Era	204	918
Total		3909	17591

Nota. SANAA, 2024.

En la Figura 7, se muestra el nombre de la colonia, con el consumo anual de agua en millones de metros cúbicos que consume cada colonia. Las colonias que tienen un número más elevado o mayor en la cantidad del consumo de agua, esto se debe a que tienen un mayor número de usuarios, y por el contrario las colonias con menor consumo de agua, es porque tienen menor cantidad de usuarios.

Figura 7.*Demanda de agua por colonia, sector I de la Ceiba.*

Según datos oficiales de la INE, en Atlántida se estima un crecimiento poblacional del 1.65% anual, y 4.5 personas por vivienda, haciendo esta consideración se realiza la proyección a 10 años para demostrar si la Microcuenca Quebrada Grande tiene la capacidad de abastecer de agua a las 27 colonias pertenecientes al sector I de La Ceiba. Lo anterior da como resultado que la microcuenca si cuenta con la capacidad de proveer de agua al sector I de la Ceiba hasta el año 2034.

La **tabla 6**, destalla la proyección a 10 años de 2024 a 2034 del abastecimiento de agua al sector 1 de la ciudad de la Ceiba, muestra el número de habitantes, la demanda, de agua, la oferta y superávit o excedente de agua de la microcuenca Quebrada Grande.

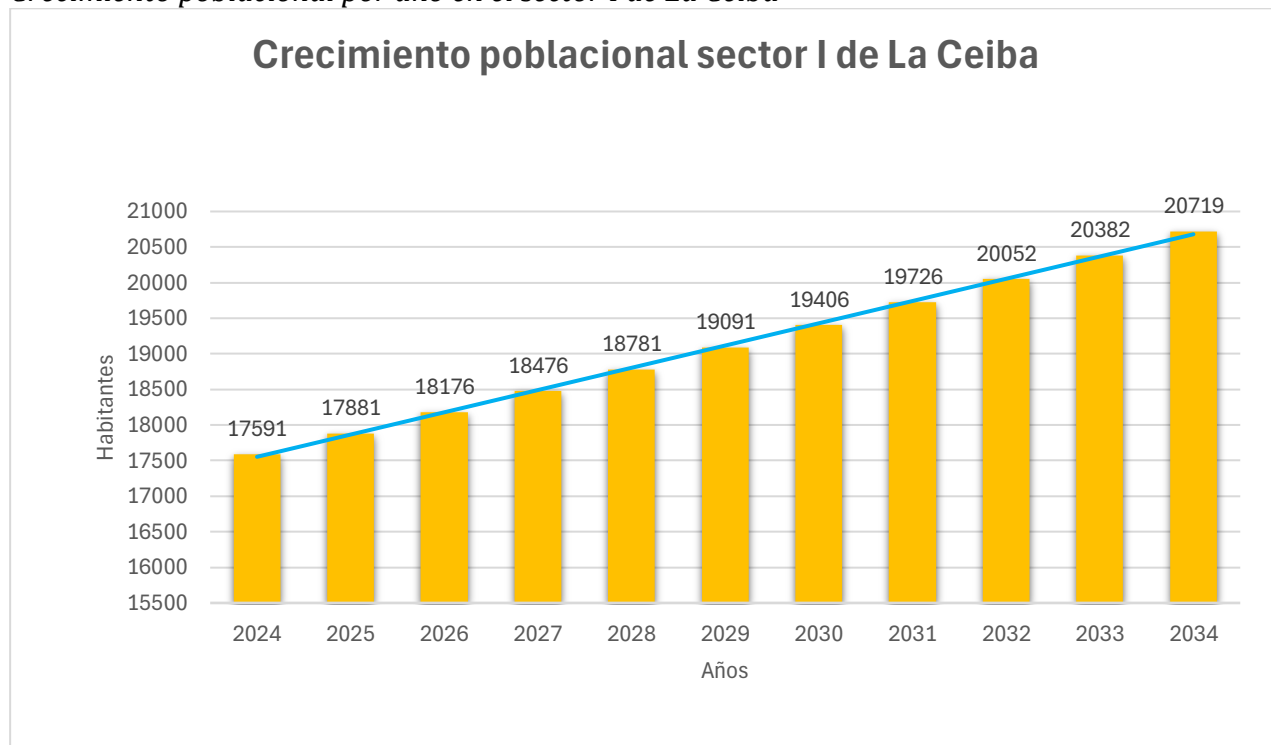
Tabla 6.*Proyección a 10 años de la demanda de agua por número de habitantes 2024-2034*

Años	Nº habitantes	Demanda agua en metros cúbicos
2024	17,591	1,284,143.00
2025	17,881	1,305,331.36
2026	18,176	1,326,869.33
2027	18,476	1,348,762.67
2028	18,781	1,371,017.25
2029	19,091	1,393,639.04
2030	19,406	1,416,634.08
2031	19,726	1,440,008.55
2032	20,052	1,463,768.69
2033	20,382	1,487,920.87
2034	20,719	1,512,471.56

El cálculo de la población es por un periodo de diez (10) años 2024-2034, si tomamos como base la población del año 2024 de 17,591 personas y la población final del año 2034 de 20,719 personas, en ese periodo de tiempo la población aumenta en 3,128 personas. Si el porcentaje de crecimiento se mantiene en el rango del 1.65% o por debajo de ese valor, la microcuenca tiene mayor probabilidad de seguir abasteciendo a este sector. Figura 8. muestra el crecimiento poblacional del sector I de La Ceiba, por un periodo de 10 años 2024 - 2034.

Figura 8.

Crecimiento poblacional por año en el sector I de La Ceiba

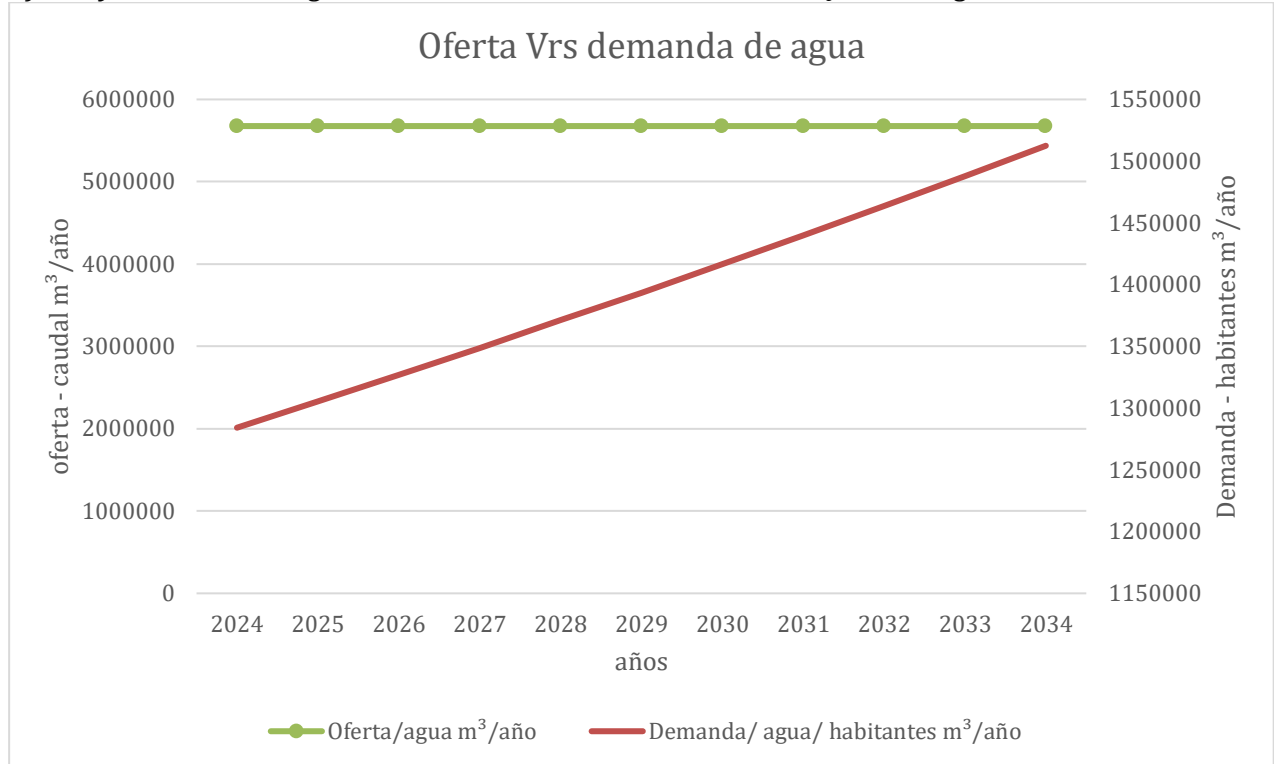


Si la población se mantiene con un crecimiento del 1.65 %, la vegetación y conservación de la Microcuenca Quebrada Grande se mantiene igual y produce un volumen de 5,676,480 m³/año, la microcuenca no tendrá escasez de agua hasta el año 2034. Los cálculos proyectan que para el año 2034 la microcuenca Quebrada Grande tiene una demanda de 1,512,472 m³/año y un superávit del caudal de 4,164,008 m³/año.

La oferta de agua que presenta la microcuenca Quebrada Grande es de 5,676,480 m³/año, si esta cifra se mantiene entre 2024 a 2034, la demanda de agua entre el 2024 a 2034 solo aumenta en 228,329 m³, en diez años para los pobladores del sector I de La Ceiba. Para detalles la oferta y la demanda se muestran en la Figura 8, donde se presenta una proyección por un periodo de 10 años de 2024 a 2034, si la oferta de agua se mantiene, la microcuenca tiene la capacidad para abastecer la población del sector I de La Ceiba durante dicho periodo.

Figura 9.

Oferta y demanda de agua de 2024-2034 en La Microcuenca Quebrada grande

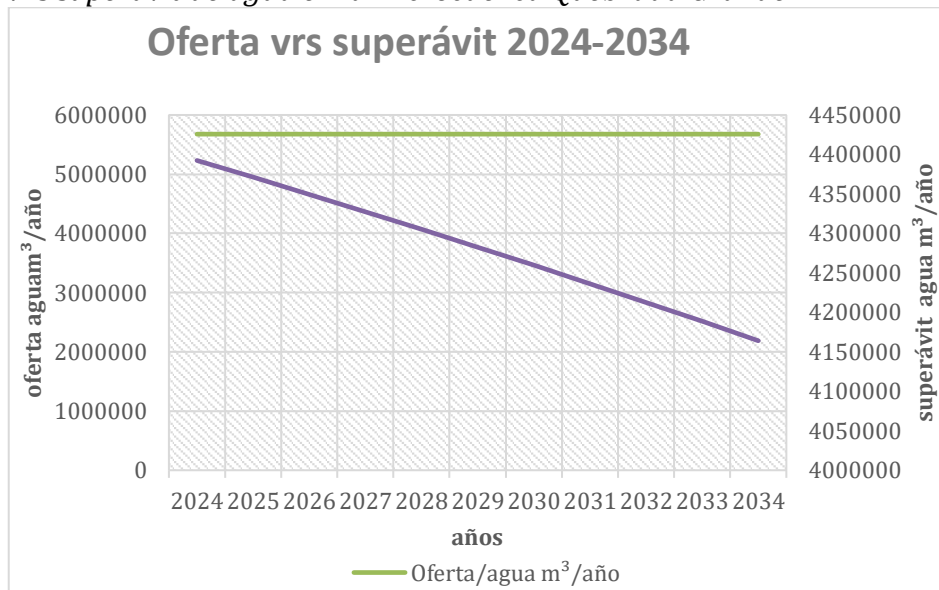


En la Microcuenca Quebrada Grande, para el periodo de 10 años de 2024 a 2034, en lo que refiere a la oferta y el superávit o sobrante de agua y para efecto de este estudio la oferta de agua se mantiene constante con 5,676,480 m³/año, y lo que respecta al superávit el valor que baja en el año 2034 es de 228,329 m³/año, tomando esa consideración que para el año 2024 el superávit es de 104756 m³/año y para el año 2034 es de 103,279 m³/año.

En lo que refiere a la oferta y superávit de agua para una proyección de 10 años durante el periodo 2024-2034 para la Microcuenca Quebrada Grande se presenta en la **Figura 10**.

Figura 10.

Oferta Vrs superávit de agua en la microcuenca Quebrada Grande

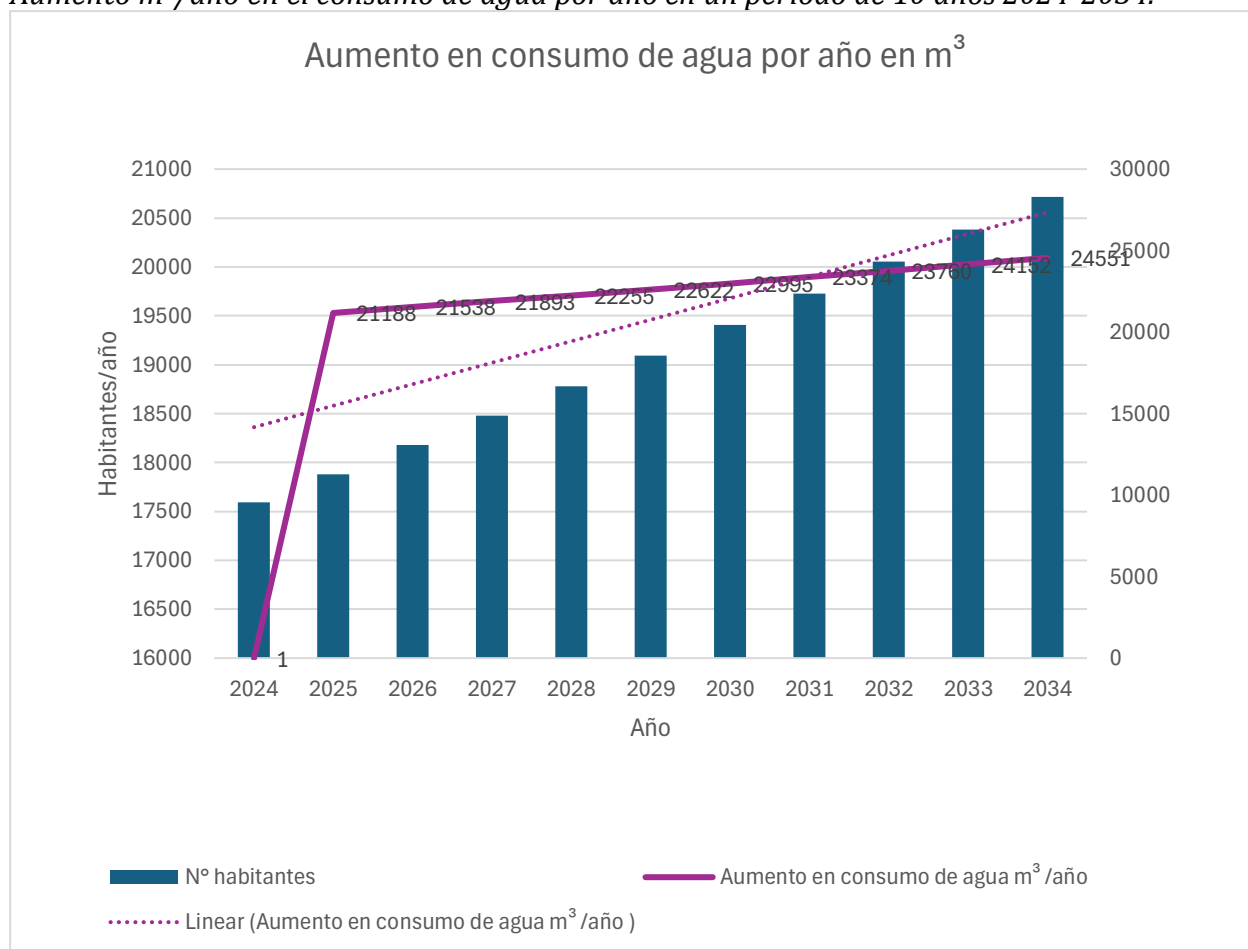


El aumento en el consumo o demanda de agua de la microcuenca Quebrada grande proyectado a 10 años entre los años 2024-2034, anda entre los valores de 21,188 m³/año-24,558 m³/año, consideración que la población una población de 17,591 habitantes para el año 2024, los valores para el año 1 es de 21,188 m³/año y para el año 10 es de 24,558 m³/año, el aumento de la demanda en la proyección de los 10 años es de 3,370 m³/año, el promedio de aumento por año es de aproximadamente 337 m³, este aumento se debe al crecimiento anual de la población del sector I de la ciudad de La Ceiba.

En la **Figura 11**. se muestra el aumento en consumo de agua en m³ por año con relación al crecimiento de la población del sector I de la Ceiba, donde se puede ver que el aumento en el consumo de agua es ascendente con relación al crecimiento de la población.

Figura 11

Aumento m³/año en el consumo de agua por año en un periodo de 10 años 2024-2034.



Discusión y conclusiones

El estudio permite determinar la potencialidad del recurso hídrico superficial de la microcuenca Quebrada Grande, La Ceiba, Honduras, mediante la medición directa de caudales y la proyección de la demanda hídrica para el sector I de la ciudad de La Ceiba, Honduras. Los resultados obtenidos reflejan una oferta hídrica promedio de 1.30 m³/s, con un caudal máximo de 2.36 m³/s durante la época lluviosa y un caudal mínimo registrado de 0.18 m³/s durante la época seca. El valor mínimo resulta crítico para la planificación del abastecimiento de agua, ya que abastece el límite inferior de la disponibilidad del recurso hídrico.

La variabilidad temporal del caudal que se observa a lo largo de 7 mediciones entre 2023 y 2024, evidencia la influencia de las estaciones lluviosa y seca en la disponibilidad del agua. Esta variabilidad es consistente con los reportado en la literatura hidrológica para regiones tropicales, donde los regímenes de precipitación condicionan directamente la respuesta hidrológica de las microcuencas (Compagnucci, 2007; Villon, 2004).

En cuanto a la demanda de agua, se identifica que la microcuenca Quebrada Grande abastece actualmente a 17,591 habitantes. Con un consumo per cápita de punto 0.20 m³/día. La proyección poblacional a 10 años, considerando una tasa de crecimiento del 1.65% anual. Indica que la población alcanzará 20,719 habitantes en 2034, lo que incrementa la demanda de agua anual en aproximadamente 3,370 m³/año.

El balance hídrico muestra que la microcuenca Quebrada Grande mantiene un superávit significativo durante 10 años, con una oferta anual constante de 5,676,480 m³ y una demanda máxima de agua que se proyecta con 1,512,472 m³ en el año 2034. Esto indica que bajo las condiciones actuales de conservación de la microcuenca y sin alteraciones climáticas o antrópicas severas el recurso hídrico es suficiente para abastecer la demanda de agua del sector I de La Ciudad de La Ceiba hasta al menos 2034.

Los resultados de este estudio están sujetos a ciertas limitaciones, como la cantidad de mediciones de caudal realizadas y la proyección de variables climáticas futuras. Además, la metodología de aforo empleado, aunque robusta, depende de condiciones hidráulicas estables y de la representatividad temporal de las mediciones.

La microcuenca quebrada grande representa una capacidad suficiente para satisfacer la demanda hídrica actual y futura del sector I de la ciudad de la Ceiba, siempre que se mantengan las condiciones actuales de conservación y se implementen medidas de gestión sostenible. Este estudio constituye una base técnica para la toma de decisiones en la planificación hídrica local y destaca la importancia del monitoreo hidrológico continuo como una herramienta fundamental para la gestión integrada de los recursos hídricos.

Referencias

- Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). (17 - 20 de octubre de 2006). Curso gestión integral de cuencas hidrográficas. Cali, Colombia.
- Compagnucci, R., Araneo, D. (2007). Ingeniería Hidráulica en México. 22 (3), 23-35.
- Gaspari, F. Rodríguez, Alfonso. Senisterra, G. Delgado, M. Besteiro, S (2010). Manual de Manejo Integrado de Cuencas Hidrográficas. (1a ed). Universidad Nacional de La Plata.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). Metodología de la investigación (6a. ed). México, D. F.
- ICC (Instituto Privado de Investigación Sobre Cambio climático). (2017). Manual de medición de caudales. Guatemala.
- Martínez, D. (2023, 26 de octubre). El caudal de un río: definición y características geográficas. <https://cultura-brillante.com/>

- Mi Ambiente. (s.f). Informe perspectivas del Ambiente Urbano. GEO: Ciudad de La Ceiba Atlántida. http://www.miambiente.gob.hn/media/adjuntos/pdf/UPEG/2019-05-23/16%3A08%3A54.411645%2B00%3A00/GEO-LA_CEIBA-FINAL-comprimido.pdf
- Ordoñez, Gálvez. J, J. (2011). CARTILLA TÉCNICA: BALANCE HÍDRICO SUPERFICIAL. Global Water Partnership, Sout América. Lima Perú.
- Organización Meteorológica Mundial. (2011). Guía de prácticas hidrológicas. OMM-No. 168 (1), Sexta ed. Ginebra.
- SENAMHI (SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA). (2011). Guía de Hidrometría: Estimación del caudal por el Método del Flotador. Lima, Perú.
- Valencia Tamayo. M. (2014). Manual Piragüero 3 - Medición del caudal. (1ra ed.). Carantioquia. www.corantioquia.gov.co.
- Viani. B. (1995). Micro centrales Hidroeléctricas: una introducción al trabajo de campo. (2da. Ed.). Intermediate Technology Development Group, ITDG. Peru.
- Villon, M. (2004). Hidrología. (1ra. ed.) Editorial Tecnológica de Costa Rica.