

UNIVERSIDAD NACIONAL DE AGRICULTURA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA CONSERVACIÓN



Potencial hídrico de la corriente superficial La Montañita en la Universidad Nacional de
Agricultura, Honduras

TESIS

Presentado como requisito para obtener el título de
Ingeniero en Gestión Integral de los Recursos Naturales

POR:

Deisy Fabiola Estrada Gonzalez

Catacamas, Olancho

Septiembre, 2024

Potencial Hídrico de la Corriente Superficial La Montañita en la Universidad Nacional De
Agricultura, Honduras

POR:

Deisy Fabiola Estrada Gonzalez

Erlin Vianney Escoto, M.Sc

Director de Tesis

TESIS

Presentado como requisito para obtener el título de
Ingeniero en Gestión Integral de los Recursos Naturales

Catacamas, Olancho

Agosto, 2024

DEDICATORIA

La tesis se la dedico con todo mi amor, a mi madre IRIS MARINA GONZALEZ AGURCIA.
Por ser mi pilar en esta vida, mi ejemplo de lucha y perseverancia, por darme la motivación
diaria para alcanzar todos mis objetivos y metas, por darme la esperanza de terminar este trabajo.

AGRADECIMIENTOS

A mi familia, tíos, tías, primos, primas y sobrina por todo su cariño y apoyo a lo largo de mi vida, por siempre colocarme en sus oraciones, gracias por estar siempre conmigo, por impulsarme día a día.

A mis Hermanas, Sindy Estrada y Iris Estrada, por su amor incondicional, gracias por siempre darme esa energía positiva en todo momento, por ser tan protectoras conmigo, por siempre preocuparse por mí, por comprenderme y estar conmigo siempre a mi lado.

A mis abuelos, Julián Cruz y María Argucia por su amor incondicional, gracia por siempre transmitirme la fuerza para cumplir todos mis objetivos, por regalarme tantas palabras de aliento y por sus sabios consejos.

A mis amigos, por siempre acompañarme, por su comprensión a lo largo de este proceso, siempre dándome cariño y muestra de aliento.

A Cristhian Fernando Guzmán y Saúl Antonio Alvarado, por ser mi principal apoyo en campo, gracias por siempre estar ahí para mí, por todo su apoyo incondicional.

A M.Sc. Jorge Orbin Cardona, por ser mi maestro en este proceso de aprendizaje, por su orientación, consejos, atención y por todos sus comentarios al dirigir estas tesis.

A todos mis profesores que han ayudado a mi formación, Ing. Erlin Escoto, Ing. Ramon Canaca, Ing. Abner Jaziel y Don Calixto.

CONTENIDO

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTOS.....	iii
LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE ANEXOS	viii
ABSTRACT	x
1 INTRODUCCIÓN.....	1
2 OBJETIVOS.....	2
2.1 Objetivo general	2
2.2 Objetivos específicos	2
3 HIPÓTESIS	3
4. REVISIÓN DE LITERATURA	4
4.1. Ciclo hidrológico y las corrientes superficiales.....	4
4.2 Rutas de la precipitación en los territorios.....	5
4.2.1 Corrientes superficiales en valles	6
4.3Determinación de áreas de escurrimiento superficial en valles	6
4.3.1 Caudal y potencial hídrico de una corriente superficial	7
4.4Clasificación de los métodos de aforo	8
4.4.1 Método de estación de aforo permanente.....	11
4.5Variación de caudales en escala temporal	12
4.6Ubicación de potenciales focos de contaminación puntual y difusa en una corriente superficial.....	13

5.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	15
5.1	Descripción del sitio del estudio	15
5.2	Programas computacionales:	17
5.3	Método	17
5.4	Caracterización espacial del área de escurrimiento	18
5.5	Oferta hídrica de la corriente superficial	19
5.6	Variación temporal de caudal de la corriente superficial.....	20
5.7	Potenciales focos de contaminación puntual y difusa	20
6.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	22
6.1	Caracterización espacial del área de escurrimiento.	22
6.2	Características del cauce	24
6.3	Oferta hídrica de la corriente superficial	24
6.4	Variación temporal del caudal de la corriente superficial	26
6.5	Potenciales focos de contaminación puntual y difusa	28
6.6	Conductividad Eléctrica.....	30
6.7	Oxígeno Disuelto	31
6.8	Turbidez	32
6.9	pH.....	33
6.10	Temperatura.....	34
6.11	Análisis Microbiológico	35
7.	CONCLUSIONES	36
8.	RECOMENDACIONES	37
9.	BIBLIOGRAFÍA.....	38
10.	ANEXOS	41
	Anexo 1. Medición del caudal.	41

Anexo 2. Análisis de calidad de Agua.	42
Anexo 3. Focos de Contaminación.	43

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Ubicación geográfica de la corriente superficial la montaña en la Universidad Nacional de Agricultura.	15
Figura 2 Puntos de estudios para los análisis multiparámetros y microbiológicos.	20
Figura 3 Área de escurrimiento de la quebrada La Montaña.	22
Figura 4 Evapotranspiración potencial en la Montaña año 2022.	25
Figura 5 Balance hídrico directo (BHB) de la Montaña, para el año 2022.	26
Figura 6 Caudal en los diferentes puntos de estudio.	26
Figura 7 Variación temporal del caudal en los diferentes puntos de estudios.	27
Figura 8 Vertido puntual de la planta cárnica sobre el cauce de la quebrada de la Montaña.	29
Figura 9 Vertido puntual de la planta porcina sobre el cauce de la quebrada de la Montaña.	29
Figura 10 Conductividad eléctrica en los puntos de muestreo (us/cm).	31
Figura 11. Oxígeno disuelto en los puntos de muestreo (mg/l).	32
Figura 12 Turbidez obtenida en los puntos de muestreo (ntu).	33
Figura 13 pH obtenido en los puntos de muestreo.	34
Figura 14 Temperatura medida en los puntos de muestreo (°c).	35

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Medición del caudal.....	41
Anexo 2. Análisis de calidad de Agua.....	42
Anexo 3. Focos de Contaminación.....	43

Estrada González, DF. 2024. Potencial hídrico de la corriente superficial La Montañita en la Universidad Nacional de Agricultura, Honduras. Informe Final de Investigación. Catacamas, Honduras. Universidad Nacional de Agricultura. 45 p.

RESUMEN

La investigación se llevó a cabo en la quebrada que atraviesa la Universidad Nacional de Agricultura, ubicada en la ciudad de Catacamas, departamento de Olancho, específicamente en el área de importancia para la conservación de la vida silvestre La Montañita. La quebrada tiene un recorrido total de 4,082 metros, la longitud del cauce analizado es de 2,634 metros, representando un 64.5% de su trayecto. La caracterización del área de escurrimiento superficial reveló varios aspectos importantes sobre el comportamiento del cauce en La Montañita. Con un ancho promedio de 1.5 metro, el cauce es relativamente estrecho. La pendiente promedio de la longitud analizada, es de 0.456%. La oferta hídrica de la corriente superficial en La Montañita se observa que durante el año 2022 revela una oferta hídrica comprometida, influenciada por la interacción entre precipitación, evapotranspiración y variaciones estacionales. Con una precipitación anual de 1,404 mm y una evapotranspiración potencial anual de 1,246.30 mm, se observa una presión considerable sobre los recursos hídricos, destacando la cercanía entre ambos valores. Además, se observó fuentes de contaminación puntual y difusa que afectan la calidad del agua. Las principales fuentes de contaminación puntual son la planta cárnica y el Centro de Producción Porcino, las fuentes de contaminación difusa incluyen los desechos sólidos provenientes de la carretera cercana y la esorrentía de un potrero ubicado a corta distancia de la quebrada, que transporta nutrientes y otros contaminantes.

Palabras clave: Escurrimiento superficial, oferta hídrica, contaminación puntual y difusa.

ABSTRACT

The research was conducted in the stream that crosses the National University of Agriculture, located in the city of Catacamas, Olancho department, specifically in the area of importance for wildlife conservation known as La Montañita. The stream has a total length of 4,082 meters, and the analyzed section is 2,634 meters long, representing 64.5% of its course. The characterization of the surface runoff area revealed several important aspects about the stream's behavior in La Montañita. With an average width of 1.5 meters, the stream is relatively narrow. The average slope of the analyzed length is 0.456%. The water availability of the surface flow in La Montañita during the year 2022 revealed a compromised water supply, influenced by the interaction between precipitation, evapotranspiration, and seasonal variations. With an annual precipitation of 1,404 mm and an annual potential evapotranspiration of 1,246.30 mm, considerable pressure on water resources is observed, highlighted by the closeness of both values. In addition, point and diffuse sources of pollution affecting water quality were observed. The main point sources of pollution are the meat processing plant and the Swine Production Center, while diffuse pollution sources include solid waste from the nearby road and runoff from a pasture located close to the stream, which carries nutrients and other contaminants.

Keywords: Surface runoff, water availability, point and diffuse pollution.

1 INTRODUCCIÓN

El comportamiento hidrológico de una corriente superficial se refiere a la forma en que el agua fluye a través del sistema fluvial, desde su fuente hasta su desembocadura. El comportamiento hidrológico de una corriente superficial está influenciado por diversos factores, tales como el clima, la topografía, la geología, la vegetación y la presencia o ausencia de actividades humanas. El potencial hídrico de una corriente superficial se refiere a la cantidad de agua que puede ser recolectada de ella para su uso (Delgado Díaz 2005). Este potencial depende de la cantidad y calidad del agua disponible, así como de la infraestructura necesaria para su captación, tratamiento y distribución.

En general, la cantidad de agua disponible en una corriente superficial se ve afectada por la precipitación, la evaporación, la transpiración de la vegetación y la infiltración del agua en el suelo. El agua disponible en una corriente superficial también puede ser afectada por la extracción humana de agua para uso doméstico, agrícola e industrial (Bateman 2007). El potencial hídrico de una corriente superficial también está influenciado por las características físicas de la cuenca hidrográfica que la alimenta, como la superficie de la cuenca, la vegetación, la topografía, la geología y la presencia de infraestructuras, tales como presas y embalses.

En resumen, el comportamiento hidrológico de una corriente superficial y su potencial hídrico están estrechamente relacionados con los procesos naturales y humanos que influyen en la cantidad y calidad del agua disponible. Es importante entender estos factores para una gestión sostenible y eficiente del agua en las cuencas hidrográficas y para garantizar un suministro de agua adecuado para las necesidades humanas y ambientales, por lo cual la presente investigación tiene como finalidad analizar el comportamiento hidrológico de la corriente superficial de La Montañita en la Universidad Nacional de Agricultura.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Analizar el potencial hídrico de la corriente superficial La Montañita en la Universidad Nacional de Agricultura, Honduras.

2.2 Objetivos específicos

Realizar la caracterización espacial del área de escurrimiento y de la corriente superficial La Montañita en la universidad Nacional de Agricultura en Honduras.

Determinar la oferta hídrica de la corriente superficial La Montañita para estimar la cantidad de agua disponible en su paso por la universidad Nacional de Agricultura.

Identificar los potenciales focos de contaminación puntual y difusa sobre la corriente superficial La Montañita en su paso por la Universidad Nacional de Agricultura.

3 HIPÓTESIS

Hipótesis nula

No hay potencial hídrico en la corriente superficial La Montañita en la Universidad Nacional de Agricultura.

Hipótesis alterna

Si hay un potencial hídrico en la corriente superficial La Montañita en la Universidad Nacional de Agricultura.

4. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1. Ciclo hidrológico y las corrientes superficiales

La biosfera, la atmosfera, la litosfera y la hidrosfera denominado como sistema climático, almacena y mueve el agua de acuerdo con un modelo llamado ciclo hidrológico, este ciclo se da a través de una variedad de procesos, que incluye la evaporación, condensación, precipitación, sedimentación, escorrentía, infiltración, sublimación, transpiración, fusión y flujo de agua subterránea, el agua de la atmósfera se mueve de un depósito a otro. El ciclo hidrológico, como todos los ciclos, no tiene principio ni fin. El agua que se encuentra en la superficie terrestre o muy cerca de ella se evapora como consecuencia de la radiación solar y el viento (Córdova 2015).

En este lugar el vapor de agua se crea, asciende y viaja por la atmósfera en forma de nubes hasta condensarse y caer al suelo. El agua precipitada puede volver a evaporarse o ser atrapada por la vegetación o estructuras, después de lo cual fluye a través de la superficie hacia corrientes o infiltraciones (Mauricio 2017). El agua que fue interceptada, una porción de ella fue infiltrada y el agua que corrió por la superficie se evaporó. Parte de la precipitación que cae sobre la tierra y desemboca en arroyos se infiltra, mientras que otra termina en el océano u otras grandes masas de agua como lagos y represas. Una parte del agua infiltrada es absorbida por las plantas y luego transpira casi por completo a la atmósfera. Otra porción del agua infiltrada fluye bajo la superficie de la tierra hacia las corrientes, el mar u otros cuerpos de agua, o hacia áreas profundas del suelo (percolación), donde se almacena como agua subterránea antes de emerger en manantiales, ríos o el mar.

El agua superficial es un componente importante del ciclo hidrológico y uno con el que interactúa de manera muy regular. Incluye lagos, humedales, escorrentía de aguas pluviales (flujo terrestre), estanques, baches, ríos y arroyos. En general el ciclo hidrológico constituye el

conjunto de fenómeno que transforma el agua de una fase en otra. Este es un concepto más bien teórico, pero útil, que corresponde a un modelo o idealización del movimiento, distribución y circulación general del agua en la Tierra. De acuerdo con este concepto, el ciclo hidrológico abarca no solamente el movimiento y distribución del agua dentro de las masas continentales (escorrentía, infiltración, precipitación, etc.) sino también el movimiento y circulación desde la hidrósfera a la atmósfera (evaporación), desde la atmósfera a la litósfera (precipitación) y desde esta última nuevamente a la hidrósfera y la atmósfera (escorrentía, evaporación, transpiración)(Romero Barahona 2016) .

4.2 Rutas de la precipitación en los territorios

Las rutas de precipitación se refieren a los caminos que toma el agua de lluvia desde el momento en que cae sobre la superficie de la Tierra hasta que se incorpora a un cuerpo de agua, como un río, un lago o un acuífero. Estas rutas pueden variar dependiendo de factores geográficos, topográficos y climáticos (Fernández Brown Ernesto s. f.)

Aquí hay algunas rutas comunes de precipitación en los territorios.

Escorrentía superficial: Cuando la precipitación cae sobre una superficie impermeable, como una carretera, una acera o un techo, el agua fluye directamente hacia los cuerpos de agua cercanos o hacia el sistema de drenaje urbano. Esta es la forma más rápida de movimiento del agua y puede generar inundaciones en áreas urbanas.

Escorrentía superficial hacia ríos y arroyos: En áreas donde la superficie es más permeable, como suelos y praderas, la precipitación se infiltra parcialmente en el suelo y fluye hacia los ríos y arroyos cercanos a través de una red de canales de drenaje natural (Trujillo 2021). Esta es la principal forma de transporte de agua en la mayoría de los sistemas fluviales.

Infiltración y percolación: En áreas con suelos más permeables, parte de la precipitación se filtra a través del suelo y puede llegar a capas más profundas, donde se almacena como agua

subterránea. Esta agua puede moverse lentamente a través de acuíferos y eventualmente puede fluir hacia los cuerpos de agua superficiales o ser extraída a través de pozos.

Evapotranspiración: La precipitación también puede ser absorbida por las plantas a través de sus raíces y luego se evapora desde las hojas en un proceso conocido como transpiración. Este proceso combina la evaporación del agua del suelo y la liberación de vapor de agua a través de los poros de las plantas (Salinas Marcenaro 2023). La evapotranspiración es una importante salida de agua de los sistemas hidrológicos y afecta el ciclo del agua.

4.2.1 Corrientes superficiales en valles

Los valles son los accidentes geográficos más comunes de la superficie de la tierra, antes de finalizar el siglo XIX, se creía que los valles eran creados por acontecimientos catastróficos que separa la corteza y creaban hondonadas en las cuales las corrientes de agua podían fluir, en la actualidad se sabe que, con pocas excepciones, las corrientes crean sus propios valles (Bérmudez 2016)

Las corrientes superficiales en un valle se refieren al flujo de agua que se desplaza por la superficie terrestre en la parte baja de un valle. Estas corrientes son generadas por la precipitación, como la lluvia o el deshielo de la nieve, y se acumulan en las zonas más bajas del terreno formando ríos, arroyos o torrentes. En un valle, el agua tiende a fluir por el camino de menor resistencia, siguiendo la pendiente del terreno. Por lo tanto, las corrientes superficiales en un valle suelen seguir un curso más o menos recto a lo largo de la dirección de la pendiente. A medida que el agua fluye cuesta abajo, puede encontrarse con obstáculos naturales, como rocas o cambios en la topografía, lo que puede dar lugar a cambios en la dirección del flujo o la formación de cascadas y rápidos (Hugor 2017)

4.3 Determinación de áreas de escurrimiento superficial en valles

En una cuenca hidrológica, el escurrimiento es la parte de la precipitación que fluye sobre la superficie hacia cuerpos de agua mayores. Antes de que el escurrimiento ocurra, la lluvia debe

satisfacer las demandas inmediatas de infiltración, evaporación, interceptación, almacenamiento y detención superficial a través de estructuras geológicas. La infiltración se define como el movimiento vertical del agua dentro de los estratos del suelo y rocas subyacentes y si la intensidad de la lluvia es mayor que la velocidad de infiltración, el agua tenderá a acumularse y el escurrimiento comenzará. La humedad superficial tiene influencia en los procesos de escorrentía e infiltración. La velocidad de drenaje a través del suelo es particularmente dependiente del contenido de humedad superficial (Kurczyn 2007)

El escurrimiento con frecuencia se expresa como altura de lámina de agua y en el caso de terrenos inundables constituye la cantidad de agua que se requiere sacar del área de drenaje en un período de tiempo determinado. Esta lámina de agua se conoce como el coeficiente de drenaje y puede variar para un tiempo de 24 h, de 0.6 a 10.16 mm; con mayor frecuencia varía de 0.95 a 5 mm (Flores-López 2003). El cálculo del coeficiente de drenaje es una de las partes importantes en el diseño de los sistemas de drenaje en cuencas pequeñas. Para calcular el escurrimiento con datos de lluvia y de infiltración se necesita hacer la evaluación de las pérdidas sufridas por evaporación del agua superficial, transpiración, infiltración profunda, almacenamiento de agua en el perfil del suelo, que está influido por la humedad anterior y el almacenamiento superficial de tipo temporal y permanente (Kurczyn 2007).

4.3.1 Caudal y potencial hídrico de una corriente superficial

El caudal de una corriente superficial se refiere a la cantidad de agua que fluye a través de la corriente en un período de tiempo determinado, medido en metros cúbicos por segundo (m^3/s) o litros por segundo (l/s) (Caudal 2003). El caudal puede variar en función de la temporada, la precipitación y la topografía de la cuenca hidrográfica.

El potencial hídrico se refiere a la energía potencial del agua en la corriente, medida en unidades de presión, como kilopascales (kPa) o bares (bar). El potencial hídrico de una corriente depende de factores como la altura de la superficie del agua, la velocidad del flujo, la gravedad y la fricción con el lecho del río (Graff 2016).

En general, a medida que aumenta el caudal de una corriente, también aumenta su potencial hídrico. Esto se debe a que un mayor caudal implica un mayor volumen de agua que ejerce una mayor fuerza en el flujo, lo que aumenta la energía potencial del agua. Sin embargo, el potencial hídrico también puede verse afectado por otros factores, como la evaporación y la infiltración del agua en el suelo (Manrique Perez 2014).

4.4 Clasificación de los métodos de aforo

Los métodos de aforo son técnicas y procedimientos utilizados in situ para determinar la cantidad de agua que circula por una escorrentía superficial (Mota 2016). Los métodos tienen particularidades que dependen de las características físicas e hidráulicas del cauce, así como de las técnicas empleadas en la medición de ciertos parámetros necesarios para el cálculo de caudal o gasto.

Los métodos de aforo utilizados en cauces o cursos de agua abiertos sean estos canales hídricos naturales o artificiales, se clasifican de forma general en

- Métodos directos
- Métodos indirectos

Métodos de aforo directo

Estos métodos consisten en obtener el valor del caudal o gasto de manera inmediata. Se consigue generalmente a partir del dato de nivel de agua y de velocidad de flujo. para lo que se utilizan equipos e instrumentos especiales; estos dispositivos facilitan la medición de parámetros y trasladarlos al cálculo de área o sección transversal, velocidad de flujo en el cauce (Reyes 2017). Con estos valores se aplican las fórmulas explícitas que permiten conocer ágilmente el caudal o gasto que circula en la escorrentía.

Entre las modalidades empleadas frecuentemente por el método de aforo directo, se tienen Aforo volumétrico

Aforo gravimétrico

Aforo químico o con trazadores.

Métodos que utilizan secciones de control

Métodos que utilizan contracciones (estructuras)

Vertederos, y

Aforador Parshall

Métodos de aforo indirecto

Los métodos de aforo indirecto miden una variable auxiliar relacionada con el área o sección transversal. Una de ellas es el nivel del agua y otra es la velocidad de flujo: para realizar estas mediciones se utiliza: variadas técnicas de aforo, equipos, herramientas y procedimientos específicos de cada método, con la finalidad de obtener los parámetros necesarios y calcular el caudal (Gonzales 2014).

Entre los métodos más utilizados de aforo indirecto, con sus respectivas modalidades, tenemos:

Métodos de relación Área o Sección transversal

Aforo con molinete hidrométrico o correntómetro

Aforo utilizando flotador

Método de relación Nivel de agua Caudal

Método de relación Área - Pendiente

Métodos de medición de caudales

Método del flotador

El método del flotador se utiliza en los canales, acequias y da sólo una medida aproximada de los caudales. Su uso es limitado debido a que los valores que se obtienen son estimativos del caudal, siendo necesario el uso de otros métodos cuando se requiere una mayor precisión. Para ejecutarlo, se elige un tramo del canal que sea recto y de sección transversal uniforme, de alrededor de 30 metros de largo, donde el agua escurra libremente. Se marca en el terreno la

longitud elegida y se toma el tiempo que demora un flotador (por ejemplo, un trozo de madera) en recorrerla, con el fin de conocer la velocidad que lleva el agua en esa sección (Martinez 2017). Como flotador se puede usar cualquier objeto que sea capaz de permanecer suspendido en el agua, como un trozo de madera, corcho u otro material similar, que no ofrezca gran resistencia al contacto con el aire y que se deje arrastrar fácilmente por la corriente de agua.

Método Volumétrico

Este método permite medir pequeños caudales de agua, como son los que escurren en surcos de riego o pequeñas acequias. Para ello es necesario contar con un depósito (balde) de volumen conocido en el cual se colecta el agua, anotando el tiempo que demoró en llenarse. Esta operación puede repetirse 2 o 3 veces y se promedia, con el fin de asegurar una mayor exactitud.

Método de trazador de sal

El método de trazador de sal se utiliza para medir caudales en corrientes pequeñas como arroyos, riachuelos o quebradas. En las corrientes pequeñas se cuenta con valores de nivel o alturas cada 30 minutos que se toman automáticamente con los limnógrafos. Para convertir estos valores de nivel a caudal, se miden los caudales con este método en diferentes momentos de tal forma que se tomen valores a varios niveles de la corriente.

El método de trazadores de sal consiste en verter en un punto de la quebrada una cantidad de sal conocida disuelta en agua y unos 20 metros más abajo medir el cambio de conductividad en el agua de la corriente. La conductividad inicial de la quebrada cambiará, elevándose hasta llegar a un pico para posteriormente descender y llegar a su valor inicial. Creando una curva de concentración en función a la conductividad (Roa G 2011).

La ecuación utilizada para la determinación del caudal es la siguiente:

$$Q = \frac{V \cdot (C_1 - C_0)}{\int_0^T c dt - C_0 \cdot T}$$

Donde:

- V = volumen de la solución inyectada de muestreo.
- C_0 = concentración inicial o concentración natural de la corriente.
- C_1 = concentración de la solución inyectada.
- $\int_0^T C dt - C_0 \cdot T = C_3$ = concentración de trazador por unidad de tiempo = área entre la curva de la solución inyectada y la horizontal que representa la concentración natural.
- T = tiempo total que tarda la solución en cruzar el punto de muestreo.

4.4.1 Método de estación de aforo permanente

En estaciones permanentes se realizan aforos dos veces al año durante 24 horas, de esta forma se conoce la intensidad del tráfico durante los períodos de verano e invierno durante el año. Estas estaciones permiten un conocimiento de las variaciones típicas del tráfico (estacionales, semanales y diarias) y de la frecuencia de las intensidades horarias a lo largo del año, así como la obtención de las tendencias del tráfico a largo plazo.

En una estación de aforo permanente el cauce tiene que ser lo más estable posible. Esto está asociado a la posibilidad de calcular curvas altura-caudal, de tal manera de que con una simple medición de la altura de agua obtenga el caudal, ahorrándose todo el trabajo de los aforos (Basán Nickisch 2008). Esto no es posible si la sección cambia, ya que para una misma altura de agua pasarán caudales distintos

Método con molinete de copas

El molinete hidráulico de copa mediante su funcionamiento permite obtener y calcular valores referentes a la velocidad de un caudal de corriente de agua, mediante el número de revoluciones (vuelta en determinado número de segundo) utilizando una tabla de velocidades y así realizar aforamientos en las estaciones o cuenca hidrológicas (Bonilla Valverde 2018).

Un molinete es un pequeño instrumento constituido por una ruedecilla con aspas, la cual, al ser sumergida en una corriente gira proporcionalmente a la velocidad de esta. El molinete consiste

esencialmente de cinco partes que son: una hélice de aspas o copas, que el agua en movimiento hace girar; un mecanismo que permite contar el número de vueltas que da la hélice a intervalos de tiempo definido; un timón que guía el molinete en forma paralela al flujo de la corriente; un escandallo (plomada) y un soporte que permiten sumergir el molinete a la profundidad deseada (Ortega-Gaucin 2012).

4.5 Variación de caudales en escala temporal

Los caudales de las corrientes superficiales pueden variar significativamente en diferentes escalas de tiempo, desde segundos hasta años (Pizarro-Tapia et al. 2011). Estas variaciones pueden ser causadas por una serie de factores, como las condiciones meteorológicas, la topografía, el uso del suelo y la vegetación, entre otros.

A corto plazo, los caudales pueden fluctuar rápidamente en respuesta a eventos climáticos como lluvias intensas, tormentas y nevadas (Picón et al. 2019). Estas variaciones pueden ser extremadamente rápidas, con aumentos repentinos en el caudal de una corriente en cuestión de minutos u horas. Las inundaciones repentinas, que pueden ser peligrosas y destructivas, son un ejemplo de este tipo de fluctuaciones de caudal.

A escala estacional, los caudales pueden variar debido a los patrones climáticos a lo largo del año. En las regiones con estaciones secas y húmedas distintas, el caudal puede ser bajo durante la estación seca y aumentar significativamente durante la estación húmeda. En otros lugares, el caudal puede variar más gradualmente durante todo el año.

A largo plazo, los caudales pueden ser afectados por cambios en la vegetación y el uso del suelo, así como por el cambio climático. Por ejemplo, la deforestación puede reducir el caudal al disminuir la cantidad de agua que se evapotranspira de las plantas y suelos, mientras que el cambio climático puede alterar los patrones de precipitación y evapotranspiración, lo que a su vez afecta el caudal de las corrientes (Garzón 2017).

En general, es importante tener en cuenta la conservación temporal del caudal al planificar y gestionar el uso del agua y la gestión de riesgos de inundaciones y sequías. La variación de caudales en escala temporal se refiere a los cambios que ocurren en el volumen de agua que fluye en un río, arroyo u otro cuerpo de agua a lo largo del tiempo. Esta variación puede ser de corto o largo plazo, y puede estar influenciada por una variedad de factores, como las precipitaciones, la temperatura, la evaporación y la topografía del terreno. Las variaciones temporales se dan durante o después de las tormentas (Baeza Sanz et al. 2003).

4.6 Ubicación de potenciales focos de contaminación puntual y difusa en una corriente superficial

Las fuentes puntuales de contaminación en tierra representan aquellas actividades cuyos desechos son vertidos directamente a los cuerpos de agua receptoras y el sitio de vertimiento es fácilmente distinguible (Hurtado Yow 2020). Las fuentes no puntuales de contaminación terrestre son conocidas como “fuentes difusas”, se generan por una gama amplia de actividades humanas en la que los contaminantes producidos por ellas, y contenidos en sus descargas, no tienen un punto obvio de entrada a los cuerpos de agua receptoras (Escobar 2002). La contaminación de fuentes difusa es la escorrentía de aguas pluviales que recoge contaminantes de fuentes difusas como pavimento, edificios y tierras agrícolas en su viaje hacia los cuerpos de aguas superficiales (Palma 2022).

Focos de contaminación puntual en corrientes superficiales (Bernal Segura 2019):

- Vertidos aguas residuales urbanas depuradas
- Vertidos procedentes de plantas industriales
- Vertidos de plantas de tratamientos de fangos
- Suelos contaminados
- Zonas de eliminación de residuos y acuicultura

Focos de contaminación difusa en corrientes superficiales (Cardona 2003):

- Agricultura:
- Ganadería

- Zonas de contaminación
- Minería

Contaminación puntual

La contaminación puntual son puntos específicos de descarga de contaminantes. Este tipo de contaminación es fácil de identificar, monitorear y tratar. Las mayores fuentes de contaminación del agua son los desechos de agua doméstica, los escurrimientos industriales, el escurrimiento de la tierra labrada, rellenos sanitarios, etc. Las fuentes puntuales descargan contaminantes en localizaciones específicas a través de tuberías o alcantarillas a cuerpos de agua superficial. Por ejemplo, fábricas, plantas de tratamiento industrial, plantas de tratamiento de aguas negras, industria textil (Espinoza 2022).

Contaminación difusa

La contaminación difusa proviene del agua que escurre el suelo, producto de la lluvia. El agua golpea la superficie de la tierra, disuelve y acarrea un conjunto de contaminantes naturales o producidos por el hombre, que pueden incluir: aceite y desechos por desgaste de vehículos en vialidades urbanas, productos químicos de zonas agrícolas, excremento de actividades pecuarias, lavado de zonas de actividades mineras y materiales tóxicos de áreas urbanas y suburbanas. Estos escurrimientos se dirigen cuesta abajo de la cuenca hacia los cuerpos de agua como arroyos, ríos y lagos, ya sea de modo directo o a través de sistemas de drenaje (Zarza 2022).

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Descripción del sitio del estudio

La investigación se realizó en la quebrada que tiene paso por la Universidad Nacional de Agricultura, ubicada en la ciudad de Catacamas, departamento de Olancho, específicamente en el área de Importancia para la Conservación de la Vida Silvestre La Montañita y otras áreas de la institución. El recorrido analizado de esta quebrada fue de 2,634 m con un área de escurrimiento sobre el punto de salida de 2.49 km².

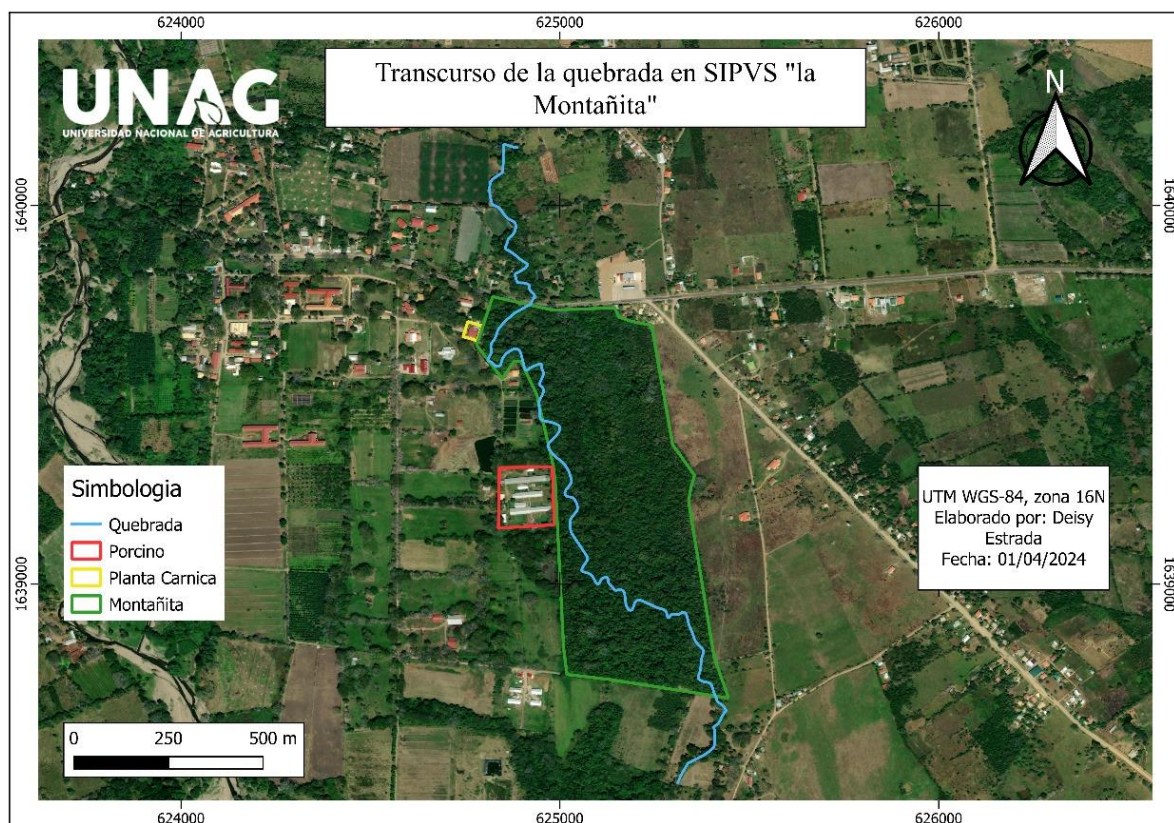


Figura 1 Ubicación geográfica de la corriente superficial la montaña en la Universidad Nacional de Agricultura.

En todo su recorrido, la corriente superficial se encuentra en un relieve de tipo valle con pendientes inferiores al 15%

Materiales y equipo

Materiales:

- Botellas estériles: Recipientes diseñados para contener líquidos o sólidos en un estado libre de microorganismos. Son cruciales en laboratorios para evitar contaminaciones durante la recolección o almacenamiento de muestras.
- Tubos de ensayo: Cilindros pequeños de vidrio o plástico usados en laboratorios para mezclar, calentar o realizar reacciones químicas en muestras pequeñas.
- Reactivos: Sustancias químicas utilizadas en experimentos y pruebas para provocar una reacción o cambio observable, permitiendo la identificación o cuantificación de otros compuestos.

Equipo:

Computadora: Dispositivo electrónico utilizado para realizar cálculos, procesar datos, almacenar información y ejecutar software para diversos fines, desde análisis de datos hasta manejo de información.

GPS: Sistema de Posicionamiento Global, un dispositivo que utiliza satélites para determinar la ubicación exacta en la superficie terrestre, útil para navegación y mapeo.

Multiparámetro HANNA: Instrumento que mide múltiples parámetros de calidad del agua, como pH, conductividad, oxígeno disuelto, entre otros, en una sola unidad.

Turbidímetro HANNA: Aparato diseñado para medir la turbidez de líquidos, que indica la presencia de partículas suspendidas que pueden afectar la claridad del agua.

Medidor de Oxígeno Disuelto HANNA: Dispositivo que mide la cantidad de oxígeno disuelto en un líquido, fundamental para evaluar la calidad del agua en entornos acuáticos.

Metro: Herramienta de medición utilizada para determinar longitudes o distancias con precisión, generalmente disponible en versiones de cinta o regla.

Cloruro de Sodio: Comúnmente conocido como sal de mesa, es un compuesto químico utilizado en laboratorio y en la industria, a menudo como reactivo o para ajustar la salinidad de soluciones.

Cuaderno: Libro de notas utilizado para registrar observaciones, datos y resultados de experimentos o actividades en el laboratorio.

Lápiz: Herramienta de escritura que utiliza grafito para marcar sobre papel, esencial para tomar notas rápidas y realizar anotaciones en el laboratorio.

5.2 Programas computacionales:

QGIS: Software de código abierto utilizado para sistemas de información geográfica (SIG). Permite a los usuarios visualizar, editar, y analizar datos espaciales, así como crear mapas detallados. Es ampliamente utilizado en campos como la geografía, la planificación urbana y la gestión ambiental.

Excel: Programa de hojas de cálculo desarrollado por Microsoft. Es utilizado para organizar, analizar y manipular datos numéricos. Excel ofrece herramientas para crear tablas, gráficos, y aplicar fórmulas complejas, siendo esencial en tareas de análisis de datos y administración.

Word: Procesador de textos desarrollado por Microsoft. Es utilizado para la creación, edición y formato de documentos de texto. Word es una herramienta clave en la redacción de informes, cartas, y otros tipos de documentos escritos.

5.3 Método

Para abordar este estudio sobre el potencial hídrico de la corriente superficial La Montañita en la Universidad Nacional de Agricultura en Honduras, se utilizó un enfoque combinado de métodos descriptivo, cuantitativo y cualitativo. Se llevó a cabo una caracterización espacial mediante mapeo topográfico, geográfico, levantamiento hidrográfico y teledetección para comprender el área de escurrimiento y la corriente superficial. Además, se aplican técnicas cuantitativas, para el monitoreo de caudal de paso durante el tiempo de medición y análisis de datos meteorológicos disponibles, esto, para determinar la oferta hídrica y su variación temporal. También se utilizó métodos cualitativos para identificar potenciales focos de contaminación puntual y difusa en la corriente superficial en cuestión.

5.4 Caracterización espacial del área de escurrimiento

Se recolectó toda la información geoespacial de la zona de estudio, esta consistió en georreferenciación de datos, delimitación del área de escurrimiento, cauce y puntos de potenciales focos de contaminación

La caracterización espacial se llevó a cabo mediante un recorrido a lo largo de la quebrada, desde su origen hasta el sector del Olvido. Durante este recorrido, se procedió a recopilar datos con receptores de posicionamiento GPS a intervalos regulares a lo largo de todo el trayecto. Una vez completado el recorrido y reunidos todos los datos necesarios, se utilizó el software QGIS para conectar los puntos recopilados y crear así una representación digital del vector de la corriente de la quebrada de la Montañita.

5.1.2 Clima

La Montañita presenta un clima tropical, con una temperatura media anual de 24.2 °C y una precipitación promedio de aproximadamente 845 mm al año, según datos de (AccuWeather s. f.). El clima predominante en La Montañita es el lluvioso durante la temporada de invierno. Esta clasificación se distingue por la alta pluviosidad en los meses de junio y septiembre, mientras que los meses más secos suelen ser febrero y marzo.

Tipo de suelo

Según la clasificación mundial de suelos de la FAO (FAO s. f.) en Olancho predomina el tipo de suelo conocido como cambisoles. Estos suelos se caracterizan principalmente por presentar una diferenciación incipiente de horizontes y se encuentran en una fase de transición en su desarrollo, desde suelos jóvenes hacia suelos más maduros. Los cambisoles, ubicados principalmente en terrenos con un drenaje deficiente, pueden exhibir características "redoximórficas", lo que significa que su textura varía de franco a arcillosa, según los Informes Históricos de Suelos del Portal de Suelos (Informes Históricos de Suelos, Portal de Suelos de la FAO s. f.).

Según la clasificación de suelos para Honduras establecida por Simmons y Castellano (Simmons 1965), los suelos de la Montañita se clasifican como suelos de los valles. Este tipo de suelo abarca la mayor parte de la superficie de Honduras y se encuentra a altitudes que oscilan entre 500 y 800 metros sobre el nivel del mar. Estos valles están rodeados por montañas que se elevan a más de 1,000 metros de altitud.

Área de escurrimiento superficial

Esta fue obtenida usando modelo de elevación digital para delimitar el área de escurrimiento de la corriente superficial. Es de resaltar que se consideró escurrimiento superficial natural ya que existen barreras que impiden áreas que escurren al cauce de la quebrada.

Características del cauce de ámbito espacial

Mediante el uso de QGIS, se realizó una visualización espacial detallada de la quebrada, donde se identificaron sus características geométricas fundamentales. Estas incluyeron la longitud total, la pendiente media, el ancho promedio y el trayecto que atraviesa dentro del campus de la Universidad Nacional de Agricultura.

5.5 Oferta hídrica de la corriente superficial

El análisis de la oferta hídrica se llevó a cabo mediante la medición del caudal utilizando el método del trazador de sal. Este método implicó la identificación de cuatro puntos de estudio específicos, donde se midió el caudal semanalmente durante un periodo de tres meses (junio, agosto y septiembre). Utilizando el método del trazador de sal, se generó una curva de concentración en función de la conductividad. Para ello, se prepararon soluciones de sal 200g en 2 litros de agua, las cuales fueron utilizadas posteriormente para medir la conductividad en cada uno de los puntos seleccionados, siendo estos puntos: Punto 1, entrada de la quebrada en La Montañita; Punto 2, planta cárnica; Punto 3, porcino; y Punto 4, salida de la quebrada en La Montañita.

Además, se realizó un balance hídrico de la zona, tomando los valores de precipitación y temperatura (máxima y mínima) de enero a diciembre de 2022.

5.6 Variación temporal de caudal de la corriente superficial

Para analizar la variación temporal del caudal, se empleó la información recopilada con el método del trazador de sal durante los tres meses de estudio. Esta información se representó gráficamente para visualizar la variación del caudal a lo largo de los diferentes meses de estudio.

5.7 Potenciales focos de contaminación puntual y difusa

Se llevó a cabo una inspección con el fin de identificar fuentes de contaminación puntual y difusa. Este proceso se realizó mediante un recorrido in situ. Además, se establecieron cuatro puntos de estudio específicos (figura 2) para realizar los análisis multiparámetros y microbiológicos.

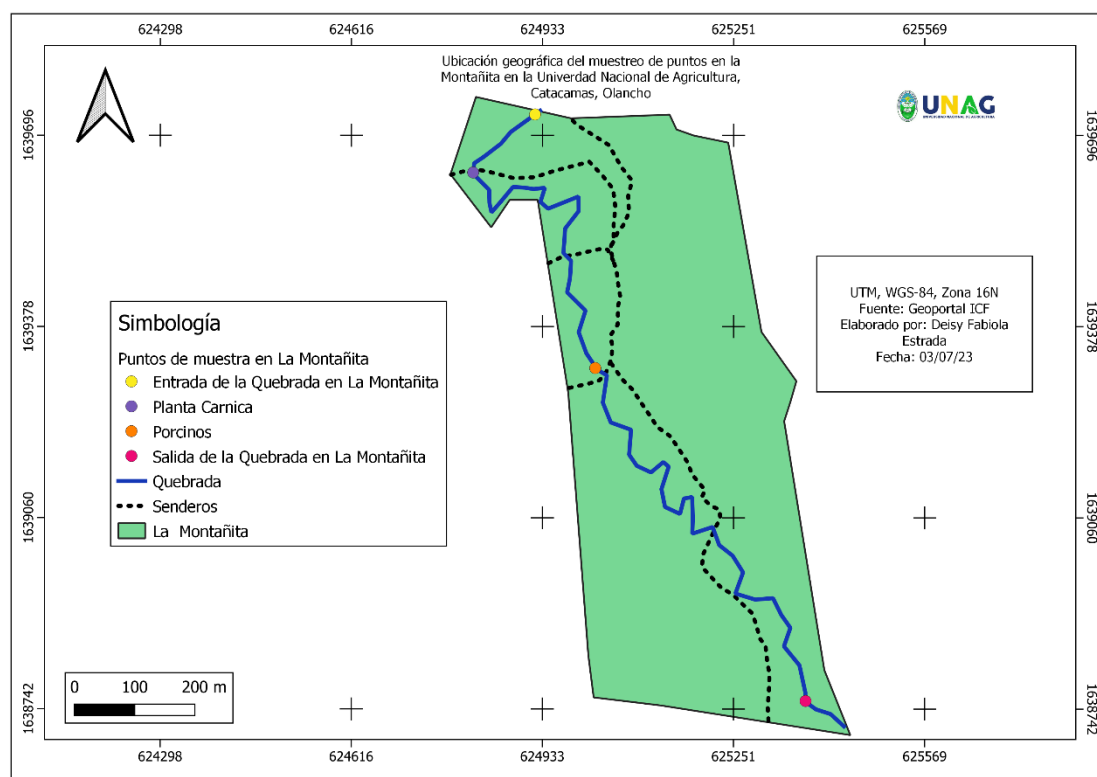


Figura 2 Puntos de estudios para los análisis multiparámetros y microbiológicos.
Análisis Multiparámetro

Usando el medidor multiparámetro portátil se midieron los parámetros, fosforo, nitrógeno, conductividad, oxígeno disuelto, turbidez, pH y temperatura. Se seleccionó cuatro puntos de estudio, donde se llevó el equipo a campo mensualmente para hacer los diferentes análisis, los meses que se llevó a cabo los análisis fueron, julio, agosto, septiembre.

Análisis Microbiológico

Se utilizó una prueba rápido llamado COLIKAT RAPID para detectar *coliformes totales*, el cual proporcione resultados en 18 horas. Se levantaron cuatro muestras en los cuatro diferentes puntos de análisis, muestras de 100 ml de agua

Modo de elaboración del análisis microbiológico

- Se añadió una bolsa de colikat Rapid en las diferentes muestras de 100 ml de agua.
- Se cerró la muestra y se agito hasta que el reactivo se disolvió.
- Luego las diferentes muestras pasaron a la incubadora aproximadamente 24 horas a 36 grados Celsius

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 Caracterización espacial del área de escurrimiento.

Área de escurrimiento superficial.

Se analizó a detalle las características físicas y topográficas del área donde ocurre el flujo de agua superficial de la Montañita. Esta área de escurrimiento corresponde a 2.49 km² hasta el punto de salida de la corriente analizada.

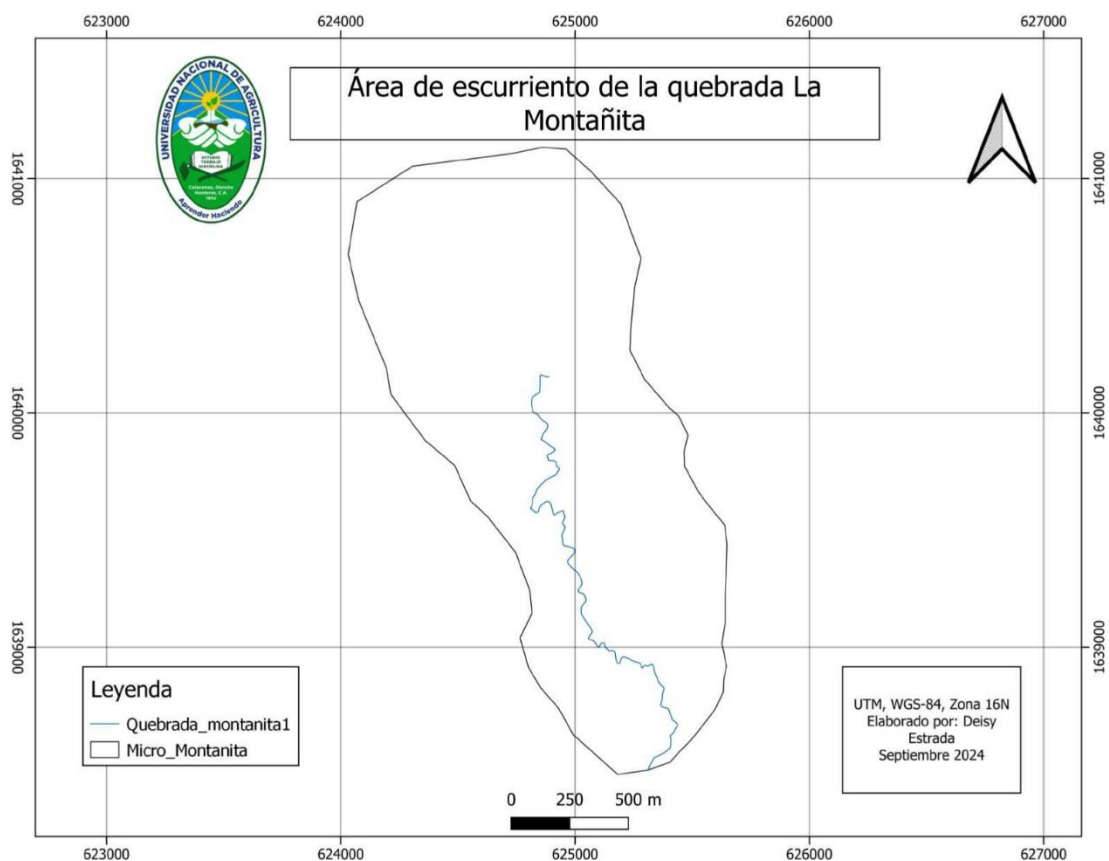


Figura 3 Área de escurrimiento de la quebrada La Montañita.

Uso de suelo

El uso actual del suelo en la Montañita se caracteriza por la presencia de bosque secundario, con áreas destinadas al cultivo de café dentro de un sistema agroforestal. Este sistema fue establecido con el propósito de brindar enseñanza a los estudiantes de la Universidad Nacional de Agricultura. Además, se encuentran plantaciones de Caoba (*Swietenia macrophylla* y *Swietenia humilis*) y Eucalipto (*Eucaliptus sp*), establecidas en 1996 con el fin de reforestar la zona sin fines de lucro.

Asimismo, se ha dedicado una parcela al cultivo de cacao, aunque no se obtiene ningún aprovechamiento económico de este, ya que sirve como fuente de alimento para la fauna local. Por último, existe una parcela dedicada a la producción dendroenergética de carbón, establecida para reforestar un área previamente degradada por la extracción de leña por parte de los pobladores locales. Actualmente, esta parcela no se utiliza con propósitos comerciales, sino únicamente con fines educativos.

Además de estas actividades agrícolas y forestales, existe una mínima área ocupada por edificaciones correspondientes al centro de rescate y sendero, según lo descrito por Reyes (2014).

Corriente superficial

La Montañita alberga una pequeña quebrada que tiene su origen en la comunidad de Las Tablas y fluye hasta desembocar en el río Talgua. Este curso de agua recorre aproximadamente 3.14 kilómetros a través de la Montañita, según lo documentado por Reyes (2014) pero en este estudio se analizó únicamente 2.634 km que corresponde al mayor paso por los terrenos de la Universidad.

6.2 Características del cauce

Las principales características geométricas del cauce de la corriente superficial se listan a continuación:

Longitud del cauce analizado: 2,634 m

Ancho promedio: 1.5 m

Pendiente promedio de la longitud analizada: 0.456%

Recorrido total de la corriente: 4,082 m

6.3 Oferta hídrica de la corriente superficial

En el año 2022, el balance hídrico en La Montañita muestra una oferta hídrica comprometida debido a la interacción entre precipitación, evapotranspiración y variaciones estacionales. La precipitación anual totalizó 1,404 mm, con un promedio mensual de 117 mm, mientras que la evapotranspiración potencial anual fue de 1,246.30 mm. Esto indica que la evapotranspiración potencial es cercana a la precipitación total anual, lo que sugiere una presión significativa sobre los recursos hídricos disponibles.

Durante el año, se identificaron dos periodos distintos en la oferta hídrica: un periodo seco de abril a octubre y un periodo húmedo de junio a septiembre. En el periodo seco, la combinación de altas temperaturas y alta evapotranspiración resultó en un aumento en la pérdida de agua, exacerbando el déficit hídrico observado en los meses de enero a abril y de octubre a diciembre como se observa en la figura 1. Este déficit se vio influenciado por el fenómeno climático de La Niña (El Niño/ La Niña 2022), que afectó negativamente tanto las temperaturas como las precipitaciones, prolongando la escasez de agua.

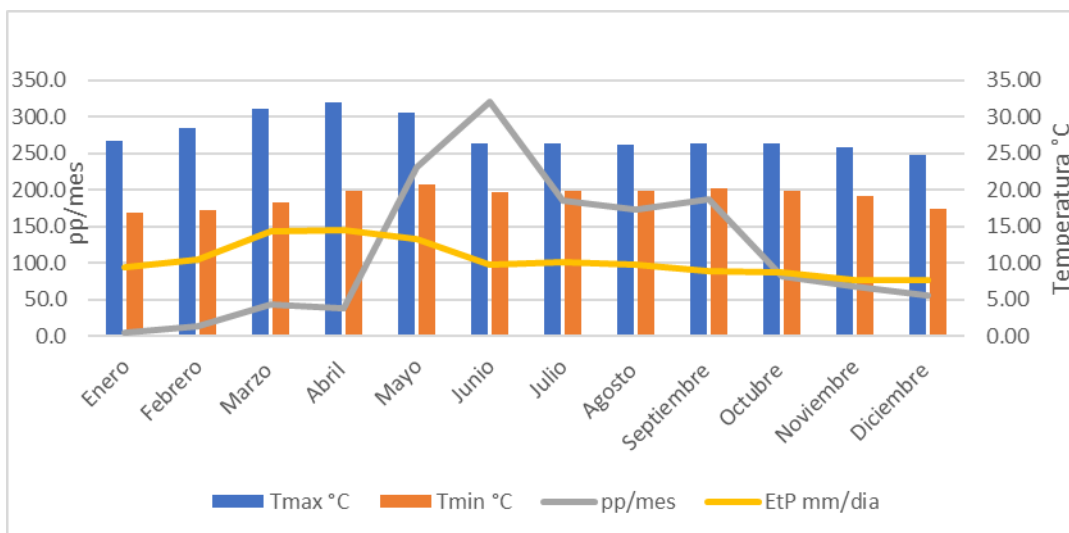


Figura 4 Evapotranspiración potencial en la Montañita año 2022.

Por otro lado, durante el periodo húmedo, especialmente en junio y julio, se sobrepasó la capacidad de almacenamiento, lo que llevó a un significativo escurrimiento superficial. Los meses de junio y julio experimentaron precipitaciones excepcionales, con 221.10 mm y 85.10 mm de escurrimiento, respectivamente, superando la capacidad de los sistemas de almacenamiento (Gutiérrez et al. 2013).

El análisis del balance hídrico figura 5 para el año 2022 en La Montañita revela una gestión hídrica desafiante, marcada por déficits significativos en la mayor parte del año y excesos de escurrimiento en los meses más húmedos. La combinación de estos factores, junto con el impacto del fenómeno de La Niña, destaca la necesidad de una planificación y gestión hídrica adaptativa para mitigar los efectos de variaciones climáticas extremas y garantizar una oferta hídrica sostenible (Alvarado 2022).

MES	ENER	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGOS	SEP	OCT	NOV	DIC
T	26.61	28.39	31.08	32.02	30.59	26.27	26.32	26.1	26.3	26.3	25.85	24.72
pp	4.9	13.7	43.3	38.2	230.8	320.8	185.1	173	188	82.7	67.1	54.8
ETP	94.90	105.40	142.90	145.50	133.60	96.90	100.80	97.10	88.60	86.80	76.60	77.20
CAMBIO ALM	0	0	0	97.2	0	100	0	75.4	-23	0	0	0
ALMACÉN	0	0	0	0	97.2	100.00	100.00	75.4	98.9	0	0	0
ETR	4.9	13.77	43.3	38.2	230.8	320.8	185.1	173	188	82.7	67.1	54.8
DÉFICIT	90	91.97	99.6	107.3	0	0	0	0	0	4.1	9.5	22.4
ESCORRENTÍA	0	0	0	0	0	221.10	85.10	0	0	0	0	0
DÍAS DEL MES	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
ALMACÉN 0	0.00	0.00	0.00	0.00								
ALMACÉN 100	100.00	100.00	100.00	0.00								
pp-ETP	-90.00	-91.70	-99.60	-107.30	97.20	223.90	84.30	75.40	98.90	-4.10	-9.50	-22.40

Figura 5 Balance hídrico directo (BHB) de la Montañita, para el año 2022.

6.4 Variación temporal del caudal de la corriente superficial

En la figura 4 se presenta la distribución espacial del caudal mensual (julio, agosto y septiembre) del año 2023. Se identificaron cuatro puntos para la estimación de caudal: el punto 1 corresponde a la entrada de la quebrada en La Montañita, el punto 2 a la planta cárnica, el punto 3 al porcino, y el punto 4 a El Olvido (Figura 3).

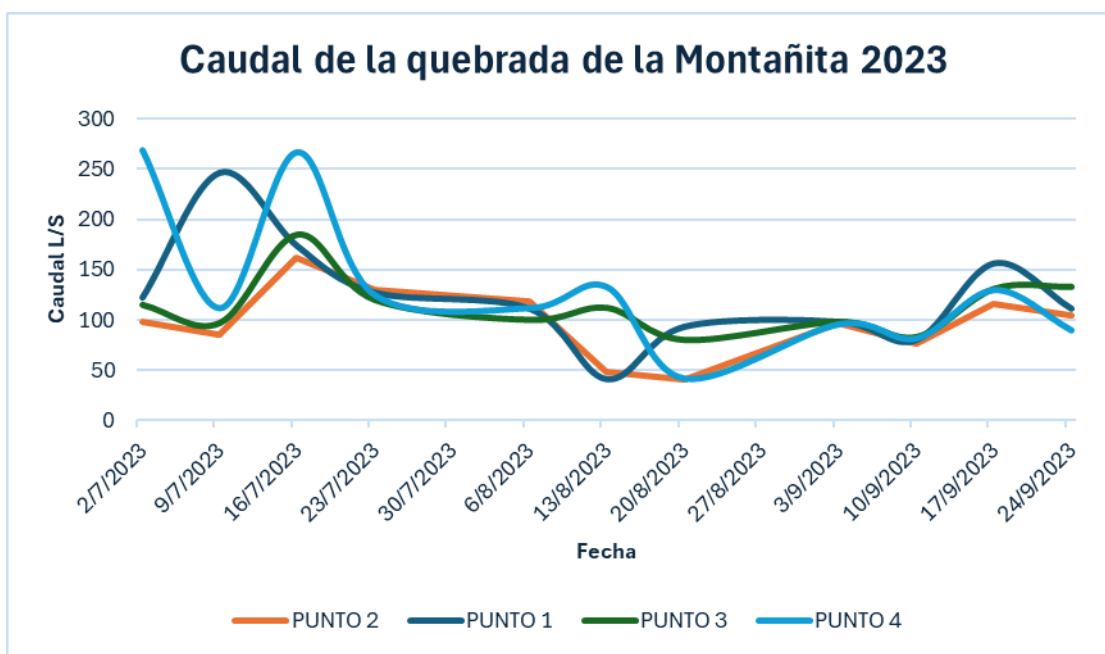


Figura 6 Caudal en los diferentes puntos de estudio.

Los mayores valores de caudal se registraron en el mes de julio, coincidiendo con la mayor precipitación de este mes, que fue de 192.02 mm. Le siguió con bastante diferencia (99.81 mm menos) el mes de septiembre, con una precipitación de 92.21 mm, y finalmente el mes de agosto, con una precipitación de 88.1 mm (S.L s. f.).

Como se observa en la figura 6, los puntos de mayor caudal es el punto 1 que corresponde a la entrada a la montaña y esto es probable se deba a escorrentías externas principalmente de la carretera y techos de las viviendas cercanas al cauce. El otro punto de mayor caudal es el 4 y al estar aguas debajo de los demás concentra mayor caudal porque tiene un área de escurrimiento superior.

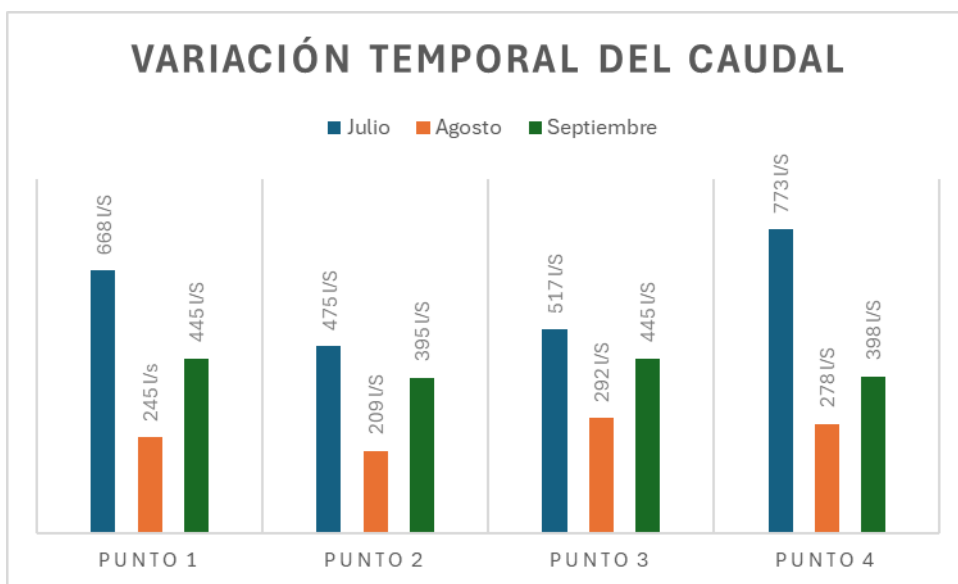


Figura 7 Variación temporal del caudal en los diferentes puntos de estudios.

El análisis estadístico realizado con el modelo R, Figura 8. Permite extraer las siguientes conclusiones:

- **Punto 1:** Se observa una amplia dispersión en los caudales, con valores que varían significativamente desde aproximadamente 250 m³/s hasta más de 600 m³/s, lo que refleja una gran variabilidad en el flujo.

- **Punto 2:** Presenta una variabilidad menor en comparación con Punto 1, con caudales que oscilan entre 300 y 500 m³/s.
- **Punto 3:** Aunque el rango es similar al de Punto 2, la mediana es mayor, lo que sugiere un caudal más constante en este punto.
- **Punto 4:** Este es el punto con los caudales más bajos y con la menor dispersión, lo que indica un flujo más reducido y menor variabilidad en esta sección de la quebrada.

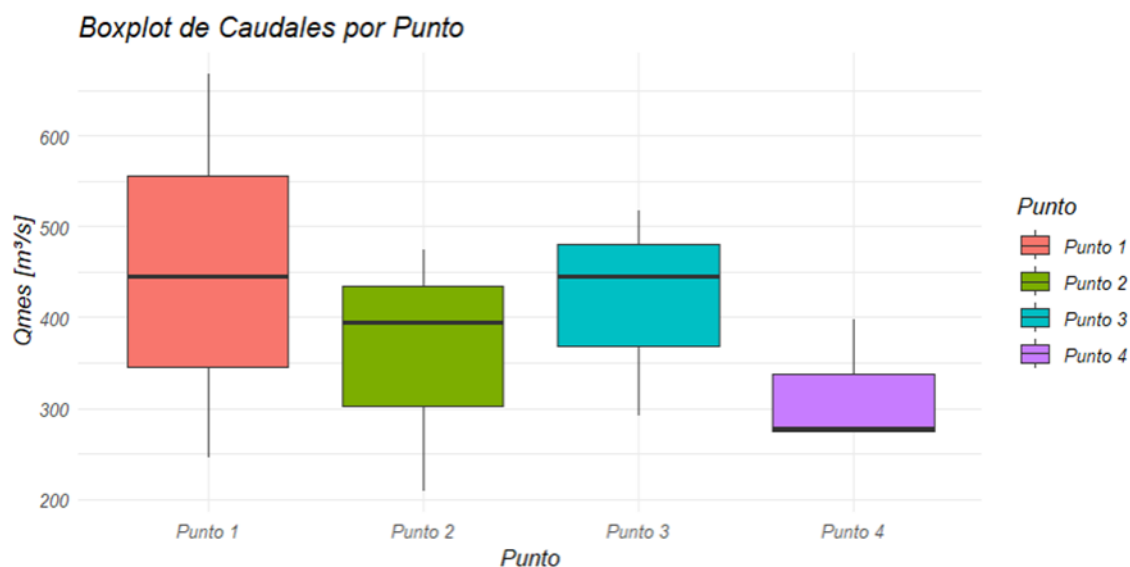


Figura 8. Análisis estadístico de la variación temporal del caudal

6.5 Potenciales focos de contaminación puntual y difusa

Durante el recorrido in situ por la Montañita, se identificaron dos fuentes de contaminación puntual. Estas corresponden a la planta cárnica y al Centro de Producción Porcino. En ambos casos, las aguas residuales de estas instalaciones desembocan directamente en la quebrada, como se observa en la (Figura 6 y 7).

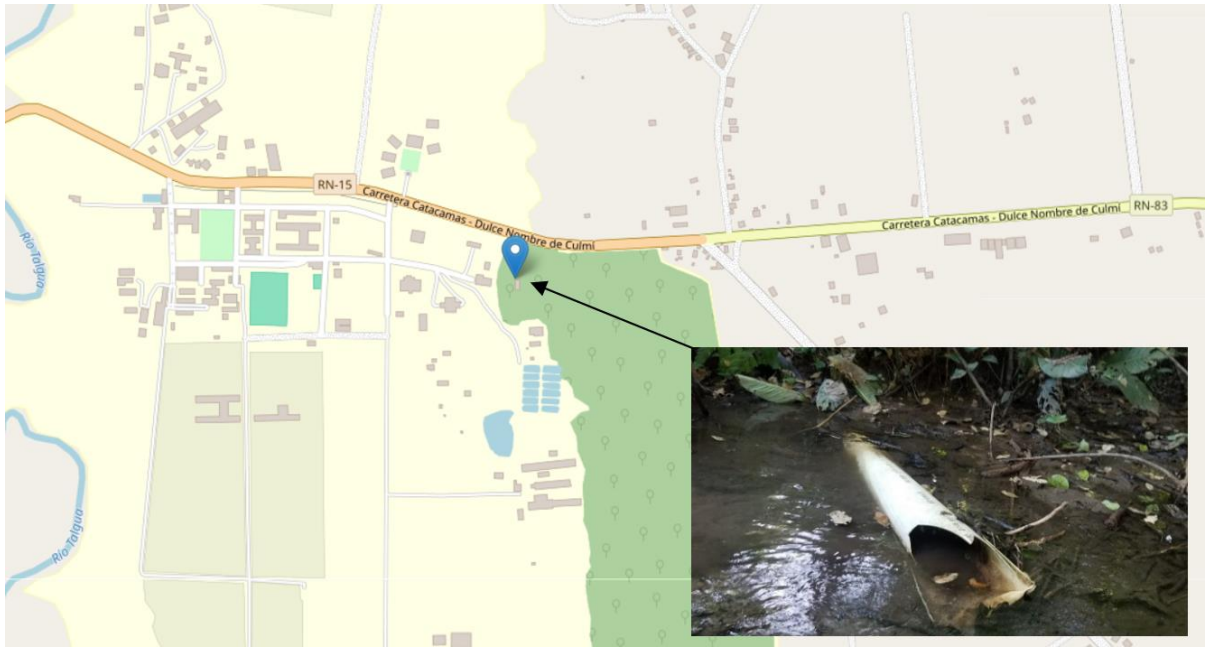


Figura 9 Vertido puntual de la planta cárnica sobre el cauce de la quebrada de la Montañita.

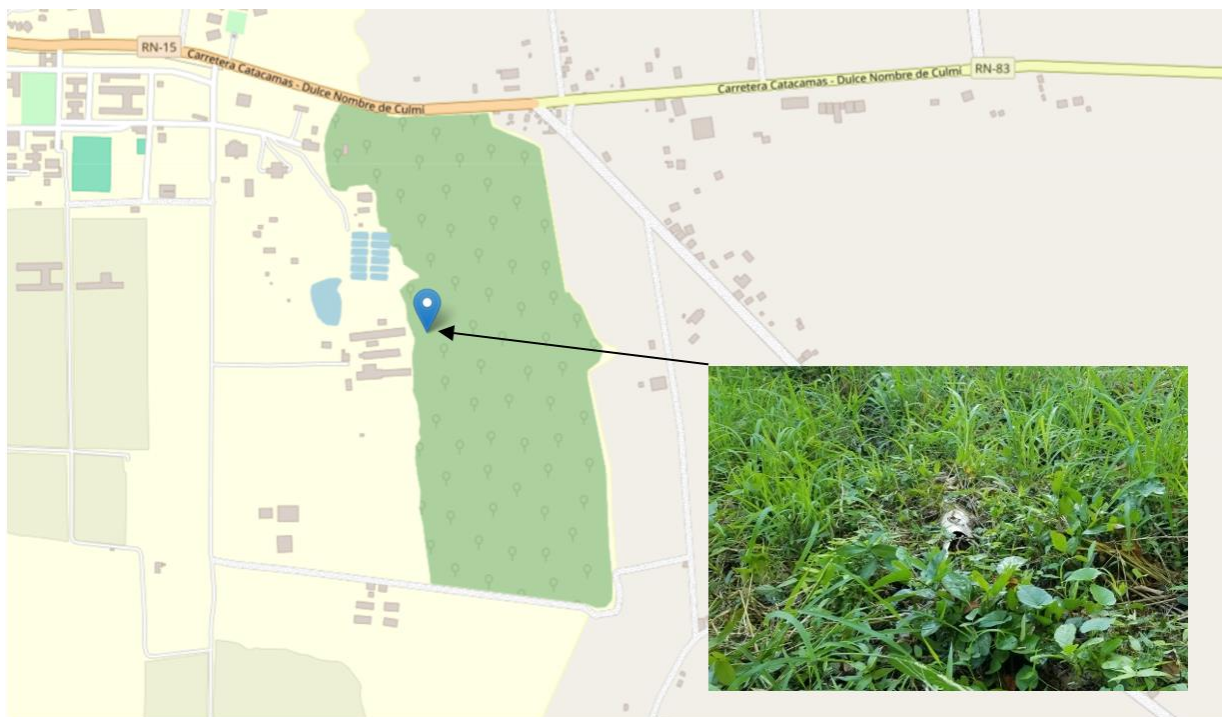


Figura 10 Vertido puntual de la planta porcina sobre el cauce de la quebrada de la Montañita.

En términos de fuentes de contaminación difusa, se identificaron dos durante la evaluación. La primera corresponde a los desechos sólidos provenientes de la carretera. La segunda fuente de contaminación difusa es el potrero ubicado a corta distancia de la quebrada. Es probable que existen más fuentes de contaminación difusa, pero se necesitaría un análisis más exhaustivo de cada lote circundante de la quebrada de La Montañita.

6.6 Conductividad Eléctrica

Se observó una mayor conductividad en los puntos donde se ubican instalaciones de producción, como la Planta Cárnica en el punto 2 y el Centro de Producción Porcino en el punto 3. En estos puntos, la conductividad osciló entre 571.6 uS/cm y 563.25 uS/cm, lo que indica una influencia de sales provenientes de las plantas. Estas instalaciones afectan directamente la corriente superficial de La Montañita, ya que sus desagües y residuos impactan en el agua de la quebrada, convirtiéndolas en fuentes de contaminación puntual.

El punto 4, conocido como El Olvido, presentó una conductividad que varió desde 561 uS/cm hasta 476.25 uS/cm, indicando una conductividad media alta. Esto se debe a la influencia del ganado de la Universidad Nacional de Agricultura, el cual cruza la quebrada para llegar a su potrero cercano. La presencia del ganado y su potrero cercano afectan el agua y la compactación del suelo en la quebrada, convirtiéndose en una fuente de contaminación difusa.

Por último, en el punto 1, la entrada de la quebrada en La Montañita, se observó una conductividad más baja que varió desde 499.25 uS/cm hasta 553.8 uS/cm. En este punto, la presencia de desechos sólidos arrojados por personas que transitan por la carretera contribuye a la contaminación difusa.

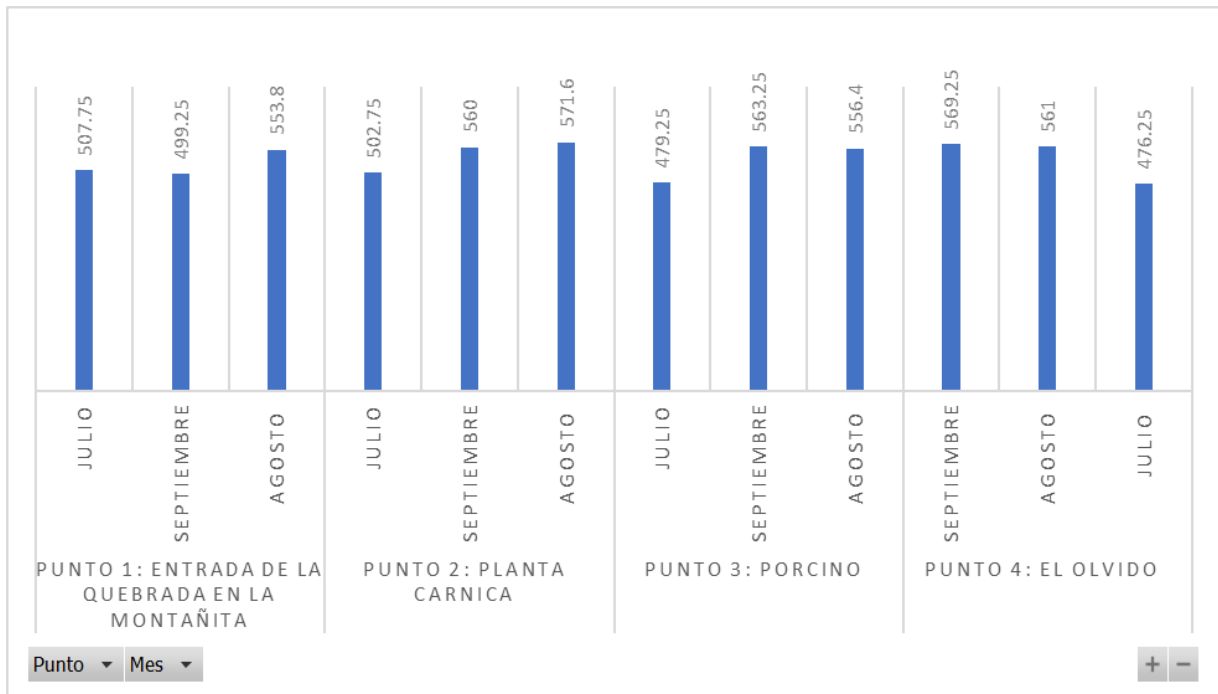


Figura 11 Conductividad eléctrica en los puntos de muestreo (us/cm).

6.7 Oxígeno Disuelto

Los valores bajos de oxígeno disuelto en el punto 2, correspondiente a la planta cárnica, indican la presencia de una fuente de contaminación. En este caso, las aguas residuales provenientes de la planta cárnica ingresan a la quebrada, incrementando su carga orgánica y reduciendo simultáneamente los niveles de oxígeno disuelto en el agua. Esta descarga de la planta cárnica se convierte así en un contaminante puntual, con altos niveles de materia orgánica que consumen el oxígeno disponible para la oxidación de la materia orgánica.

Según (Peña Pulla 2016) las aguas con concentraciones de oxígeno disueltos por encima de 4.1 mg/l son considerado de buena calidad.

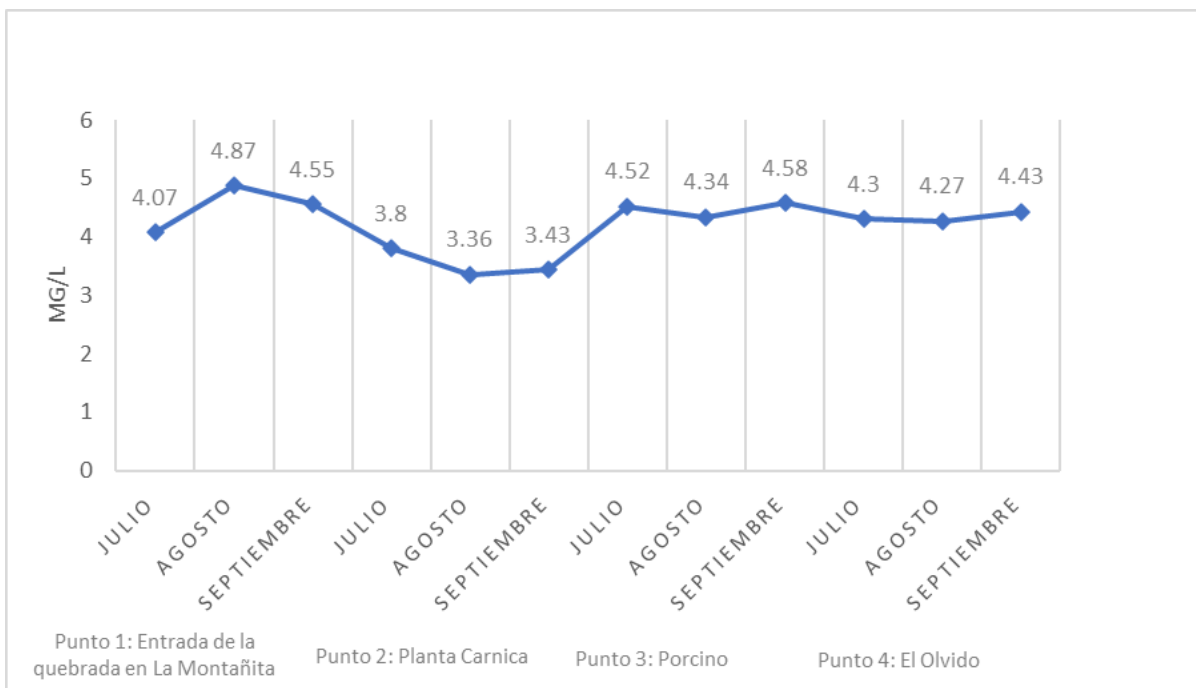


Figura 12. Oxígeno disuelto en los puntos de muestreo (mg/l).

6.8 Turbidez

En el gráfico se observa que los valores de turbidez oscilan entre 6.02 NTU y 8.75 NTU, los cuales superan el valor máximo admisible establecido en las Normas Técnicas para la Calidad del Agua Potable (Norma Técnica para la Calidad del Agua Potable 1995). La alta turbidez suele asociarse con elevados niveles de microorganismos como virus, parásitos y algunas bacterias (Folleto Informativo Turbidez 2019).

Las descargas de las plantas de procesamiento tienen un impacto significativo en la turbidez del agua. En el punto 4, conocido como El Olvido, la influencia del ganado provoca la compactación del suelo, lo que a su vez permite la entrada de sedimentos a la quebrada, aumentando así la turbidez, como se ilustra en la (Figura 13 y 14) Compactación del suelo efecto del ganado en el olvido.

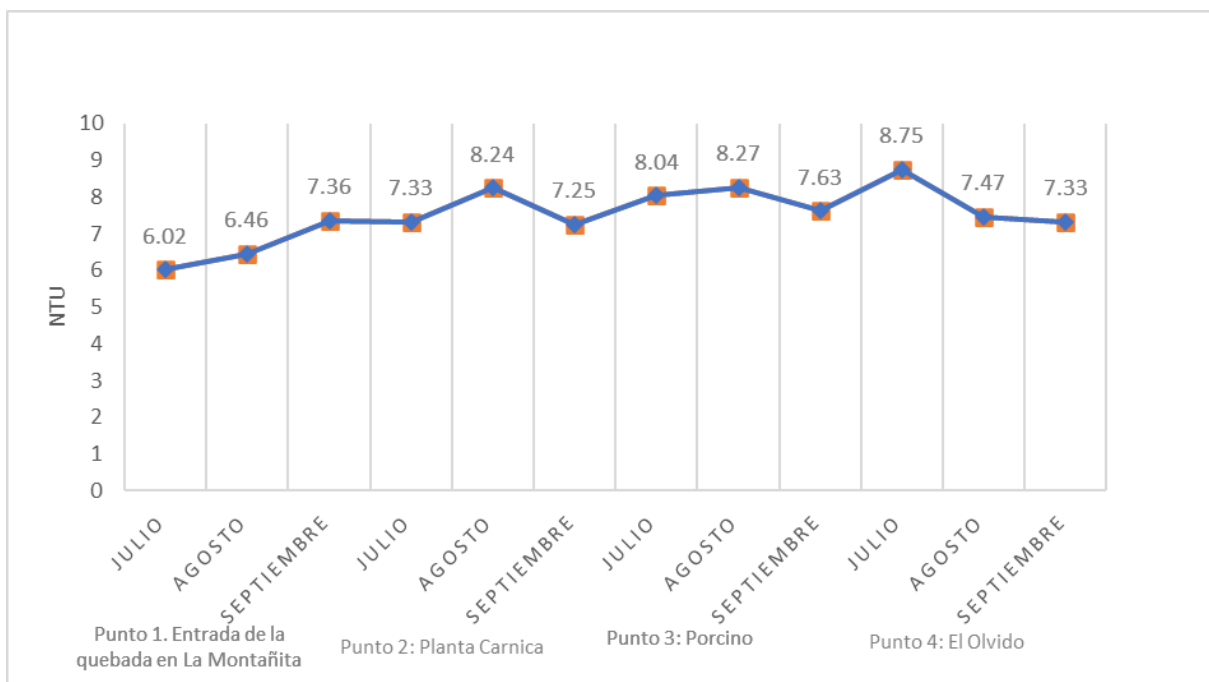


Figura 13 Turbidez obtenida en los puntos de muestreo (ntu).

6.9 pH

Se observaron valores por encima de 7 en la Figura 14, lo que indica que el agua es básica, según el (Folleto Informativo pH 2019) De acuerdo con la gráfica, se evidencia que los resultados se encuentran dentro de los rangos normales. El valor más alto, 7.95, se registró en el mes de julio en el punto 4, mientras que el valor mínimo, 7.44, se registró en el mes de agosto en el punto 1.

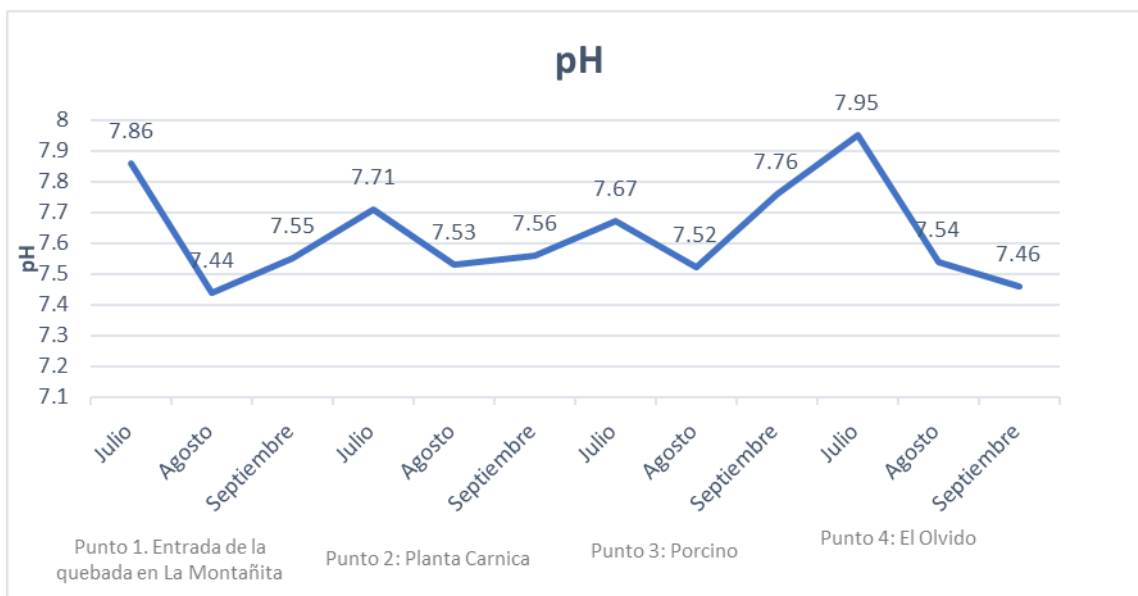


Figura 14 pH obtenido en los puntos de muestreo.

6.10 Temperatura

En los resultados de las mediciones de temperatura, se observaron rangos de entre 26 y 28 °C, siendo julio el mes con la temperatura más baja y agosto el mes con la temperatura más alta. Aunque este parámetro no cuenta con un valor establecido en las Normas Técnicas para la Calidad del Agua Potable, es fundamental debido a su influencia en el comportamiento de otros indicadores de calidad del agua, así como en el crecimiento de microorganismos.

La Organización Mundial de la Salud (OMS) indica que las temperaturas elevadas del agua pueden favorecer la proliferación de microorganismos y aumentar problemas como sabor, olor, color y corrosión. Por lo tanto, monitorear y controlar la temperatura del agua es crucial para garantizar su calidad y seguridad.

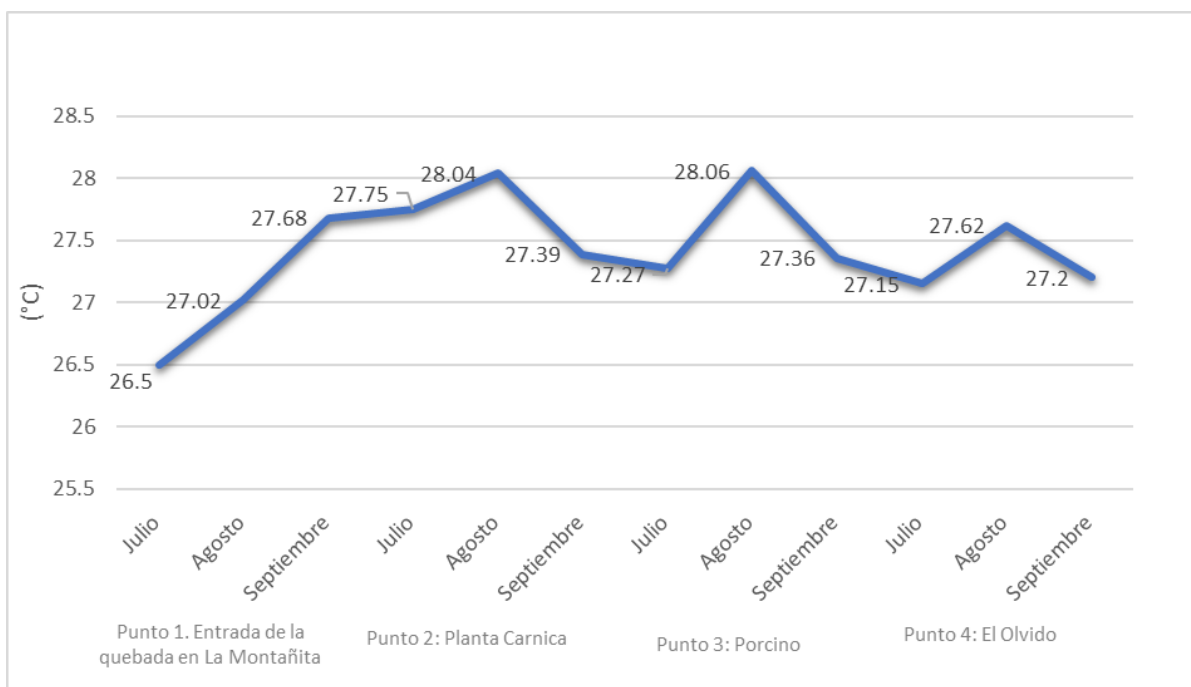


Figura 15 Temperatura medida en los puntos de muestreo (°C).

6.11 Análisis Microbiológico

Con el uso de la prueba rápida COLIKAT RAPID, se detectó la presencia de *Coliformes totales* y *Escherichia coli* en todas las muestras obtenidas de los diferentes puntos de estudio. Se consideraron positivas todas las pruebas que mostraron un color verde y que bajo luz revelaron fluorescencia, como se observa en la Figura 17 y 18. La presencia de estos microorganismos indica la existencia de suelo, sedimento u otra fuente de coliformes, según lo señalado por (Olivas-Enriquez et al. 2011) .

7. CONCLUSIONES

La caracterización del área de escurrimiento superficial de La Montañita resalta, que la quebrada que la atraviesa tiene una longitud analizada de 2,643 m y presenta características geométricas específicas que influyen en el flujo de agua superficial, destacando su pendiente promedio de 0.456% y un ancho promedio de 1.5 m.

- El análisis del balance hídrico en La Montañita durante 2022 revela una oferta hídrica comprometida debido a la estrecha relación entre precipitación y evapotranspiración, acentuada por las variaciones estacionales y el fenómeno de La Niña, con déficits de agua en la mayor parte del año y exceso de escurrimiento durante los meses húmedos. Además, el análisis espacial del caudal en 2023 indica que los puntos de mayor flujo de agua están influenciados tanto por la esorrentía externa como por la disposición topográfica del área.
- Durante la evaluación de la quebrada La Montañita, se identificaron dos fuentes de contaminación puntual en La Montañita, relacionadas con la planta cárnica y el Centro de Producción Porcino, cuyas aguas residuales desembocan directamente en la quebrada. Además, se detectaron dos fuentes de contaminación difusa, desechos sólidos de la carretera y un potrero cercano a la quebrada

8. RECOMENDACIONES

Implementar un sistema para monitorizar el caudal y la precipitación en la quebrada La Montañita, mejorando la estación meteorológica de la Universidad Nacional de Agricultura para obtener datos precisos y actualizados.

Crear y ejecutar un plan que considere la importancia ecológica de la quebrada, incluyendo estrategias para la conservación del agua y la biodiversidad, y asegurar la participación de las plantas de producción en prácticas sostenibles y tratamiento de aguas residuales.

Implementar medidas para gestionar desechos sólidos y promover prácticas agrícolas sostenibles en la carretera y los potreros cercanos, junto con campañas de concienciación para fomentar la responsabilidad ambiental en la comunidad.

9. BIBLIOGRAFÍA

Accuweather. 2023. Previsión meteorológica para Catacamas, Olancho, Honduras
AccuWeather (en línea, sitio web). Consultado 18 nov. 2023.

Baeza Sanz, D; Martinez-Capel, F; garcia de jalon, D. 2003. Variabilidad temporal de caudales: aplicación a la gestión de ríos regulados. Ingeniería del Agua 10. DOI: <https://doi.org/10.4995/ia.2003.2590>.

Basán Nickisch, M. 2008. “Aforadores de corrientes de agua”. s.l., s.e. 61 p. Consultado 23 nov. 2023.

Bateman, A. 2007. Hidrología básica y aplicada. s.l., s.e.

Bérmudez, M. 2016. Corrientes de Aguas Superficiales (en línea, sitio web). Consultado 21 nov. 2023.

Bernal Segura, AA. 2019. Identificación de los focos de contaminación de la quebrada las Delicias mediante los índices de calidad del agua y su relación con el inventario de usos y usuarios. s.l., s.e.

Bonilla Valverde, JP. 2018. Variación horaria en las mediciones de caudales en la cuenca hidrográfica Jesús María con el método del molinete de copas. Revista de Ciencias Ambientales 52(1):110-128.

Cardona, AJ. 2003. Calidad y riesgo de contaminación de las aguas superficiales en la. :195.

Delgado Díaz, C. 2005. Recursos hídricos conceptos básicos y estudios de caso en Iberoamérica. s.l., s.e.

Dyson, M; International Union for Conservation of Nature and Natural Resources. eds. 2003. Caudal: elementos esenciales de caudales ambientales. Gland, World Conservation Union. 125 p.

Escobar, Jairo. 2002. Recursos Naturales e Infraestructura - La contaminación de los ríos y sus efectos en las áreas costeras y el mar. s.l., s.e., vol.17. 1-79 p.

Espinoza, MA. 2022. Contaminación puntual (en línea, sitio web). Consultado 24 nov. 2023.

FAO. 2023. Informes Históricos de Suelos | Portal de Suelos de la FAO (en línea, sitio web). Consultado 18 nov. 2023.

_____. 2023. Suelos de Honduras (en línea, sitio web). Consultado 18 nov. 2023.

Fernández Brown Ernesto. s. f. RUTAS HIDROLÓGICAS. .

Flores-López, HE; Ramírez-Vega, H; Byerly-Murphy, KF; Ruiz-Corral, JA; Martínez-Sifuentes, JA; Díaz-Mederos, P. 2003. Estimación de escurrimiento superficial en la cuenca El Jihuite, Mexico. 21(3):389-400.

Folleto Informativo pH. (2019). s.l., California State Water Resources Control Board.

Folleto Informativo Turbidez. (2019). s.l., California State Water Resources Control Board.

Garzón, DMR. 2017. Análisis de la variación espacio-temporal de la Pluma de sedimentos del río Magdalena. .

Gonzales, M. 2014. Tipos de Aforo (en línea, sitio web). Consultado 23 nov. 2023.

Graff, P. 2016. Potencial hidrico. 4:132-145.

Hugor, V. 2017. Hidrología de los valles (en línea, sitio web). Consultado 21 nov. 2023.

Hurtado Yow, JA. 2020. Determinación de la causa raíz de la contaminación difusa y puntual de la calidad de agua en Bahí, corregimiento de Cristóbal, Distrito y Provincian de Colón, Panama. Scientia 30(2):1-28. DOI: <https://doi.org/10.48204/j.scientia.v30n2a1>.

Kurczyn, A; Kretzschmar, T; Hinojosa, A. 2007. Evaluación del escurrimiento superficial en el noreste del Valle de Guadalupe. Revista mexicana de ciencias geológicas 24:1-14.

Manrique Perez, JA. 2014. Potencial Hídrico (en línea, sitio web). Consultado 23 nov. 2023.

Martinez, J. 2017. Método del Flotador (en línea, sitio web). Consultado 23 nov. 2023.

Mauricio, SG. 2017. Ciclo hidrológico (en línea, sitio web). Consultado 21 nov. 2023.

Mota, A. 2016. Clasificación de Los Métodos de Aforo (en línea, sitio web). Consultado 23 nov. 2023.

Norma Técnica para la Calidad del Agua Potable. (1995). Honduras, Republica de Honduras Ministro de Salud. 15-17 p.

Olivas-Enriquez, E; Flores-Margez, JP; Serrano-Alamillo, M; Soto-Mejía, E; Iglesias-Olivas, J; Salazar-Sosa, E; Fortis-Hernández, M; Olivas-Enriquez, E; Flores-Margez, JP; Serrano-Alamillo, M; Soto-Mejía, E; Iglesias-Olivas, J; Salazar-Sosa, E; Fortis-Hernández, M. 2011. Indicadores fecales y patógenos en agua descargada al Río Bravo. Terra Latinoamericana 29(4):449-457.

Ortega-Gaucin, D. 2012. Hidrometría Básica Aplicada a la Operación de Distritos y Unidades de Riego. s.l., s.e. DOI: <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4047.4963>.

- Palma, M. 2022. Contaminación del agua de fuentes puntuales y difusas | Fluence (en línea, sitio web). Consultado 24 nov. 2023.
- Peña Pulla, E. (2016). Folleto Informativo Oxígeno Disuelto (OD). s.l., s.e.
- Picón, RJL; Dávila, MCG; Hernández, YG; Carrascal, FMC; Galán, SAS; Parra, JDG; Ovalle, H; Suárez, JSH; Aguirre, CLB. 2019. Metodología para la estación del caudal. .
- Pizarro-Tapia, R; Cabrera-Jofre, C; Morales-Calderón, C; Flores-Villanelo, JP. 2011. Variación temporal de las precipitaciones y caudales en la cuenca del Maipo, y la potencial influencia glaciar en la producción de agua (1963-2006). Tecnología y ciencias del agua 2(3):05-19.
- Reyes, MO. 2014. Línea base biofísica y socioeconómica de la Reserva Natural La Montañita de la Universidad Nacional de Agricultura, Catcamas, Olancho. Catcamas, Universidad Nacional de Agricultura. .
- Reyes, R. 2017. Método de aforo (en línea, sitio web). Consultado 23 nov. 2023.
- Roa G, CE. 2011. Medición de caudales con trazador de sal. s.l., s.e.
- Romero Barahona, CA. 2016. El Ciclo Hidrológico (en línea, sitio web). Consultado 21 nov. 2023.
- Salinas Marcenaro, I. 2023. La Evapotranspiración Potencial en Nicaragua. s.l., s.e.
- Simmons, CS. 1965. Manual de Suelo Según Simmons (en línea, sitio web). Consultado 18 nov. 2023.
- S.L, TN. 2024. Clima en Catcamas durante Julio de 2023 - datos climáticos históricos (en línea, sitio web). Consultado 10 jun. 2024. Disponible en <https://www.tutitempo.net/clima/07-2023/ws-787140.html>.
- Trujillo, Ú. 2021. Escorrentía superficial y acciones participativas para la gestión ambiental en la Subcuenca III de la Cuenca Sur del Lago de Managua, Nicaragua. Revista Torreón Universitario, 10(27).
- Zarza, L. 2022. ¿Qué es la contaminación difusa? Text (en línea, sitio web). Consultado 24 nov. 2023.

10. ANEXOS

Anexo 1. Medición del caudal.



Anexo 2. Análisis de calidad de Agua.



Anexo 3. Focos de Contaminación.



Desechos solidos

Porcino



Compactación del suelo por el ganado



Planta cárnica

