

**Caracterización hidrológica de la  
microcuenca de la quebrada El Carrizal,  
Parque Nacional La Tigra, Francisco  
Morazán, Honduras**

**Marcelo Goyzueta Altamirano**

**Zamorano, Honduras**

Diciembre, 2008

ZAMORANO  
CARRERA DE DESARROLLO SOCIOECONÓMICO Y AMBIENTE

**Caracterización hidrológica de la  
microcuenca de la quebrada El Carrizal,  
Parque Nacional La Tigra, Francisco  
Morazán, Honduras**

Proyecto especial presentado como requisito parcial para optar al título  
de Ingeniero en Desarrollo Socioeconómico y Ambiente con el Grado  
Académico de Licenciatura

Presentado por:

**Marcelo Goyzueta Altamirano**

**Zamorano, Honduras**

Diciembre, 2008

# **Caracterización hidrológica de la microcuenca de la quebrada El Carrizal, Parque Nacional La Tigra, Francisco Morazán, Honduras**

Presentado por:

Marcelo Goyzueta Altamirano

Aprobado por:

---

Erika Alejandra Tenorio, M.Sc.  
Asesora Principal

---

Arie Sanders, M.Sc.  
Director  
Carrera de Desarrollo  
Socioeconómico y Ambiente

---

Luis Alonso Caballero, M.Sc.  
Asesor

---

Raúl Espinal, Ph.D.  
Decano Académico

---

Kenneth L. Hoadley, D.B.A.  
Rector

## RESUMEN

Goyzueta, M. 2008. Caracterización hidrológica de la microcuenca de la quebrada El Carrizal, Parque Nacional La Tigra, Francisco Morazán, Honduras. Proyecto de graduación del programa de Ingeniería en Desarrollo Socioeconómico y Ambiente, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. Honduras.

La migración interna desde las áreas rurales ha hecho que Tegucigalpa incremente su población, lo cual también aumentó la demanda de agua y la magnitud del problema de abastecimiento en esta ciudad. Una de las principales fuentes de agua para Tegucigalpa es el Parque Nacional La Tigra, que cubre cerca del 32% de la demanda de Tegucigalpa. El objetivo de este estudio fue caracterizar el funcionamiento hidrológico de la microcuenca El Carrizal que se encuentra en el Parque Nacional La Tigra durante el periodo de lluvias del 2008. Se midieron parámetros fisicoquímicos de calidad de agua como ser pH, oxígeno disuelto, conductividad eléctrica, temperatura, salinidad y turbidez; así como hierro, manganeso, plomo, zinc, cobre y cadmio; de la misma manera se midieron nitratos y fosfatos. Se realizaron mediciones continuas de caudal mediante 5 vertederos y precipitación mediante 4 pluviómetros de balancín. La descripción física y morfológica se realizó a partir del cálculo de parámetros de forma, parámetros relieve y parámetros relativos a la red hidrográfica. La precipitación registrada durante el periodo de estudio fue 1580.6 mm, mientras el volumen de agua producido por la microcuenca fue 67.35 mm para el periodo de estudio. Se encontraron concentraciones de fosfatos, cadmio y plomo por encima de la norma de calidad de la OMS; también se encontraron fuera de norma la turbidez y el pH. Se observó incremento en la concentración de nitratos y fosfatos junto con el aumento de caudal. Morfológicamente la microcuenca es de forma oblonga, presenta una pendiente media de 42.34% y es uniforme en la distribución de área para las diferentes cotas de altura. La microcuenca de la quebrada El Carrizal se encuentra en buen estado a causa de la poca intervención. Se recomienda mantener el buen estado de esta mediante el acceso restringido, intensificar las investigaciones en este sitio por el potencial de la microcuenca como modelo para la conservación y restauración también se debe el agua que ésta produce antes de su distribución a la población.

**Palabras claves:** Cuenca, calidad de agua, descripción morfológica, procesos hidrológicos.

## CONTENIDO

Portadilla .....	ii
Página de firmas.....	iii
Resumen .....	iv
Contenido .....	v
Índice de figuras, cuadros y anexos .....	vi
Abreviaturas.....	x
Símbolos .....	xi
<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>2. REVISIÓN DE LITERATURA.....</b>	<b>4</b>
<b>3. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>15</b>
<b>4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>23</b>
<b>5. CONCLUSIONES.....</b>	<b>49</b>
<b>6. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>50</b>
<b>7. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>51</b>
<b>8. ANEXOS .....</b>	<b>53</b>

## ÍNDICE DE CUADROS, FIGURAS Y ANEXOS

Cuadro	Página
1. Situación global del abastecimiento de agua en porcentaje de población abastecida.....	2
2. Estado de abastecimiento de agua en Tegucigalpa.....	2
3. Valor del coeficiente de Gravelius.....	5
4. Descripción de las zonas de vida encontradas en la microcuenca de la quebrada El Carrizal.....	15
5. Parámetros y variables determinados para la caracterización morfológica de la microcuenca de la quebrada El Carrizal.....	16
6. Elevación de cada pluviómetro y su ubicación geográfica dentro de la microcuenca El Carrizal.....	17
7. Tipo de vertederos y área de contribución de cada uno dentro de la microcuenca El Carrizal.....	19
8. Parámetros de calidad de agua medidos con el instrumento multiparámetro Horiba®.....	21
9. Resultados de conductividad eléctrica obtenidos de las muestras analizadas durante el periodo de estudio.....	27
10. Resultados de oxígeno disuelto obtenidos de las muestras analizadas durante el periodo de estudio.....	28
11. Resultados de turbidez obtenidos de las muestras analizadas durante el periodo de estudio.....	29
12. Resultados de pH obtenidos de las muestras analizadas durante el periodo de estudio.....	30
13. Resultados de concentración de nitratos obtenidos de las muestras analizadas durante el periodo de estudio.....	31
14. Resultados de concentración de fosfatos obtenidos de las muestras analizadas durante el periodo de estudio.....	33
15. Resultados de concentración de hierro obtenidos de las muestras analizadas durante el periodo de estudio.....	35

16. Resultados de concentración de manganeso obtenidos de las muestras analizadas durante el periodo de estudio .....	37
17. Resultados de concentración de plomo obtenidos de las muestras analizadas durante el periodo de estudio .....	39
18. Resultados de concentración de cobre obtenidos de las muestras analizadas durante el periodo de estudio .....	41
19. Resultados de concentración de zinc obtenidos de las muestras analizadas durante el periodo de estudio .....	43
20. Resultados de concentración de cadmio obtenidos de las muestras analizadas durante el periodo de estudio .....	45

Figura	Página
1. Mapa de ubicación geográfica de la microcuenca de la quebrada El Carrizal .....	16
2. Mapa de ubicación de los pluviómetros instalados en la microcuenca de la quebrada El Carrizal .....	18
3. Diseño de uno de los vertederos construidos en la microcuenca de la quebrada El Carrizal. ....	18
4. Mapa de ubicación de los vertederos construidos en la microcuenca de la quebrada El Carrizal .....	20
5. Histograma de frecuencias altimétricas de la microcuenca El Carrizal. ....	23
6. Curva hipsométrica de la microcuenca El Carrizal. ....	24
7. Precipitación diaria registrada de los meses Junio y Julio en la microcuenca de la quebrada El Carrizal. ....	25
8. Caudal diario registrado en los meses de Junio y Julio en la microcuenca de la quebrada El Carrizal. ....	26
9. Interacción entre el caudal diario y la precipitación diaria registrados durante los meses de Junio y Julio en la microcuenca de la quebrada El Carrizal .....	27
10. Relación entre variación de caudal y concentración de nitratos en los puntos TGU y PTE para el periodo de estudio. ....	32
11. Relación entre variación de caudal y concentración de nitratos en los puntos MTH, JTE y NVO para el periodo de estudio. ....	32
12. Relación entre variación de caudal y concentración de fosfatos en los puntos TGU y PTE para el periodo de estudio. ....	34
13. Relación entre variación de caudal y concentración de fosfatos en los puntos MTH, JTE y NVO para el periodo de estudio. ....	34
14. Relación entre variación de caudal y concentración de hierro en los puntos TGU y PTE para el periodo de estudio. ....	36

15. Relación entre variación de caudal y concentración de hierro en los puntos MTH, JTE y NVO para el periodo de estudio. ....	36
16. Relación entre variación de caudal y concentración de manganeso en los puntos TGU y PTE para el periodo de estudio. ....	38
17. Relación entre variación de caudal y concentración de manganeso en los puntos MTH, JTE y NVO para el periodo de estudio.....	38
18. Relación entre variación de caudal y concentración de plomo en los puntos TGU y PTE para el periodo de estudio.....	40
19. Relación entre variación de caudal y concentración de plomo en los puntos MTH, JTE y NVO para el periodo de estudio. ....	40
20. Relación entre variación de caudal y concentración de cobre en los puntos TGU y PTE para el periodo de estudio.....	42
21. Relación entre variación de caudal y concentración de cobre en los puntos MTH, JTE y NVO para el periodo de estudio. ....	42
22. Relación entre variación de caudal y concentración de zinc en los puntos TGU y PTE para el periodo de estudio. ....	44
23. Relación entre variación de caudal y concentración de zinc en los puntos MTH, JTE y NVO para el periodo de estudio. ....	44
24. Relación entre variación de caudal y concentración de cadmio en los puntos TGU y PTE para el periodo de estudio.....	46
25. Relación entre variación de caudal y concentración de cadmio en los puntos MTH, JTE y NVO para el periodo de estudio. ....	46

Anexo	Página
1. Mapa de zonas de vida identificadas en la microcuenca de la quebrada El Carrizal .....	53
2. Especies arbóreas predominantes en la zona de vida bh-S en la microcuenca de la quebrada El Carrizal.....	54
3. Especies arbóreas predominantes en la zona de vida bh-MBS en la microcuenca de la quebrada El Carrizal. ....	54
4. Especies arbóreas predominantes en la zona de vida bmh-MBS en la microcuenca de la quebrada El Carrizal. ....	54
5. Gráfico de relación entre caudal y temperatura para el periodo de estudio.....	55
6. Gráfico de relación entre caudal y pH para el periodo de estudio. ....	55
7. Gráfico de relación entre caudal y conductividad eléctrica para el periodo de estudio. ....	56
9. Gráfico de relación entre caudal y oxígeno disuelto para el periodo de estudio. ....	57

10. Gráfico de correlación entre caudal y temperatura para el periodo de estudio.....57

## **ABREVIATURAS**

AMITIGRA	Fundación Amigos de La Tigra.
APHA	Asociación Americana de Salud Pública (American Public Health Association).
AWWA	Asociación Americana de Obras de Agua (American Water Works Association).
CEPIS	Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente.
EPA	Agencia de Protección Ambiental (Environmental Protection Agency).
INE	Instituto Nacional de Estadística de Honduras.
OMS	Organización Mundial de la Salud.
PNLT	Parque Nacional La Tigra.
SANAA	Servicio Autónomo Nacional de Acueductos y Alcantarillados de Honduras.
SDWA	Ley de Agua Potable (Safe Drink Water Act).
UNESCO	Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization).
USGS	Servicio Geológico de los Estados Unidos (United States Geological Survey).
WWAP	Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos (World Water Assessment Programme).

**SÍMBOLOS**

ha	Hectárea.
km	Kilómetro.
km <sup>2</sup>	Kilómetro cuadrado.
km <sup>3</sup>	Kilómetro cúbico.
hm <sup>3</sup>	hectómetro cúbico
L/s	Litros por segundo.
ml	Mililitro.
mm	Milímetros.
m.s.n.m.	Metro sobre el nivel del mar.
m <sup>2</sup>	Metro.
m <sup>3</sup> /s	Metro cúbico por segundo
mg/L	Miligramo por litro.
UNT	Unidad Nefelométrica de Turbidez (Nephelometric Turbidity Unit).
ppm	Partes por millón.
µg/L	Micro gramo por litro.
µm	Micro metros
µS/cm	Micro siemens por centímetro.

# 1. INTRODUCCIÓN

El agua es considerada como el segundo elemento indispensable para el sustento de vida, sin embargo, a pesar de que es el elemento más frecuente en el planeta solamente el 0.12% es agua apta para el consumo humano, lo que representa 39 millones de km<sup>3</sup> de los cuales 29 millones se encuentran en los casquetes polares y los otros 10 millones están distribuidos entre agua superficial y agua subterránea (CEPIS, 2004).

Históricamente la disposición de agua ha sido un factor determinante en el surgimiento y progreso de diferentes culturas y civilizaciones alrededor del mundo. Actualmente la disponibilidad de agua es un factor de bastante relevancia en la determinación de la calidad de vida y el sustento económico para todos los países del mundo. El estado de pobreza de gran parte de la población mundial es un síntoma y causa de la crisis de agua que se vive hoy en día, generalmente ocasionada por la mala gestión que se tiene sobre este recurso (WWAP, 2003).

La importancia del recurso hídrico no sólo se basa en cubrir las demandas domésticas del ser humano. Este elemento también es determinante en el sustento de otros recursos como lo son los ecosistemas y todas las formas de vida dentro de estos.

Comprender los procesos hidrológicos dentro de las diferentes zonas de vida y cómo estos interactúan con otros recursos es una herramienta que permite mejorar el planeamiento y el manejo del agua para la mejor distribución y aprovechamiento de este recurso por parte de la población. Discusión

## 1.1 JUSTIFICACIÓN

Actualmente el 48% de la población mundial vive en pueblos y ciudades, según proyecciones este porcentaje de población en centros urbanos aumentará en los siguientes años. De esta manera se seguirá cumpliendo la histórica lógica de que mayor crecimiento económico incurre en mayor urbanización, lo cual a su vez incurre en una mayor presión sobre los recursos cercanos a estos centros. El agua es un factor clave para las personas en estos centros urbanos, pues cubre necesidades domésticas y necesidades industriales que se demanda en estos espacios. El incremento poblacional y otros factores como el calentamiento global complican el normal abastecimiento de agua en estos centros urbanizados (WWAP, 2003).

La incapacidad de cubrir la creciente demanda y la presión sobre el agua, se refleja en los altos niveles de desabastecimiento de este recurso en los países en vías de desarrollo. A continuación se detalla la notable diferencia entre países desarrollados y países en vías de desarrollo.

**Cuadro 1.** Situación global del abastecimiento de agua en porcentaje de población abastecida.

<b>Año</b>	<b>1980</b>	<b>1985</b>	<b>1990</b>	<b>2000</b>	<b>2010</b>
Tercer mundo	40	48	52	61	68
Estados industriales	100	100	100	100	100
Todo el mundo	64	67	71	75	80

Fuente: CEPIS, 2004.

El desabastecimiento de agua se da principalmente porque la población mundial crece mientras que la cantidad de agua apta para el consumo humano se mantiene constante.

En Tegucigalpa, capital de Honduras se evidencia esta situación, la cual se puede catalogar como crítica en la época seca. La migración interna desde las áreas rurales hizo que Tegucigalpa incremente su población aceleradamente, lo cual también aumentó la demanda de agua y por ende la magnitud del problema de abastecimiento. La capital hondureña cuenta con alrededor de 1, 150,000 habitantes (INE, 2006) y la demanda de agua potable dentro de esta urbe no puede ser cubierta como se detalla a continuación:

**Cuadro 2.** Estado de abastecimiento de agua en Tegucigalpa.

<b>Tegucigalpa</b>	
Demanda de agua	3.2 m <sup>3</sup> /s
Oferta de agua	2.4 m <sup>3</sup> /s
Déficit de agua	1.2 m <sup>3</sup> /s

Fuente: SANAA, 2006.

El principal suministro de agua para Tegucigalpa es el Parque Nacional La Tigra, que según datos de la Fundación Amigos de La Tigra (AMITIGRA) provee cerca del 32% del agua que la capital demanda. El PNLT tiene un área aproximada de 70.2 km<sup>2</sup> y es ecológicamente considerado como bosque nublado. Dista alrededor de 20 km de la ciudad de Tegucigalpa y es administrado por AMITIGRA.

La importancia de este estudio radica en conocer la cantidad y calidad de agua que produce la microcuenca de la quebrada El Carrizal durante la época de lluvias, así como identificar las interdependencias entre procesos hidrológicos y concentraciones de contaminantes dentro de esta. La quebrada El Carrizal, objeto de estudio, es uno de los afluentes que contribuye con la dotación de agua a la ciudad de Tegucigalpa y comunidades vecinas.

El presente estudio busca brindar información necesaria para la toma de decisiones que estén encaminadas a mejorar la calidad y cantidad de agua que la microcuenca produce actualmente. De la misma manera, este estudio busca brindar el sustento y servir de herramienta para nuevas investigaciones que se puedan llevar a cabo en la microcuenca El Carrizal en específico y en el Parque Nacional La Tigra en general.

### **1.1.1 Límites del estudio**

El presente estudio se llevó a cabo en la microcuenca de la quebrada El Carrizal, en el PNLT localizado en el departamento Francisco Morazán, Honduras. Esta microcuenca tiene un área de 1,073.40 ha y está localizada entre las latitudes 1564000° N y 1568000° N y entre las longitudes 490000° O y 494000° O.

La toma de datos de producción y calidad de agua se realizó entre los meses de mayo y septiembre del 2008.

## **1.2 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN**

1. ¿Cuáles son las características biofísicas y morfológicas de la microcuenca El Carrizal?
2. ¿Qué cantidad de agua produce la microcuenca durante el periodo de lluvias del año 2008?
3. ¿Cuál es la calidad físico-química de agua que la microcuenca produce?
4. ¿Cómo es la interdependencia entre cambios hidrológicos y la solubilidad de nutrientes y metales en los afluentes dentro de la microcuenca?
5. ¿Cómo es la respuesta hidrológica de los flujos de agua ante eventos de precipitación?

## **1.3 OBJETIVOS**

Caracterizar el funcionamiento hidrológico de la microcuenca El Carrizal que se encuentra en el Parque Nacional La Tigra, Francisco Morazán, Honduras durante el periodo de lluvias del año 2008, dada su importancia como fuente de abastecimiento de agua para Tegucigalpa.

### **1.3.1 Objetivos específicos**

1. Determinar las características biofísicas y morfológicas de la microcuenca El Carrizal con relevancia en el comportamiento hidrológico.
2. Evaluar la cantidad de agua que la microcuenca El Carrizal produce mediante muestreos continuos durante la época lluviosa del 2008.
3. Evaluar la calidad de agua de la microcuenca El Carrizal mediante muestreos semanales durante la época lluviosa del 2008.
4. Determinar la interdependencia entre cambios hidrológicos y la solubilidad de nutrientes y metales en los afluentes de la microcuenca.

## **2. REVISIÓN DE LITERATURA**

### **2.1 CUENCA HIDROGRÁFICA**

Cuenca es un concepto geográfico e hidrológico, que define a la superficie de terreno limitado por las líneas de cumbre o divisoras de agua, que son los puntos más elevados del terreno, encargados de separar y dirigir el agua proveniente de la precipitación hacia uno de los segmentos que estos forman.

Las cuencas son consideradas sistemas abiertos en los que es posible estudiar los diferentes procesos hidrológicos. Los sistemas abiertos son aquellos cuyos conjuntos de elementos y alteraciones interrelacionadas intercambian energía y materia con zonas circundantes. Desde el punto de vista de su funcionamiento, la cuenca puede caracterizarse por su morfología, naturaleza de suelo y por su cobertura vegetal. (López, 1998).

La importancia de caracterizar morfológicamente una cuenca, radica en que las características morfológicas de ésta influyen de manera directa en la respuesta hidrológica que tendrá ante los diferentes eventos que se pueden llevar a cabo en la misma. La caracterización morfológica permite, por ejemplo, predecir la respuesta hidrológica de la cuenca ante un evento de precipitación.

De acuerdo a López (1998) la caracterización de la cuenca por su morfología se define por tres parámetros:

1. Parámetros de forma
2. Parámetros de relieve
3. Parámetros relativos a la red hídrica

### **2.2 DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA DE UNA CUENCA**

#### **2.2.1 Parámetros de forma**

La forma de la cuenca afecta significativamente el flujo de agua dentro de esta, cuencas pequeñas se asemejan a circunferencias y al ser éstas uniformes los escurrimientos tienen que pasar por varios cauces secundarios antes de llegar al cauce principal. En cuencas grandes, que por lo general son más alargadas y tienen menor cantidad de cauces secundarios, los escurrimientos tardan menos tiempo en llegar al cauce principal (López, 1998).

**2.2.1.1 Coeficiente de Gravelius.** Para determinar la forma de una cuenca se utiliza el coeficiente de Gravelius, que es la relación existente entre el perímetro de la cuenca y el perímetro de una circunferencia de área igual a la de la cuenca (Nania, 2003).

El coeficiente de Gravelius se calcula utilizando la siguiente relación:

$$C_s = \frac{P}{2\sqrt{\pi \times A}} \approx 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad [1]$$

Donde:  $C_s$  es el coeficiente de Gravelius.

$P$  es el perímetro de la cuenca en km.

$A$  es la superficie de la cuenca es  $\text{km}^2$ .

El valor del coeficiente del índice de Gravelius que se obtiene es siempre mayor que la unidad y crece con la irregularidad de la forma de la cuenca.

**Cuadro 3.** Valor del coeficiente de Gravelius.

Coeficiente de Gravelius	Forma
1.00 – 1.25	Redonda
1.25 – 1.50	Ovalada
1.50 – 1.75	Oblonga

Fuente: López, 1998.

**2.2.1.2 Coeficiente de forma.** Es la relación entre el ancho medio de la cuenca y la longitud del cauce principal La probabilidad que una cuenca con factor de forma bajo se inunde es menor que la probabilidad de una cuenca con factor de forma alto lo haga (Nania, 2003). La fórmula es la siguiente:

$$K_f = \frac{B}{L} = \frac{A}{L^2} \quad [2]$$

Donde:  $K_f$  es el factor de forma de la cuenca.

$B$  es el ancho medio de la cuenca en km.

$A$  es el área de la cuenca en  $\text{km}^2$ .

$L$  es la longitud del cauce principal en km.

## 2.2.2 Parámetros de relieve.

El relieve de la cuenca es un parámetro que tiene bastante incidencia en el hidrograma de la cuenca, ya que a mayor pendiente corresponderá menor duración de las concentraciones de agua en la red de drenaje, esto se debe a que el agua de escorrentía de cuencas que presentan mayor pendiente tienden a ser más rápida, generando así un mayor flujo y mayor capacidad erosiva en el suelo (López, 1998).

Hidrograma es una expresión integral de las características fisiográficas y climáticas que rigen las relaciones entre la lluvia y la escorrentía de una cuenca de drenaje particular como función del tiempo en un lugar determinado de la corriente (Chow, 1994).

**2.2.2.1 Pendiente media.** Para analizar el parámetro de relieve en una cuenca es necesario conocer la pendiente media de la microcuenca que se puede estimar con la siguiente ecuación:

$$S = \frac{DL_L}{A} \quad [3]$$

Donde: S es la pendiente media de la cuenca.

$L_L$  es la longitud total de todas las curvas a nivel dentro de la cuenca en km.

D es la equidistancia entre las curvas de nivel del mapa topográfico en km.

A es el área de la cuenca en  $\text{km}^2$ .

**2.2.2.2 Histograma de frecuencias altimétricas.** Al contar con las curvas de nivel que conforman la cuenca, es posible determinar el histograma de frecuencias altimétricas, el cual es un histograma que presenta la cantidad en porcentaje de área existente entre dos elevaciones determinadas (Nania, 2003).

**2.2.2.3 Curva hipsométrica.** Es la representación del relieve de la cuenca. Es el área de la cuenca que existe sobre una cota determinada y se realiza a partir del histograma de frecuencias altimétricas. La curva indica características fisiográficas de la cuenca, si presenta concavidad hacia arriba representa una cuenca con valles extensos y cumbres escarpadas mientras que la concavidad hacia abajo representa una cuenca con valles profundos y sabanas planas.

### 2.2.3 Parámetros relativos a la red hidrográfica

Se denomina red hidrográfica al drenaje natural, permanente o temporal, por el que fluyen las aguas de los escurrimientos superficiales de la cuenca, es decir, el cauce principal y los cauces secundarios (López, 1998).

**2.2.3.1 Densidad de drenaje.** Se define como la longitud media de los cursos de agua entre el área de la cuenca. Mientras más alta sea la densidad de drenaje, más rápida será la respuesta de la cuenca ante las tormentas, evacuando el agua proveniente de la precipitación en menor tiempo (López, 1998).

$$Dd = \frac{\sum L}{A} \quad [4]$$

Donde: Dd es la densidad de drenaje en  $\text{km}^2$ .

$\sum L$  es la sumatoria las longitudes de los cursos que forman la cuenca en km.

A es la superficie de la cuenca en  $\text{km}^2$ .

**2.2.3.2 Pendiente media del cauce.** Es el diferencial entre la altura máxima y la altura mínima que un cauce puede alcanzar entre la longitud de este cauce.

$$j = \frac{H_{max} - H_{min}}{L} \times 100 \quad [5]$$

Donde: j es la pendiente media del cauce en %.

Hmax es la altitud máxima del cauce en m.

Hmin es altitud mínima del cauce en m.

L es la longitud del cauce en m.

## 2.3 PRODUCCIÓN DE AGUA

### 2.3.1 Precipitación

En los ecosistemas forestales se pueden encontrar dos tipos de precipitaciones, precipitación incidente y precipitación neta. La precipitación incidente es aquella que cae sobre la parte superior de la vegetación, mientras que la precipitación neta es aquella que alcanza el suelo.

Es posible medir la precipitación sobre determinada área por medio de pluviómetros, que son instrumentos que registran la precipitación en determinado tiempo. Se determina el volumen de agua que cae sobre cierta área con la equivalencia existente entre un milímetro de lluvia y mil litros de agua por metro cuadrado.

Cuando se trabaja en cuencas es importante poder determinar y medir la cantidad de precipitación que cae sobre cierta área, debido a la forma irregular que por lo general las cuencas presentan. Uno de los métodos para calcular la precipitación que cae sobre determinada área es mediante polígonos de Thiessen, que consiste en dividir la cuenca de acuerdo a la ubicación de cada pluviómetro, asignando a cada uno de estos un peso relativo que está asociado a la superficie de terreno de la cuenca que cada uno de estos aparatos cubre.

### 2.3.2 Procesos hidrológicos en cuencas

El ciclo hidrológico en una cuenca donde predomina la cobertura boscosa se debe estudiar de manera diferente a cuando se está trabajando con otro tipo de uso de suelo debido a su complejidad. Esto se debe principalmente a la capacidad que tiene este tipo de cobertura para reducir el agua de escorrentía y por los dos tipos de precipitación que ocurren en ecosistemas de bosque nublado.

### 2.3.3 Caudal

Se define el caudal como la cantidad de fluido que atraviesa determinado sitio en un periodo de tiempo, se puede determinar el caudal mediante la relación entre el volumen del fluido y la unidad de tiempo o mediante la relación entre la velocidad del flujo de agua y la superficie del mismo (Van der Leeden *et al.* 1990).

La obtención de datos de caudal se puede realizar de dos formas, la primera es mediante estructuras de medición fijas y dispositivos eléctricos que midan el espejo de agua lo cual permite la obtención de datos periódicos constantes. La segunda forma es mediante aforos directos, que se realizan solamente en un momento específico.

Una de las formas de medición continua es a través de vertederos. Éstos son las estructuras de medición de caudal más simples, baratas y comunes para la medición de caudal en canales abiertos. Un vertedero es básicamente una estructura que obstruye el flujo natural de agua en un canal abierto, haciendo que ésta atraviese por el corte que el vertedero tiene. Los vertederos se clasifican por el tipo de corte o abertura que estas estructuras presentan, los más comunes son los vertederos rectangulares y los vertederos triangulares que tienen el corte en forma de “V” (Grant & Dawson, 2001).

La medición de caudal utilizando los vertederos se logra aplicando diferentes ecuaciones dependiendo del tipo de corte de cada vertedero. La variable a tomar en cuenta en cada medición es la altura del espejo de agua o cresta.

Vertedero rectangular:

$$Q = K (L - 0.2 H)H^{1.5} \quad [6]$$

Donde: Q es el caudal

H es la altura del espejo de agua en m

L es el largo del corte del vertedero en m

K es la constante que depende del tipo de unidades a utilizar

Vertedero triangular:

$$Q = K \times H^{2.5} \quad [7]$$

Donde: Q es el caudal

H es la altura del espejo de agua en m

K es la constante que depende del ángulo de abertura del vertedero

## 2.4 CALIDAD DE AGUA

Calidad de agua se refiere a las características físicas, químicas y biológicas del agua en todos sus estados. Todos los países desarrollados y no desarrollados ponen especial atención a la calidad de agua debido a las repercusiones que este puede tener sobre la salud de la población (OMS, 2006).

La calidad de agua se ve afectada por los contaminantes que pueden alterar las características naturales de este recurso. Las diferentes actividades humanas son la principal causa para el deterioro de la calidad del agua.

### 2.4.1 Temperatura

La temperatura del agua se define como la medida de energía cinética media de las moléculas de agua; la cual se mide en una escala lineal de grados Centígrados (°C) o Fahrenheit (°F) (Boyd, 2000).

Es un parámetro de calidad de agua denominado de fácil medición, sin embargo, es de suma importancia debido a su función de determinar y controlar reacciones químicas que pueden alterar la calidad del agua. Este parámetro tiene incidencia directa sobre:

1. Cantidad de oxígeno disuelto en el agua
2. Velocidad de fotosíntesis de plantas acuáticas y algas
3. Velocidad metabólica de organismos

Las variaciones de temperatura en el agua están determinadas principalmente por la intensidad de energía solar que el cuerpo de agua recibe, movimiento que se sufre el cuerpo de agua, la profundidad del cuerpo de agua, la temperatura del aire y la afluencia de agua proveniente de otro cuerpo a distinta temperatura (Van der Leeden et al, 1990).

La OMS no hace referencia de directrices sobre este parámetro, en Honduras la Secretaria de Salud Pública estableció un valor deseado de temperatura para consumo humano en una rango de 18 a 30 °C.

### 2.4.2 pH

El pH (potencial de hidrógeno) se define como el logaritmo negativo de base 10 de la actividad de iones hidrogeno en un cuerpo de agua; en condiciones naturales a una temperatura de 25 °C el pH del agua es neutro y tiene un valor de 7, en la escala graduada cuyo valor mínimo es cero y su valor máximo 14 (Pankrats, 2001). La causa de variaciones del pH en cuerpos de agua se debe principalmente a disociaciones de moléculas de agua, lo cual incrementa significativamente la cantidad de iones hidrogeno y por otro lado también se debe a la cantidad de ácidos y bases disueltas que se pueden encontrar en los cuerpos de agua.(Van der Leeden *et al.* 1990)

Al determinar la calidad de agua se realizan mediciones de pH debido a sus características reactivas, bajos valores de pH (acidez) pueden llevar a incrementar las propiedades corrosivas del agua que disolvería con mayor facilidad metales pesados como el plomo, cadmio y cromo, que ya disueltos en agua son bastantes tóxicos para la salud. Por otro lado, valores altos de pH (alcalinidad) incrementan sustancialmente la toxicidad de amoniaco. El pH afecta significativamente el tratamiento y el uso que se le pueda dar al agua (Van der Leeden *et al.* 1990). Con respecto al pH, la OMS estableció un rango recomendado de 6.5 a 8.5 para el agua que es destinada al consumo humano y que es utilizado también en Honduras.

### 2.4.3 Turbidez

La turbidez se define como la reducción de la claridad de agua ocasionada principalmente por la dispersión o absorción de la luz por parte de partículas coloidales en suspensión (Boyd, 2000). En ambientes naturales la turbidez es causada principalmente por partículas provenientes de la erosión de suelos que llegan a los cuerpos de agua por medio de escorrentía superficial luego de las precipitaciones. Otro factor que incrementa la turbidez en los cuerpos de agua es el desarrollo excesivo de fitoplancton, zooplancton y detritos (Van der Leeden *et al.* 1990).

La turbidez es considerada un parámetro de calidad de agua no sólo por el efecto negativo en la apariencia del líquido; las partículas suspendidas que ocasionan la turbidez también pueden transportar contaminantes que son nocivos para la salud. En Honduras, la Secretaria de Salud Pública estableció el valor deseado de turbidez del agua para consumo humano en 1.0 UNT, siendo el valor máximo permitido de 5.0 UNT.

### 2.4.4 Oxígeno disuelto

Se define como la cantidad de oxígeno que está disuelto en el agua; un cuerpo de agua produce y a la vez consume oxígeno, por lo general el oxígeno proviene de la atmósfera (por difusión) y del proceso fotosintético de las plantas y algas que se encuentren presentes en dicho cuerpo (EPA, 1997).

El consumo de oxígeno en un cuerpo de agua depende principalmente de la respiración de animales acuáticos, descomposición de materia orgánica y reacciones químicas que directa o indirectamente requieren oxígeno (USGS, 2007).

Es posible evidenciar cambios notorios de la concentración de oxígeno en un mismo sitio y en un periodo corto de tiempo. Por la acción fotosintética que se produce en los cuerpos de agua, durante el día hay mayor concentración de oxígeno disuelto que durante la noche; la temperatura también es un factor que afecta la concentración de oxígeno disuelto, en agua fría existe mayor concentración de oxígeno que en el agua caliente (EPA, 1997).

Animales acuáticos, así como algas y plantas en cuerpos de agua requieren oxígeno para su subsistencia y su crecimiento, el oxígeno disuelto brinda un parámetro de cuán bien el agua soporta la vida animal y vegetal (USGS, 2007).

Se expresa la cantidad de oxígeno disuelto en un cuerpo de agua ya sea utilizando partes por millón o bien el porcentaje de saturación, este último hace referencia al porcentaje de oxígeno disuelto en un litro de agua relativo al total de oxígeno que esta cantidad de agua puede contener a una determinada temperatura. La OMS no hace referencia de directrices sobre este parámetro, en Honduras la Secretaria de Salud Pública estableció un valor deseado de 8 ppm en el agua que tiene como destino el consumo humano.

### 2.4.5 Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica se define como la capacidad de una sustancia para conducir electricidad, lo cual está relacionado directamente con el contenido mineral del agua (Pankrats, 2001). Los factores que afectan los valores de conductividad eléctrica en el agua son los cambios de temperatura y la concentración de iones disueltos; ácidos inorgánicos, bases y sales disueltas incrementan la conductividad en el agua, al contrario, las sustancias orgánicas empobrecen la capacidad de conducción del agua.

Si bien la conductividad eléctrica como tal no es un parámetro importante de calidad de agua, la conductividad eléctrica específica puede ser utilizada como un indicador de los sólidos disueltos totales que son toda la materia suspendida y disuelta en el agua (Van der Leeden *et al.* 1990).

Existen varios tipos de unidades para expresar la conductividad eléctrica en el agua, sin embargo las más utilizadas son las del sistema de medición internacional: microsiemens por centímetro ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) y la unidad estandarizada de los Estados Unidos: micromhos por centímetro ( $\sigma/\text{cm}$ ) siendo ambas unidades equivalentes. La OMS no hace referencia de directrices sobre este parámetro pero en Honduras la Secretaria de Salud Pública estableció un valor deseado de 400  $\mu\text{S}/\text{cm}$  respecto al agua destinada al consumo humano.

### 2.4.6 Nitratos

Son sales o esteres derivados del ácido nítrico y están conformados por un átomo de Nitrógeno y tres átomos de Oxígeno ( $\text{NO}_3^{-2}$ ). Las mayores fuentes naturales de nitratos son: la atmósfera, legumbres, excremento animal y materia vegetal en descomposición.

En cuerpos de agua en estado natural es normal encontrar presencia de nitratos. En aguas superficiales sin contaminación se pueden encontrar concentraciones de nitrato que varían desde 1.0 ppm a 5.0 ppm; mientras que en agua subterránea se encuentra concentraciones de nitrato que llegan a los 1,000 ppm (Van der Leeden *et al.* 1990).

La cantidad de nitratos en los cuerpos de agua es incrementada por las actividades del ser humano como la construcción de sistemas de pozos sépticos, descargas de aguas residuales utilizadas en la industria, lagunas de tratamiento de agua y principalmente el uso de fertilizantes en la agricultura; debido a la alta solubilidad de los nitratos, estos llegan a los cuerpos de agua por medio de percolación y escorrentía.

El agua que contiene grandes cantidades de nitrato es de sabor amargo y puede ocasionar molestias fisiológicas en el consumidor. El agua proveniente de pozos profundos por lo general contiene más de 45 ppm de nitratos y ha sido reportado como causante de metahemoglobinemia (enfermedad que interfiere con la capacidad de la sangre de llevar oxígeno a órganos vitales) principalmente en niños pequeños (Daniels, 2005).

La OMS recomienda 50 ppm de nitratos como el valor máximo permitido en el agua destinada al consumo humano, siendo 25 ppm la cantidad deseada; Honduras se rige a esta norma de calidad de agua.

### 2.4.7 Fosfatos

Los fosfatos son minerales que están compuestos por un átomo de fósforo rodeado de cuatro átomos de oxígeno distribuidos de manera tetraédrica ( $\text{PO}_4$ ). Es posible encontrar fosfatos en estado natural en rocas fosfáticas que son aquellas conformadas por más de un mineral fosfático y también se encuentra fosfatos en el guano (desechos acumulados de aves marinas) (Boyd, 2000).

La cantidad de fosfatos en cuerpos de agua es incrementada radicalmente por actividades del ser humano como la minería, descarga de agua proveniente de plantas industriales y principalmente la agricultura; la producción agrícola de cultivos demanda grandes cantidades de fósforo, por lo general esta demanda es cubierta con fósforo proveniente del estiércol de animales y fertilizantes que concentran cantidades considerables de fosfatos que posteriormente llegan a los cuerpos de agua por medio de percolación y escorrentía.

El exceso de fósforo en el organismo ocasiona serios problemas de salud, afectando principalmente a los riñones y causando osteoporosis; los niveles de calcio en la sangre disminuyen a medida que las cantidades de fosfatos se incrementa (OMS). Pero también la falta de fosfatos en el organismo tiene efectos negativos en la salud como altos niveles de calcio y dependencia al alcohol (Essig, 2007).

La concentración de fosfatos en el agua se mide en ppm; la Secretaria de Salud Pública de Honduras estableció el valor máximo permitido de 0.01 ppm en agua destinada al consumo humano en el país.

### 2.4.8 Metales

**2.4.8.1 Hierro.** El hierro es un elemento químico cuyo símbolo es Fe, de número atómico 26, es el cuarto elemento más abundante en el planeta. Las fuentes naturales de hierro que afectan el agua en estado natural son las rocas ígneas y las rocas areniscas.

En el agua que está en estado natural se puede encontrar concentraciones de hierro inferiores a los 0.50 ppm en cuerpos de agua que son aireados constantemente, mientras que en agua subterránea la concentración de hierro puede alcanzar los 10 ppm; en muestras de agua es muy complicado que el hierro supere los 50 ppm a excepción de agua residual proveniente de plantas industriales y minería que pueden alcanzar los 6,000 ppm. (Boyd, 2001).

La mayor cantidad de hierro se precipita luego del contacto con el aire, sin embargo luego de este fenómeno aún queda hierro disuelto en el agua; concentraciones de hasta 2 ppm pueden ocasionar aumento de turbidez y cambios de coloración y sabor en el agua (Van der Leeden *et al.* 1990). La OMS estableció un máximo permitido de 3 ppm para agua destinada al consumo humano, en Honduras este valor también es el requerido.

**2.4.8.2 Manganeso.** El manganeso (Mn), es un elemento químico de número atómico 25, es considerado un metal duro y es bastante similar al hierro. En agua natural es probable

que el manganeso provenga desde el suelo por medio de percolación y por otro lado esté presente en los sedimentos que llegan a los cuerpos de agua luego de las precipitaciones.

Es normal encontrar concentraciones de manganeso de menos 0.20 ppm en agua superficial natural, sin embargo agua subterránea y agua residual proveniente de las minas presentan fácilmente concentraciones superiores a los 10 ppm.

El manganeso es un elemento esencial para el buen funcionamiento del organismo, sin embargo el exceso de manganeso puede ocasionar problemas serios de salud, afectando principalmente el sistema nervioso y el sistema respiratorio.

Concentraciones de manganeso mayores a 0.20 ppm pueden tener efectos negativos en las propiedades del agua; concentraciones superiores a la mencionada ocasionan sabores desagradables y en algunos casos es posible evidenciar un ligero cambio de coloración; alimentos cocinados con altas concentraciones de manganeso genera pequeños depósitos de estos.

En Honduras, la Secretaria de Salud Pública estableció un valor deseado de manganeso de 0.01 ppm siendo 0.5 ppm la concentración máxima permitida para el agua con destino al consumo humano.

**2.4.8.3 Plomo.** El plomo (Pb), es un elemento químico de número atómico 82, es considerado un metal pesado. En agua en estado natural, no es común encontrar concentraciones de plomo mayores a los 20 µg/L (APHA, 1985).

El aumento de concentración de plomo en el agua proviene generalmente de agua residual de actividades industriales y mineras, así como de la disolución de cañerías antiguas (APHA, 1985). La presencia de plomo en el agua ocasiona serios daños a la salud del consumidor ya que este metal se acumula en la sangre, se le atribuyen una amplia gama de efectos fisiopatológicos negativos como anemia, elevaciones de presión arterial, interferencia en el metabolismo de la vitamina D, deterioro del rendimiento cognoscitivo entre otros (AWWA, 1999).

Respecto a este metal, la OMS establece un valor máximo permitido de 0.01 ppm para agua que tiene como destino el consumo humano, la norma de agua para consumo en Honduras asume el mismo valor máximo.

**2.4.8.4 Zinc.** El Zinc cuyo número atómico es 30, es considerado como un metal en transición. En agua en estado natural el zinc se encuentra en bajas concentraciones que por lo general no pasan de los 10 partes por billón.

El zinc fue uno de los siete contaminantes retirados de la lista de 83 que son regulados por la ley federal de agua potable segura en Estados Unidos (SDWA), debido a que concentraciones de zinc en agua para consumo humano, no representan un riesgo considerable en la salud pública. Sin embargo, concentraciones de zinc superiores a 5 ppm, pueden ocasionar sabor desagradable al paladar y consumir agua con concentraciones de zinc superiores a los 40 ppm por un largo periodo de tiempo pueden

ocasionar dolor muscular, náuseas e irritabilidad; exceso de zinc en el organismo también interfiere con la absorción de otros metales como el cobre y el hierro (AWWA, 1999).

La OMS establece un valor máximo permitido de 3 ppm de zinc en el agua que tiene como destino el consumo humano, en Honduras la Secretaría de Salud Pública asume el mismo valor como el máximo permisible.

**2.4.8.5 Cobre.** El cobre un metal que se representa bajo el símbolo Cu, es un elemento químico de número atómico 29 y es un metal de transición. El cobre generalmente se encuentra en agua potable en niveles bajos que no sobrepasan los 20 µg/L. Este metal puede derivar de la erosión de las rocas y de agua residual proveniente de actividades industriales, sin embargo las mayores fuentes de abastecimiento de este elemento provienen de la corrosión de las tuberías y del cobre utilizado para el control de algas en el tratamiento que el agua recibe previamente (AWWA, 1999).

El exceso de cobre dentro del organismo es perjudicial para la salud, a este elemento se le atribuyen problemas como disturbios gastrointestinales, anemia y daños al hígado y al sistema renal (AWWA, 1999).

La OMS establece un valor máximo de concentración de cobre en el agua para consumo humano de 2 ppm, la Secretaría de Salud Pública de Honduras asume el mismo valor como máximo permisible.

**2.4.8.6 Cadmio.** El cadmio que se representa bajo el signo Cd, es un elemento químico cuyo número atómico es 48 y pertenece al grupo de los metales pesados. Se presenta proveniente de aguas residuales utilizadas en diversas aplicaciones industriales como la minería, el galvanizado y la fundición. La corrosión de tuberías galvanizadas por donde fluye el agua antes de llegar al consumidor es también considerada como una importante fuente de contaminación (AWWA, 1999).

El cadmio es uno de los metales más tóxicos que existe y tiene un efecto negativo sobre la salud cuando se encuentra en cantidades elevadas, a este elemento se le atribuyen una serie de daños como la anemia, hipertensión y difusión renal (AWWA, 1999).

La OMS establece un valor máximo permitido de concentración de cadmio en el agua destinada para consumo humano de 0.003 ppm, la Secretaría de Salud Pública en Honduras no hace referencia de directrices con respecto a este parámetro.

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

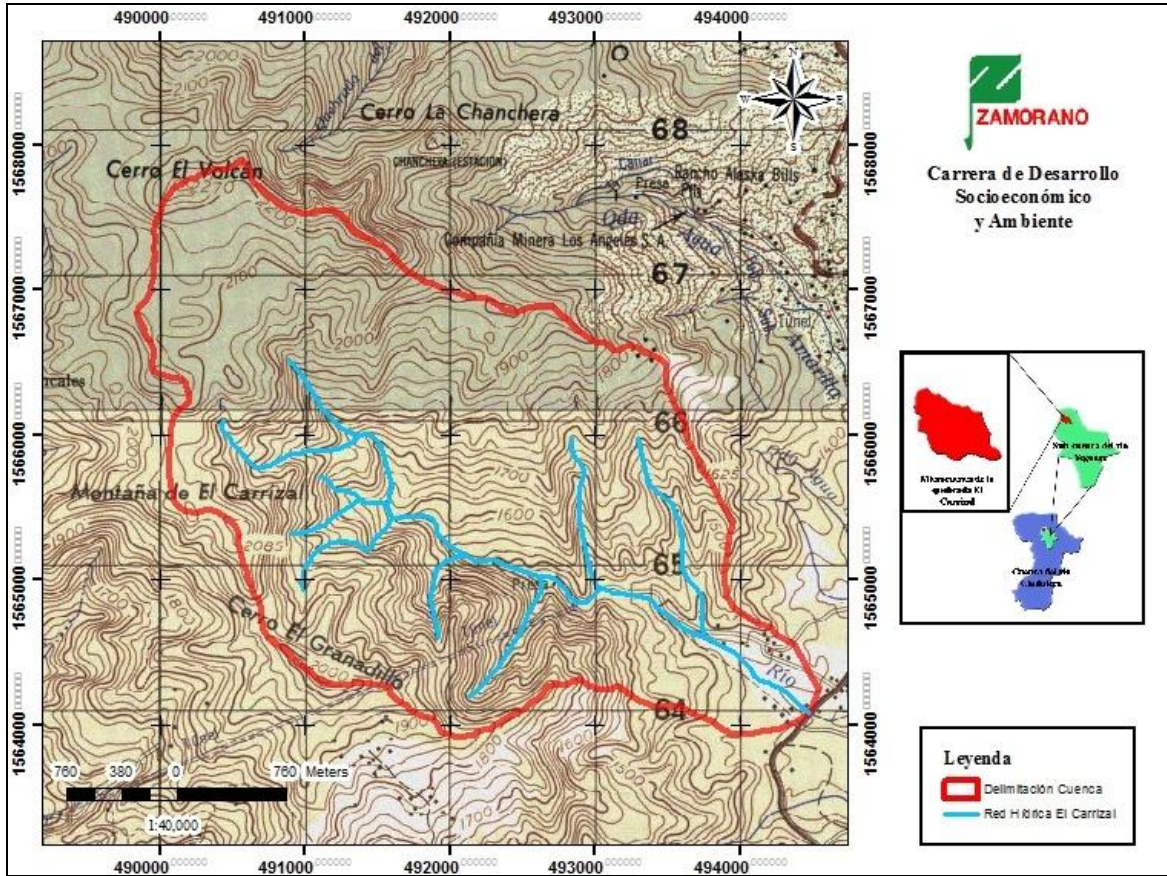
El estudio se realizó en la microcuenca de la quebrada El Carrizal que pertenece a la cuenca alta del río Choluteca. Las muestras de agua se tomaron en el cauce principal de la quebrada El Carrizal, antes y después de la obra de captación de agua de la ciudad de Tegucigalpa, y en otros afluentes cercanos: Matahambre y El Jute, así como una quebrada intermitente la cual se denominó Nuevo para fines de este estudio.

La toma de muestras se llevó a cabo entre los meses mayo y septiembre del año 2008. Los análisis de calidad de agua se llevaron a cabo *in situ*, en el laboratorio de calidad de agua de la Carrera de Desarrollo Socioeconómico y Ambiente de la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano y en el laboratorio de Agua y Suelos del Departamento de Ingeniería Biológica y Ambiental de la Universidad de Cornell.

La microcuenca El Carrizal cuenta con un área de 10, 734,000 m<sup>2</sup>, un perímetro de 14,926.7 m. Presenta una altura media de 1,682.9 m.s.n.m., la altura máxima alcanza los 2,270 m.s.n.m. y la altura mínima llega a los 1,320 m.s.n.m. En la microcuenca El Carrizal se identificaron tres zonas de vida distribuidas en el área de la misma (Cuadro 4).

**Cuadro 4.** Descripción de las zonas de vida encontradas en la microcuenca de la quebrada El Carrizal.

Zona de vida	Nomenclatura	Área (ha)	Rango de altura
Bosque húmedo subtropical	bh-S	145.79	1,300 – 1,500
Bosque húmedo montano bajo subtropical	bh-MBS	254.88	1,501 – 1,700
Bosque muy húmedo montano bajo subtropical	bmh-MBS	673.77	1,701 – 2,240



**Figura 1.** Mapa de ubicación geográfica de la microcuenca de la quebrada El Carrizal, Francisco Morazán, Honduras.

### 3.2 CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA DE LA MICROCUENCA

La caracterización morfológica de la microcuenca de la quebrada El Carrizal se realizó a partir de la determinación de ocho variables agrupadas en tres parámetros, que se detallan en el cuadro

**Cuadro 5.** Parámetros y variables determinados para la caracterización morfológica de la microcuenca de la quebrada El Carrizal.

Parámetro	Variable
Parámetro de forma	Coficiente de Gravelius Coficiente de forma
Parámetro de relieve	Pendiente media Histograma de frecuencias altimétricas Curva hipsométrica
Parámetros relativos a la red hidrográfica	Densidad de drenaje Pendiente media del cauce Tiempo de concentración

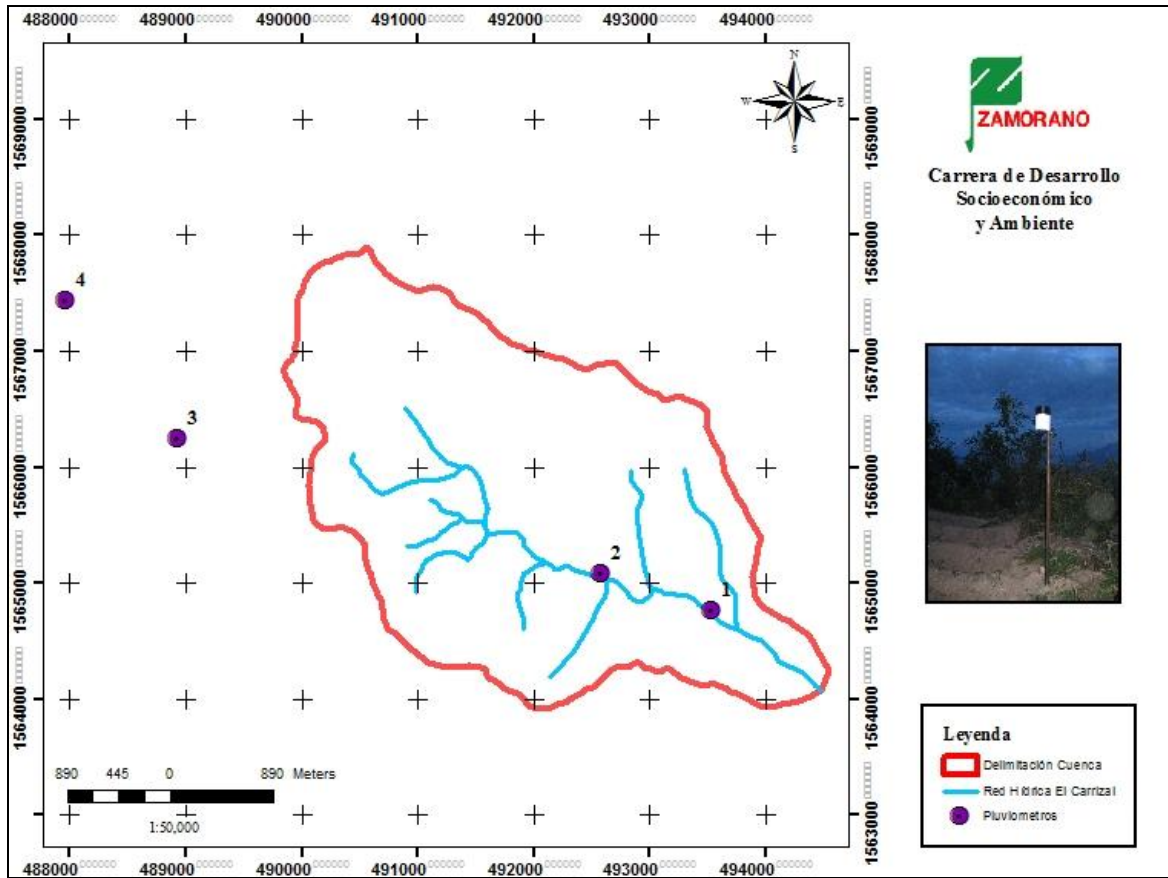
### 3.3 PRODUCCIÓN DE AGUA

#### 3.3.1 Precipitación

Para obtener el registro de precipitación que cae sobre la microcuenca se utilizó pluviómetros de registro “tipping bucket” colocados en campos abiertos con el fin de contar con registros confiables y representativos del área. Los aparatos fueron programados para tomar datos de precipitación cada minuto. En total se colocaron cuatro de estos aparatos en sitios estratégicos de la microcuenca, la cantidad de precipitación total se determinó con los datos de los pluviómetros recogidos a través del programa Hoboware Pro® para evaluar los mismos utilizando el método de la media aritmética.

**Cuadro 6.** Elevación de cada pluviómetro y su ubicación geográfica dentro de la microcuenca de la quebrada El Carrizal.

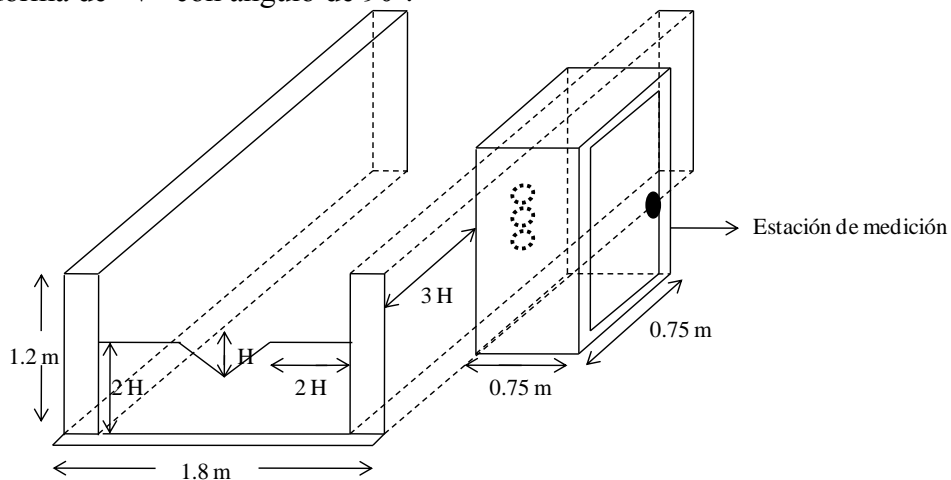
Pluviómetro	Elevación	Coordenadas UTM	
1	1350	493534	1564771
2	1500	492584	1565076
3	1840	488929	1566255
4	1900	487958	1567434



**Figura 2.** Mapa de ubicación de los pluviómetros instalados en la microcuenca de la quebrada El Carrizal.

### 3.3.2 Caudal

La medición del caudal se realizó utilizando cinco vertederos, dos rectangulares y tres en forma de “V” con ángulo de  $90^\circ$ .



**Figura 3.** Diseño de uno de los vertederos en forma de “V” construidos en la microcuenca de la quebrada El Carrizal.

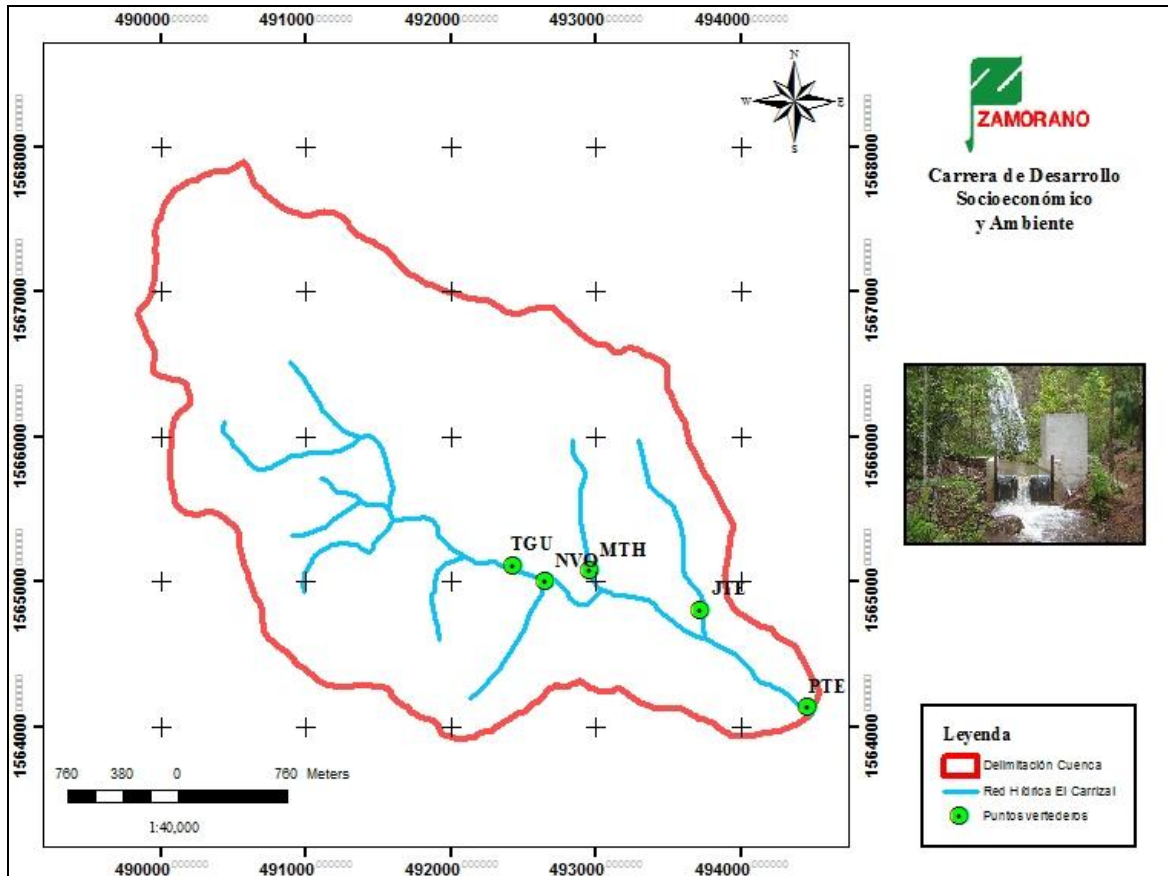
Los vertederos se construyeron en sitios representativos que cumplen con la característica que el cauce no presente una pendiente muy pronunciada y sea relativamente recto con objeto de evitar daños por el golpe del agua.

**Cuadro 7.** Tipo de vertederos y área de contribución de cada uno dentro de la microcuenca.

<b>Cauce</b>	<b>Clave vertedero</b>	<b>Tipo de vertedero</b>	<b>Área de contribución (ha)</b>
Principal (parte alta)	TGU	Rectangular	817.78
Matahambre	MTH	Tipo "V"	87.41
El Jute	JTE	Tipo "V"	97.72
Principal (salida)	PTE	Rectangular	1073.44
Cauce intermitente	NVO	Tipo "V"	70.53

Cada uno de los vertederos se equipó con un transductor de presión, éstos aparatos miden la altura del espejo de agua que se forma en cada una de estas estructuras. Los transductores de presión fueron programados para tomar los datos de altura del espejo de agua dependiendo de la variabilidad de cauce que cada uno de estos presentaba, en el caso de la parte alta de la quebrada principal se programo el transductor para que tome el dato de caudal cada cinco minutos, mientras que en la salida del mismo cauce se programó el transductor para que tome los datos diariamente. En el caso de los otros vertederos éstos se programaron para que registren el dato de altura del espejo de agua cada 10 minutos.

Los datos de altura del espejo de agua de cada uno de los vertederos fue recogido utilizando el programa Global Logger II®. Para realizar los cálculos de caudal se utilizó la Ecuación 6 en el caso de los vertederos rectangulares y la Ecuación 7 en el caso de los vertederos triangulares o en forma de "V".



**Figura 4.** Mapa de ubicación de los vertederos construidos en la microcuenca de la quebrada El Carrizal.

### 3.4 MÉTODO DE RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE MUESTRAS DE AGUA

#### 3.4.1 Recolección de muestras de agua

La recolección de muestras de agua se llevó a cabo en cinco puntos de muestreo, cada uno de éstos localizados en la parte posterior del vertedero que fue construido para evaluar el caudal que cada quebrada tiene.

Para la recolección de muestras se utilizaron dos recipientes de 500 ml. de polietileno (HDPE) marca Nalgene® en cada uno de los puntos, éstos fueron lavados previamente con agua destilada y con agua de la quebrada con el objetivo de obtener una muestra representativa y limpia. Posteriormente éstas muestras fueron filtradas *in situ* utilizando una bomba manual, un matraz cónico, membranas de acetato de celulosa de 0.45 µm de poro y otros dos recipientes de 500 ml. de polietileno por sitio.

#### 3.4.2 Análisis de calidad de agua

Se llevó a cabo análisis *in situ* utilizando el medidor multiparámetro Horiba® que pertenece al laboratorio de calidad de agua de la carrera de Desarrollo Socioeconómico y

Ambiente, los parámetros de calidad de agua que se midieron con este aparato se detallan a continuación, así como la unidad de medida que el aparato utiliza.

**Cuadro 8.** Parámetros de calidad de agua medidos con el instrumento multiparámetro Horiba®.

<b>Parámetro de calidad de agua</b>	<b>Unidad</b>
Temperatura	Grados centígrados
pH	Escala gradual de pH
Oxígeno disuelto (D.O.)	ppm o mg/L
Salinidad	% de salinidad
Turbidez	NTU
Conductividad eléctrica	μS/cm

En el laboratorio de calidad de agua de la carrera de Desarrollo Socioeconómico y Ambiente se corroboraron los parámetros de turbidez y pH por algunos desajustes que el instrumento multiparámetro presentó en los sensores que miden estos parámetros. Para esto se utilizó el turbidímetro LaMotte® y el medidor multiparámetros HACH® disponibles en el laboratorio.

Posterior a la corroboración de parámetros se dividió las muestras de agua en cuatro alíquotas de 60 ml., cada una de éstas en un recipiente de polietileno. Dos alíquotas que previamente fueron filtrados se mantuvieron a una temperatura inferior a los cero grados centígrados. A las otras dos alíquotas, que también fueron filtradas en el campo, se les agregó 0.6 ml. de ácido clorhídrico con el fin de que estos se acidifiquen a un pH menor de dos en la escala gradual de pH, éste valor de pH inhibe los procesos de oxidación que se podrían llevar a cabo en las muestras y permite que concentraciones de metales no varíen respecto a la concentración que se tenía el momento de recolección de las mismas (APHA, 1985).

Las dos muestras filtradas que fueron congeladas para su preservación, se utilizaron para medir la concentración de nutrientes presentes en estas. El análisis de concentración de nutrientes se realizó en el laboratorio de calidad de agua de la Carrera de Desarrollo Socioeconómico y Ambiente, para determinar las concentraciones de nitratos y fosfatos se utilizó la técnica de análisis colorimétrico.

Para medir las concentración de  $\text{NO}_3$  en las muestras se utilizó el colorímetro HACH®, reactivos que en este caso son el zinc como agente reductor, ácido clorhídrico, ácido sulfanílico y 1-naphthylamina. Siguiendo el procedimiento establecido en el manual del colorímetro, la muestra se torna color rosado dependiendo de la cantidad de enlaces covalentes que se forman, la intensidad de color rosado que se obtiene es medida por el colorímetro respecto a la intensidad de color de la muestra inicial la cual sirve como blanco para determinar la concentración en partes por millón de este nutriente en las muestras de agua.

Con respecto a la medición de concentración de fosfatos en las muestras se debe mencionar que el método de análisis colorimétrico solamente mide la concentración de

fósforo disuelto. Para realizar las mediciones se utilizó el colorímetro HACH® y los reactivos que se emplearon en este caso son molibdato de amonio y meta vanadato de amonio. Siguiendo el procedimiento establecido en el manual del colorímetro se obtiene un cambio en la coloración de la muestra que se torna de color azul, la intensidad de este color es medida por el colorímetro debido a que ésta es proporcional a la concentración de orto fosfatos en partes por millón que las muestras de agua presentan.

Se analizaron las concentraciones de metales en las muestras de agua utilizando para esto el ICP (Inductively Coupled Plasma) del laboratorio de agua y suelos de la universidad de Cornell. El ICP es un instrumento que tiene la función de llevar a los átomos a cierto punto de excitación para que el aparato realice una medición cuantitativa de la emisión de estos átomos excitados para determinar la concentración en partes por millón de los metales pesados presentes en la muestra. Los metales pesados que se analizaron mediante este instrumento fueron: hierro (Fe), cadmio (Cd), manganeso (Mn), fósforo (P), plomo (Pb) y cobre (Cu).

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

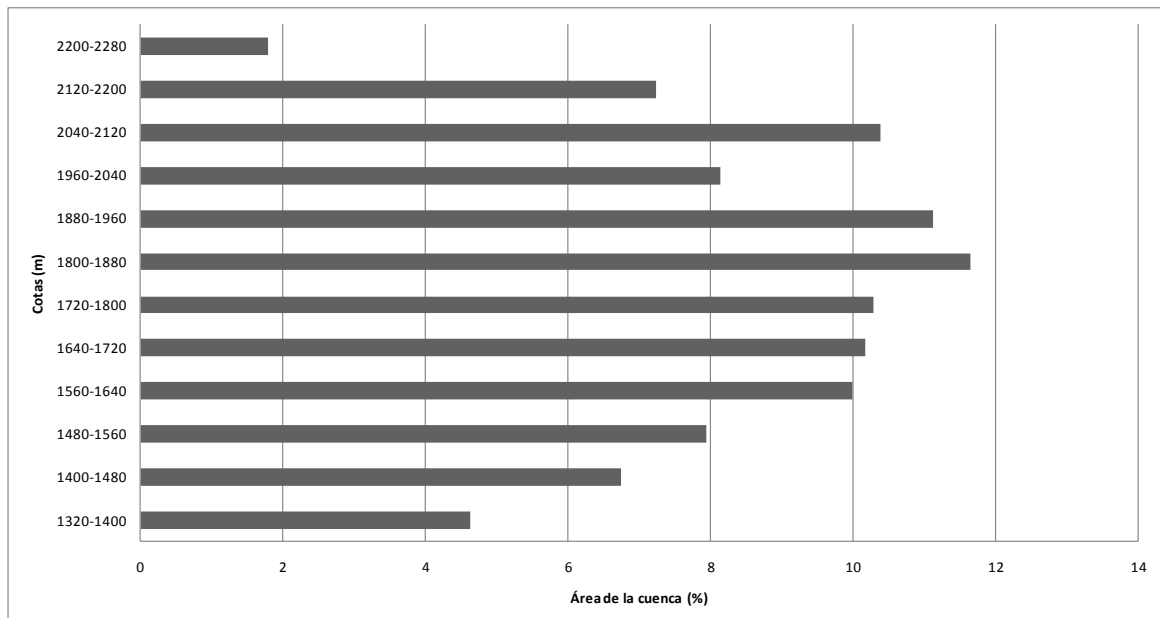
### 4.1 CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA DE LA MICROCUENCA

#### 4.1.1 Parámetros de forma

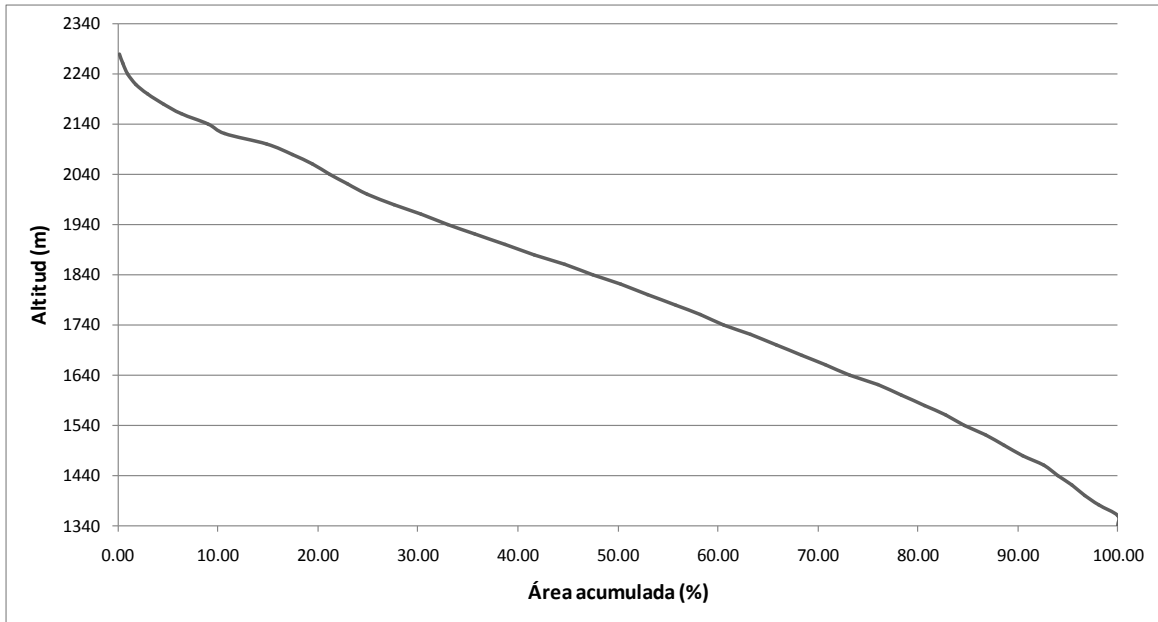
Utilizando Ecuación 1 se pudo determinar un coeficiente de Gravelius de 1.28 lo cual indica que la microcuenca tiene forma ovalada y presenta poca irregularidad. Utilizando la Ecuación 2 se determinó un coeficiente de forma de 0.33, el cual indica que la microcuenca tiene forma oblonga, es decir que es más larga que ancha y por tal motivo el agua de precipitación que cae sobre la misma drena con mayor rapidez hacia el cauce principal.

#### 4.1.3 Parámetros de relieve

La microcuenca presenta una altura máxima de 2,240 m.s.n.m. mientras que la altura mínima de la misma es de 1,340 m.s.n.m. La pendiente media de la microcuenca es de 42.34%, este valor indica que la microcuenca presenta pendientes ligeramente pronunciadas que afectan directamente la velocidad del agua de escorrentía lo cual puede ocasionar niveles de erosión significativos.



**Figura 5.** Histograma de frecuencias altimétricas de la microcuenca de la quebrada El Carrizal.



**Figura 6.** Curva hipsométrica de la microcuenca de la quebrada El Carrizal.

En porcentajes, el intervalo de altura que presenta mayor cantidad de área de la microcuenca es el de 2,010 – 2,020 m.s.n.m. (Figura 5.). Sin embargo, la diferencia entre el porcentaje de esta cota de altura con respecto al porcentaje de otras cotas no es significativo, lo cual indica que la microcuenca presenta regularidad en cuanto a distribución de área en cada cota formada por las curvas de nivel. Lo anterior también es reflejado por la concavidad de la curva (Figura 6).

#### 4.3 PARÁMETROS RELATIVOS A LA RED HIDROGRÁFICA

La microcuenca presenta una densidad de drenaje de 1.33 km. de cauce por cada kilómetro cuadrado de área, lo que indica la velocidad de la microcuenca ante eventos de precipitación, en este caso la respuesta es relativamente lenta. La pendiente media del cauce principal de la microcuenca es de 12.27% lo cual indica que este cauce no alcanza una velocidad representativa que tenga efectos significativos en los procesos erosivos de la microcuenca. El tiempo de concentración de la microcuenca es de doce minutos con cincuenta y siete segundos, lo cual nos indica el tiempo que demora una gota de agua en recorrer la distancia determinada por la parte más alta de la microcuenca y el punto de salida de la misma.

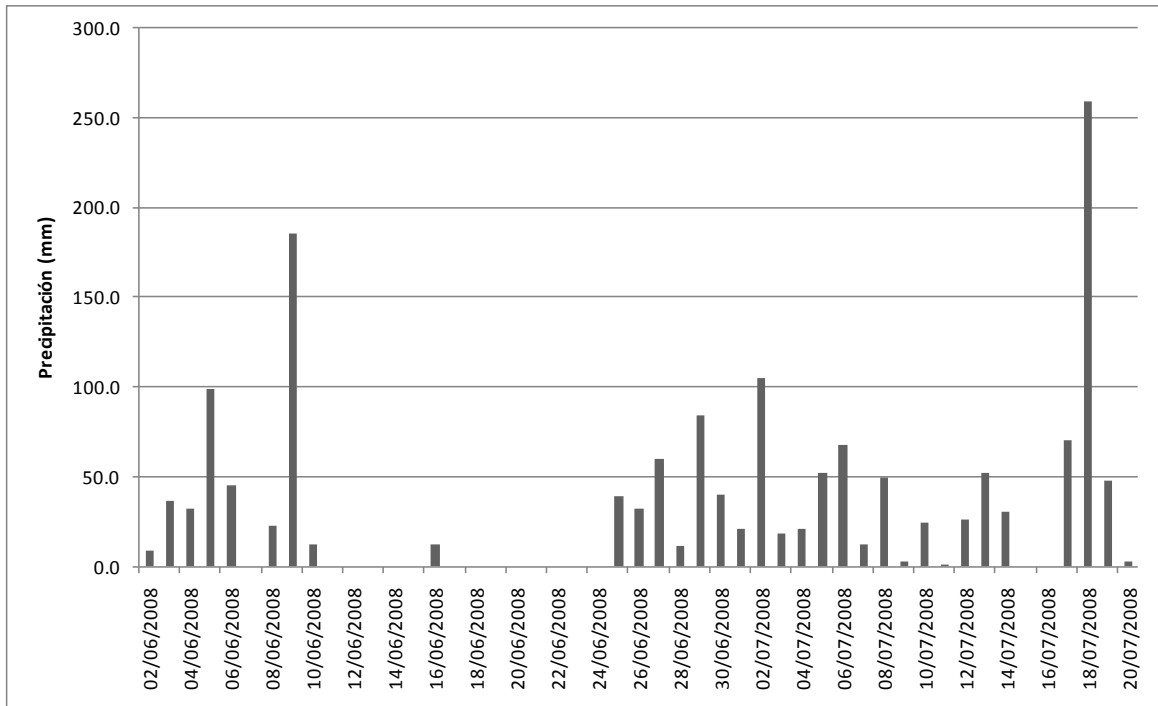
#### 4.2 PRODUCCIÓN DE AGUA

##### 4.2.1 Precipitación

La precipitación durante el periodo de estudio fue de 1,580.6 mm de lluvia, ésto representa el 85% de la precipitación promedio anual de Honduras (Bailarón, et. al. 2003). El 18 de julio fue el día que se registró la mayor precipitación con 259 mm de lluvia, el

segundo mayor evento de precipitación se registró el 2 de julio con 105 mm de lluvia. El resto de días el comportamiento de la precipitación se lo puede catalogar como uniforme para la época lluviosa pues no se registró otro pico significativo (Figura 7), el promedio diario de precipitación fue de 35.9 mm de lluvia por día.

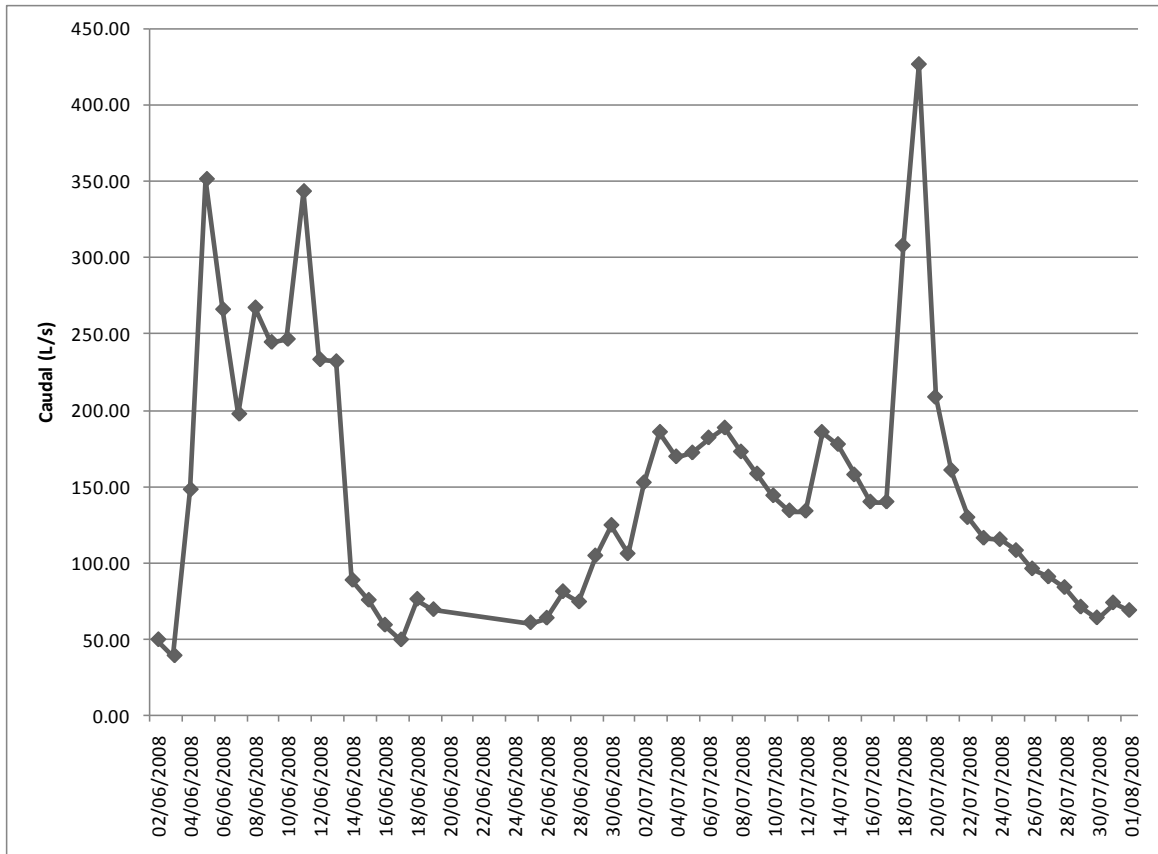
No existen estudios previos realizados ni datos de precipitación históricos en la microcuenca El Carrizal que permitan realizar comparaciones con los datos obtenidos en el presente estudio.



**Figura 7.** Precipitación diaria registrada de los meses Junio y Julio en la microcuenca de la quebrada El Carrizal.

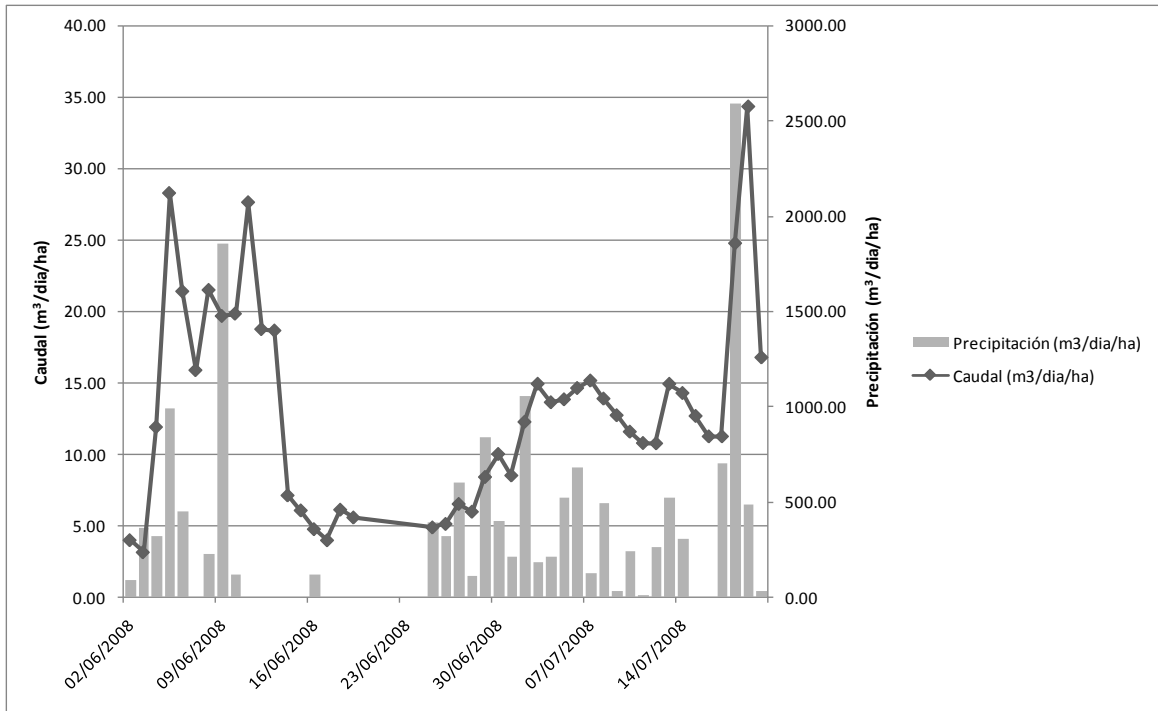
#### 4.2.2 Caudal

La microcuenca de la quebrada El Carrizal durante el periodo de estudio exportó un volumen total de agua de 0.46 hectómetros cúbicos de agua, el caudal promedio diario fue de 140 L/s. Los mayores caudales registrados fueron de los días 18, 19 y 20 de julio que responden a la alta precipitación que cayó sobre la microcuenca el día 18 de julio del mismo año. El caudal máximo fue 426.4 L/s para el día 19 de julio (Figura 8). El rendimiento de volumen de agua durante el periodo de estudio fue de 423.9 m<sup>3</sup>/ha.



**Figura 8.** Caudal diario registrado en los meses de Junio y Julio en la microcuenca de la quebrada El Carrizal.

En la Figura 9, se observa la relación directa existente entre la precipitación caída sobre la cuenca y el caudal generado por el cauce principal. Se diferencia con exactitud la respuesta del caudal frente al evento de precipitación mayor que se registró durante el periodo de estudio el 18 de julio.



**Figura 9.** Interacción entre el caudal diario y la precipitación diaria registrados durante los meses de Junio y Julio en la microcuenca de la quebrada El Carrizal.

### 4.3 CALIDAD DE AGUA

#### 4.3.1 Parámetros físicos-químicos

**4.3.1.1 Conductividad eléctrica.** Se realizó el análisis de conductividad eléctrica a 17 muestras para cada uno de los sitios de muestreo. Los resultados de los análisis no mostraron ningún valor por encima de la norma de calidad de agua para consumo humano de Honduras. El valor más alto fue de 150  $\mu\text{S}/\text{cm}$  mientras que el valor más bajo fue el de 20  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . La media de conductividad eléctrica para las muestras analizadas fue de 51.46  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

**Cuadro 9.** Resultados de conductividad eléctrica obtenidos de las muestras analizadas durante el periodo de estudio.

Fecha de muestreo	TGU	MTH	JTE	PTE	NVO
02/06/2008	40	30	140	90	
03/06/2008	50	40	140		
10/06/2008	20	40	120	80	70
14/06/2008	20	40	110	80	60
17/06/2008	20	30	130	80	70
19/06/2008	20	40	110	80	80
25/06/2008	20	150	30	80	90

Fecha de muestreo	TGU	MTH	JTE	PTE	NVO
28/06/2008	60	30	50	70	70
01/07/2008	20	30	110	50	70
05/07/2008	20	30	70	30	50
09/07/2008	20	30	60	30	40
12/07/2008	20	50	70	30	50
15/07/2008	20	20	70	30	40
21/07/2008	20	40	50	20	40
26/07/2008	20	40	50	30	40
29/07/2008	20	40	30	30	40
01/08/2008	20	20	60	30	40
No de días sobre la norma	0	0	0	0	0
% de días sobre la norma	0	0	0	0	0

\* Todos los datos de conductividad eléctrica mostrados en la tabla están dados en  $\mu\text{S/cm}$ .

**4.3.1.2 Oxígeno disuelto.** Se realizó el análisis de conductividad eléctrica a 17 muestras para cada uno de los sitios de muestreo. Los resultados de los análisis no mostraron ningún valor por encima de la norma de calidad de agua para consumo humano de Honduras. El valor más alto fue de 7.5 ppm mientras que el valor más bajo fue el de 2.7 ppm. La media de oxígeno disuelto para las muestras analizadas fue de 4.62 ppm.

**Cuadro 10.** Resultados de oxígeno disuelto obtenidos de las muestras analizadas durante el periodo de estudio.

Fecha de muestreo	TGU	MTH	JTE	PTE	NVO
02/06/2008	7.1	4.2	5.5	5.8	
03/06/2008	6.5	3.9	6.2		
10/06/2008	6.1	2.9	4.1	5.7	5.6
14/06/2008	6.6	2.7	5.4	5.4	5.4
17/06/2008	6.1	3.0	4.4	4.7	7.5
19/06/2008	5.8	2.6	5.2	5.1	4.7
25/06/2008	5.6	4.7	3.1	3.7	5.1
28/06/2008	5.6	3.1	3.4	5.1	4.4
01/07/2008	5.4	3.3	4.4	5.2	4.6
05/07/2008	5.2	3.3	4.6	5.2	4.4
09/07/2008	5.1	2.9	4.4	5.4	4.8
12/07/2008	5.0	3.3	3.8	5.2	4.6
15/07/2008	5.2	4.0	4.3	5.0	4.7
21/07/2008	4.9	4.4	3.5	5.6	4.4
26/07/2008	4.8	4.2	3.5	5.1	4.1
29/07/2008	4.6	4.1	3.7	4.2	3.7
01/08/2008	4.3	3.1	3.2	3.8	3.7
No de días sobre la norma	0	0	0	0	0

Fecha de muestreo	TGU	MTH	JTE	PTE	NVO
% de días sobre la norma	0	0	0	0	0

\* Todos los datos de oxígeno disuelto mostrados en la tabla están dados en ppm.

**4.3.1.3 Turbidez.** Se realizó el análisis de turbidez a 17 muestras de agua para cada uno de los sitios de muestreo. Los resultados de los análisis mostraron que 18 muestras se encontraron por encima de la norma de calidad de agua para consumo humano de Honduras. El valor más alto fue de 89.4 NTU mientras que el valor más bajo fue el de 0 NTU. La media de turbidez para las muestras analizadas fue de 5.95 NTU. Los datos de turbidez que exceden la norma hondureña de agua potable responden a los eventos de precipitación que se registraron durante el periodo de estudio.

**Cuadro 11.** Resultados de turbidez obtenidos de las muestras analizadas durante el periodo de estudio.

Fecha de muestreo	TGU	MTH	JTE	PTE	NVO
02/06/2008	0.27	0.21	0.09	0.13	
03/06/2008	0.40	0.31	0.16		
10/06/2008	0.02	0.11	0.01	0.05	0.06
14/06/2008	0.03	0.07	0.00	0.01	0.05
17/06/2008	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
19/06/2008	0.12	0.00	0.37	0.26	1.65
25/06/2008	<b>89.40</b>	0.00	0.43	0.00	0.33
28/06/2008	1.18	0.18	0.00	0.95	4.32
01/07/2008	1.16	0.51	0.75	2.03	<b>8.53</b>
05/07/2008	3.78	1.21	3.54	<b>6.36</b>	<b>20.10</b>
09/07/2008	3.07	2.00	4.97	<b>5.40</b>	<b>27.50</b>
12/07/2008	2.74	1.89	2.60	2.50	<b>25.40</b>
15/07/2008	1.60	1.70	0.90	1.80	<b>30.20</b>
21/07/2008	4.30	1.10	<b>23.20</b>	2.70	<b>30.10</b>
26/07/2008	3.87	2.40	<b>12.30</b>	4.50	<b>25.60</b>
29/07/2008	3.54	4.77	<b>7.18</b>	<b>6.81</b>	<b>33.40</b>
01/08/2008	4.10	4.13	<b>6.56</b>	<b>7.70</b>	<b>36.20</b>
No de días sobre la norma	1	0	4	4	9
% de días sobre la norma	5.88	0	23.52	25	60

\* Todos los datos de turbidez presentados en la tabla están dados en NTU.

\*\* Los datos resaltados son de aquellos días que la muestra sobrepasó la norma hondureña.

**4.3.1.4 pH.** Se realizó el análisis de pH a 17 muestras de agua para cada uno de los sitios de muestreo. Los resultados de los análisis mostraron que 60 muestras se encontraron por encima de la norma de calidad de agua para consumo humano de Honduras. El valor más alto fue de 8.10 mientras que el valor más bajo fue el de 5.27. La media de pH para las muestras analizadas fue de 5.27.

Los resultados obtenidos que se encuentran fuera de norma indican acidez que se presenta en los cauces de la microcuenca, esto posiblemente se deba al tipo de cobertura de la microcuenca donde predomina el pino, especie que ocasiona acidez en el suelo. Otra posible causa de esta acidez es el tipo de roca que se encuentra en la microcuenca.

**Cuadro 12.** Resultados de pH obtenidos de las muestras analizadas durante el periodo de estudio.

Fecha de muestreo	TGU	MTH	JTE	PTE	NVO
02/06/2008	6.90	7.40	7.70	7.60	
03/06/2008	<b>6.30</b>	<b>6.10</b>	7.30		
10/06/2008	<b>5.70</b>	<b>6.30</b>	7.80	8.10	8.10
14/06/2008	6.78	<b>6.08</b>	<b>6.44</b>	6.59	6.79
17/06/2008	<b>6.38</b>	<b>6.32</b>	<b>6.08</b>	<b>6.31</b>	<b>6.37</b>
19/06/2008	6.88	<b>6.02</b>	<b>6.48</b>	6.64	7.24
25/06/2008	7.13	7.31	<b>6.13</b>	6.86	7.18
28/06/2008	<b>5.77</b>	<b>5.92</b>	<b>5.27</b>	<b>5.43</b>	<b>5.95</b>
01/07/2008	<b>6.04</b>	<b>5.73</b>	<b>5.50</b>	<b>5.63</b>	<b>5.71</b>
05/07/2008	<b>6.20</b>	<b>6.08</b>	<b>5.87</b>	<b>6.14</b>	<b>6.11</b>
09/07/2008	<b>6.17</b>	<b>5.96</b>	<b>5.93</b>	<b>6.16</b>	<b>5.93</b>
12/07/2008	<b>6.12</b>	<b>5.67</b>	<b>5.78</b>	<b>6.08</b>	<b>5.85</b>
15/07/2008	6.85	7.05	6.54	7.60	<b>6.32</b>
21/07/2008	<b>6.45</b>	<b>6.04</b>	<b>5.75</b>	<b>6.23</b>	<b>5.99</b>
26/07/2008	<b>6.15</b>	<b>5.87</b>	<b>5.71</b>	<b>6.13</b>	<b>5.78</b>
29/07/2008	<b>5.68</b>	<b>5.62</b>	<b>5.47</b>	<b>6.18</b>	<b>5.60</b>
01/08/2008	<b>5.71</b>	<b>5.96</b>	<b>6.01</b>	<b>5.76</b>	<b>5.76</b>
No de días sobre la norma	12	14	13	10	11
% de días sobre la norma	70.58	82.35	76.47	62.50	73.33

\* Todos los datos de pH presentados en la tabla están dados en la escala gradual de pH.

\*\* Los datos resaltados son de aquellos días que la muestra sobrepasó la norma hondureña.

## 4.3.2 Nutrientes

**4.3.2.1 Nitratos.** Se realizó el análisis de concentración de nitratos a ocho muestras de agua para cada uno de los sitios de muestreo. Los resultados de los análisis mostraron que ninguna de las muestras se encontró por encima de la norma de calidad de agua para consumo humano de Honduras. El valor más alto fue de 0.16 ppm y el valor más bajo fue el de 0.00 ppm. La media de concentración de nitratos para las muestras analizadas fue de 0.03 ppm.

En ninguno de los casos los resultados sobrepasan la norma establecida por el SANAA, lo cual nos indica que en la microcuenca no existen actividades, como la agrícola, que estén afectando los cuerpos de agua. Las bajas concentraciones de nitratos obtenidas es posible que se deban solamente a la descomposición de la materia orgánica del suelo.

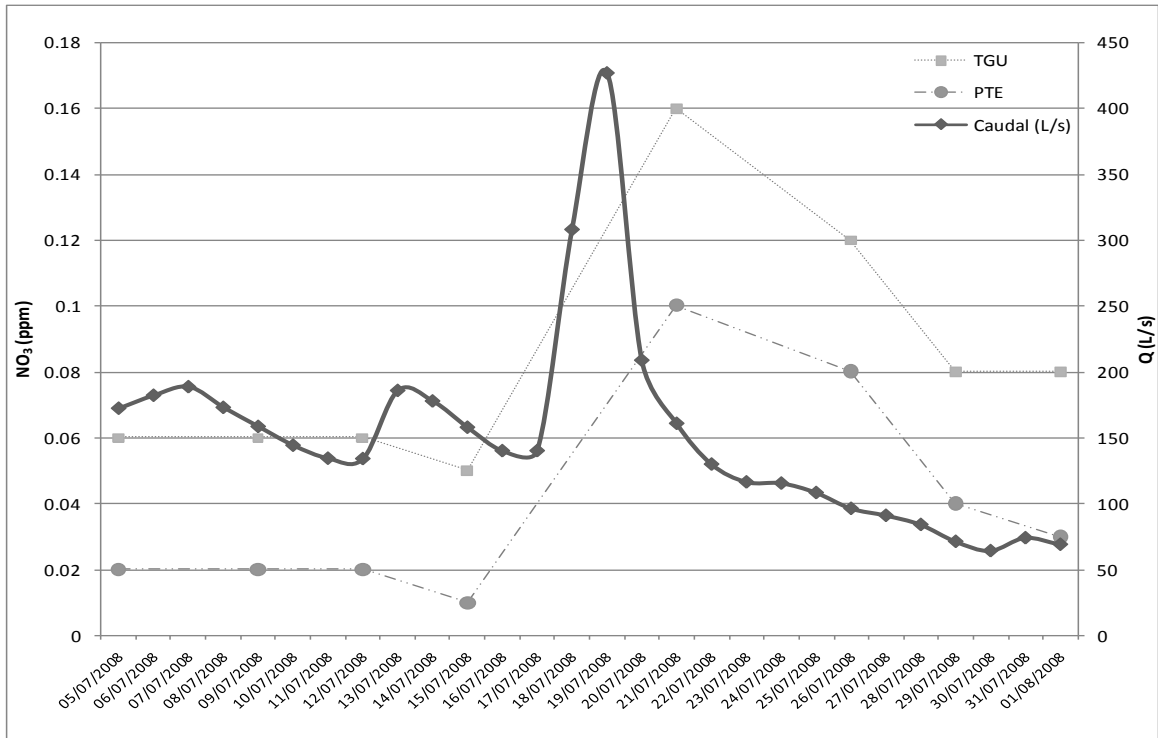
**Cuadro 13.** Resultados de concentración de nitratos obtenidos de las muestras analizadas durante el periodo de estudio.

Fecha de muestreo	TGU	MTH	JTE	PTE	NVO
05/07/2008	0.06	0.01	0.03	0.02	0.01
09/07/2008	0.06	0.01	0.01	0.02	0.02
12/07/2008	0.06	0.01	0.01	0.02	0.01
15/07/2008	0.05	0.00	0.02	0.01	0.00
21/07/2008	0.16	0.04	0.01	0.10	0.05
26/07/2008	0.12	0.04	0.03	0.08	0.03
29/07/2008	0.08	0.03	0.03	0.04	0.01
01/08/2008	0.08	0.01	0.01	0.03	0.01
No de días sobre la norma	0	0	0	0	0
% de días sobre la norma	0	0	0	0	0

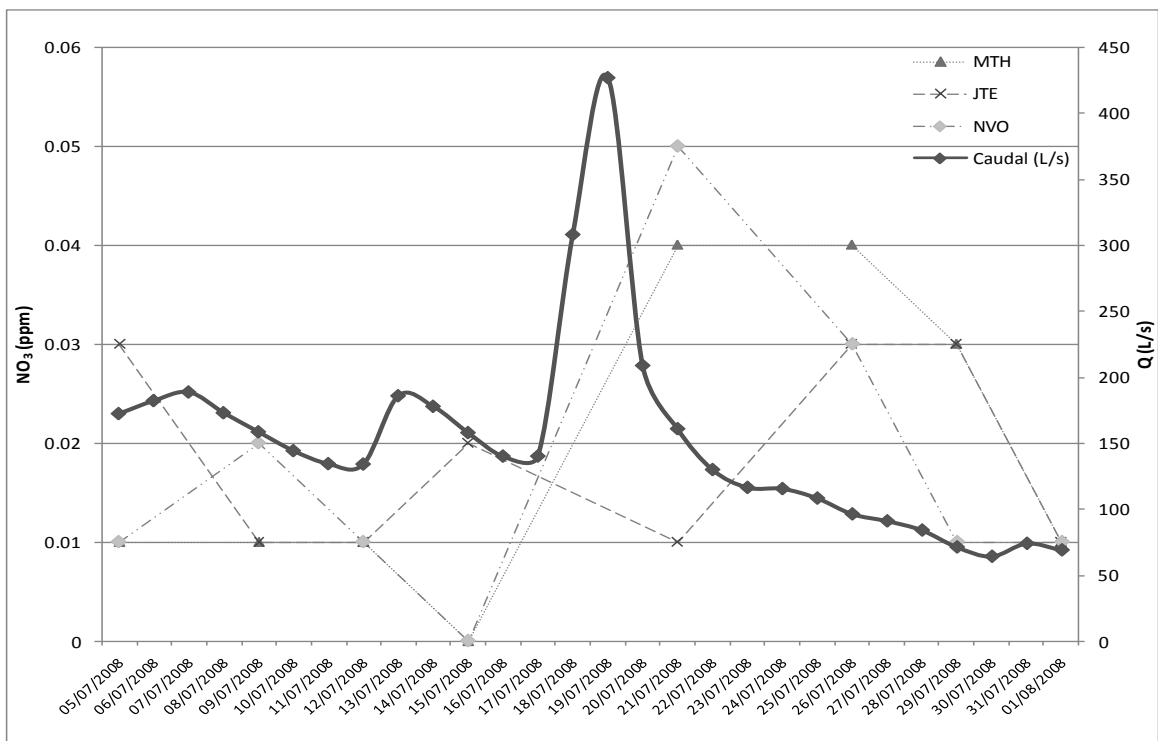
\* Todos los datos de concentración de nitratos presentados en la tabla están dados en ppm.

Se aprecia una leve interdependencia entre la variabilidad de caudal y la concentración de nitratos en la Figura 10. La concentración de este nutriente responde a los cambios registrados en el caudal de la microcuenca para los puntos tomados en cuenta en esta figura.

En la Figura 11 se aprecia interdependencia entre variabilidad de caudal y la concentración de nitratos para los puntos que están comprendidos en esa figura. Sin embargo la respuesta de concentración en estos puntos de muestreo no es tan significativa como en los otros dos puntos de muestreo presentados en la Figura 10.



**Figura 10.** Relación entre variación de caudal y concentración de nitratos en los puntos TGU y PTE para el periodo de estudio.



**Figura 11.** Relación entre variación de caudal y concentración de nitratos en los puntos MTH, JTE y NVO para el periodo de estudio.

**4.3.2.2 Fosfatos.** Se analizó la concentración de fosfatos a ocho muestras de agua para cada uno de los sitios de muestreo. Los resultados de los análisis indican que todas las muestras se encontraron por encima de la norma de calidad de agua para consumo humano de Honduras. El valor más alto obtenido fue de 3.12 ppm mientras que el valor más bajo estuvo por debajo del límite de detección. La media de concentración de fosfatos para las muestras analizadas fue de 0.91 ppm.

Las concentraciones de fosfatos encontradas en el agua de la microcuenca están fuera de la norma establecida por la OMS, se descarta que la razón de estas concentraciones de fosfatos sea por intervención en la microcuenca, ya que no existen parcelas productivas que utilicen fertilizantes, ni asentamientos humanos que generen contaminación a partir del uso de jabón y detergentes. Es posible que las concentraciones elevadas de fosfatos se deban al tipo de roca existente en la microcuenca.

**Cuadro 14.** Resultados de concentración de fosfatos obtenidos de las muestras analizadas durante el periodo de estudio.

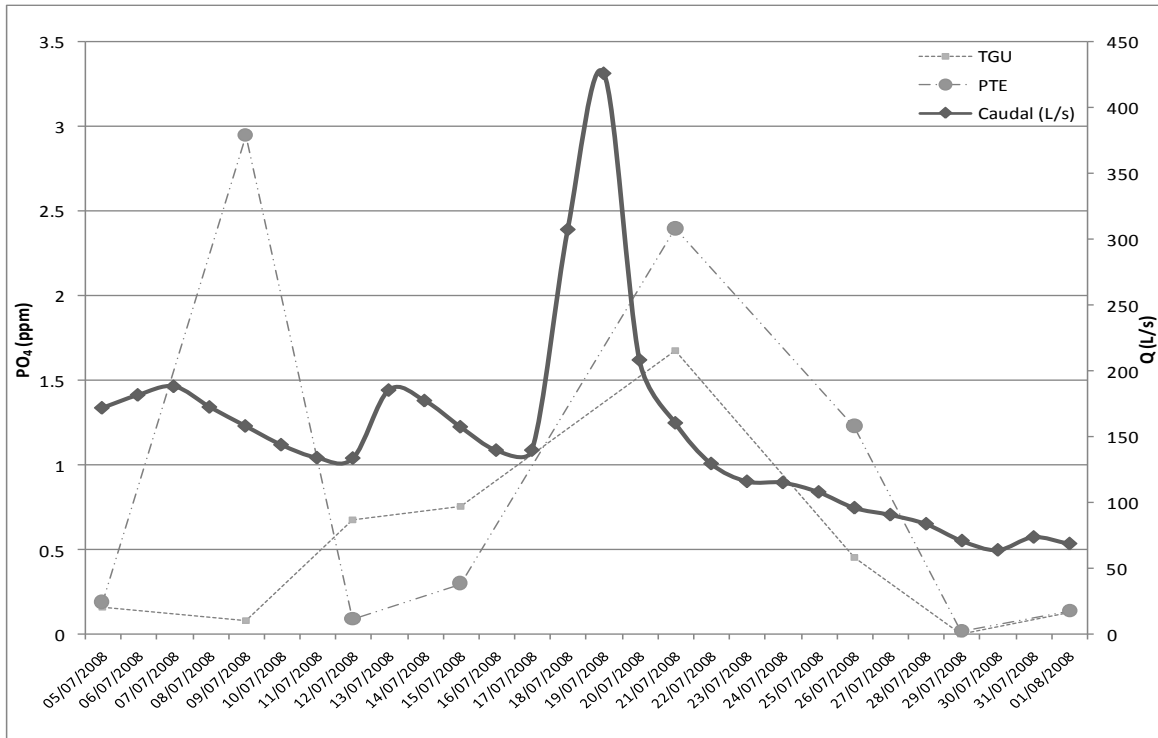
Fecha de muestreo	TGU	MTH	JTE	PTE	NVO
05/07/2008	<b>0.16</b>	<b>0.36</b>	<b>0.06</b>	<b>0.19</b>	<b>0.14</b>
09/07/2008	<b>0.08</b>	<b>3.12</b>	<b>0.08</b>	<b>2.95</b>	<b>2.87</b>
12/07/2008	<b>0.68</b>	<b>0.44</b>	<b>0.12</b>	<b>0.09</b>	<b>0.42</b>
15/07/2008	<b>0.76</b>	<b>3.06</b>	<b>3.12</b>	<b>0.30</b>	<b>0.78</b>
21/07/2008	<b>1.68</b>	<b>2.91</b>	<b>2.08</b>	<b>2.40</b>	<b>2.43</b>
26/07/2008	<b>0.45</b>	<b>1.30</b>	<b>0.14</b>	<b>1.23</b>	<b>1.12</b>
29/07/2008	0.00	0.00	<b>0.09</b>	<b>0.02</b>	<b>0.15</b>
01/08/2008	<b>0.13</b>	<b>0.11</b>	<b>0.04</b>	<b>0.14</b>	<b>0.20</b>
No de días sobre la norma	7	7	8	8	8
% de días sobre la norma	87.5	87.5	100	100	100

\* Todos los datos de concentración de fosfatos presentados en la tabla están dados en ppm.

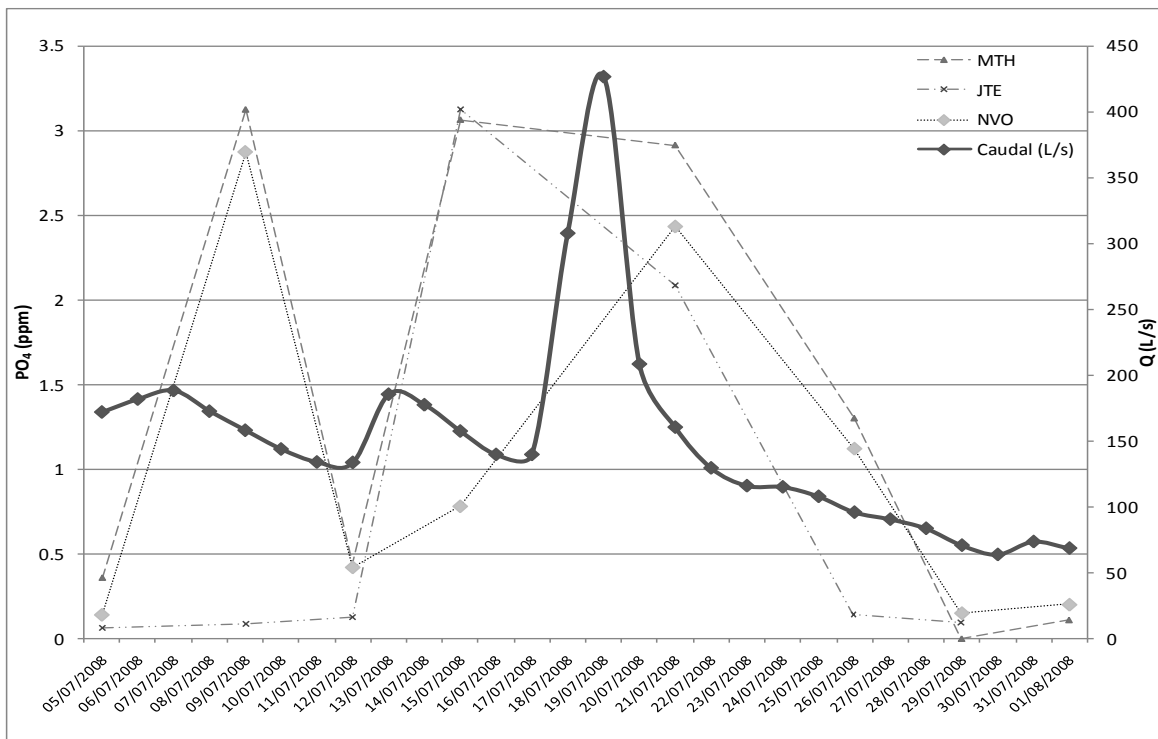
\*\* Los datos resaltados son de aquellos días que la muestra sobrepasó la norma hondureña.

La interdependencia de cambios en el caudal y la solubilidad de fosfatos en el agua no es tan marcada como en el caso de los nitratos, sin embargo es posible apreciar una leve relación para los puntos TGU y PTE en la Figura 12.

Esta relación entre la variabilidad del caudal y la solubilidad de fosfatos es más visible en la Figura 13, en la que se representa los puntos NVO, JTE y MTH, aunque al igual que en el caso anterior la relación no es tan marcada como en el caso de los nitratos.



**Figura 12.** Relación entre variación de caudal y concentración de fosfatos en los puntos TGU y PTE para el periodo de estudio.



**Figura 13.** Relación entre variación de caudal y concentración de fosfatos en los puntos MTH, JTE y NVO para el periodo de estudio.

### 4.3.3 Metales pesados

**4.3.3.1 Hierro.** A seis muestras de agua por cada uno de los sitios de muestreo, se realizó el análisis de concentración de hierro. Los resultados de los análisis mostraron que ninguna de las muestras se encontró por encima de la norma de calidad de agua para consumo humano de Honduras. El valor máximo alcanzado por las muestras fue de 0.133 ppm y el valor mínimo se encontró por debajo del nivel de detección. La media de concentración de hierro para las muestras analizadas fue de 0.03 ppm.

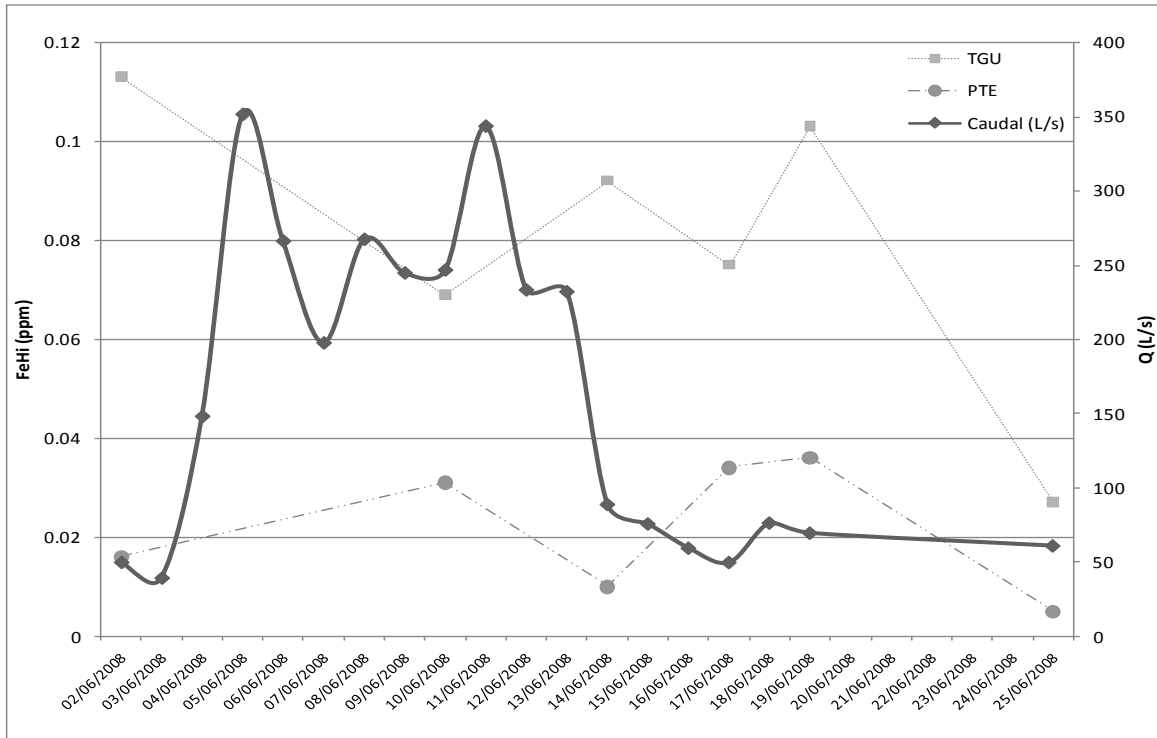
Las concentraciones de hierro obtenidas en el presente estudio posiblemente se deban al tipo de roca que se encuentra en la microcuenca, sin embargo estas concentraciones no llegan a ser significativas.

**Cuadro 15.** Resultados de concentración de hierro obtenidos de las muestras analizadas durante el periodo de estudio.

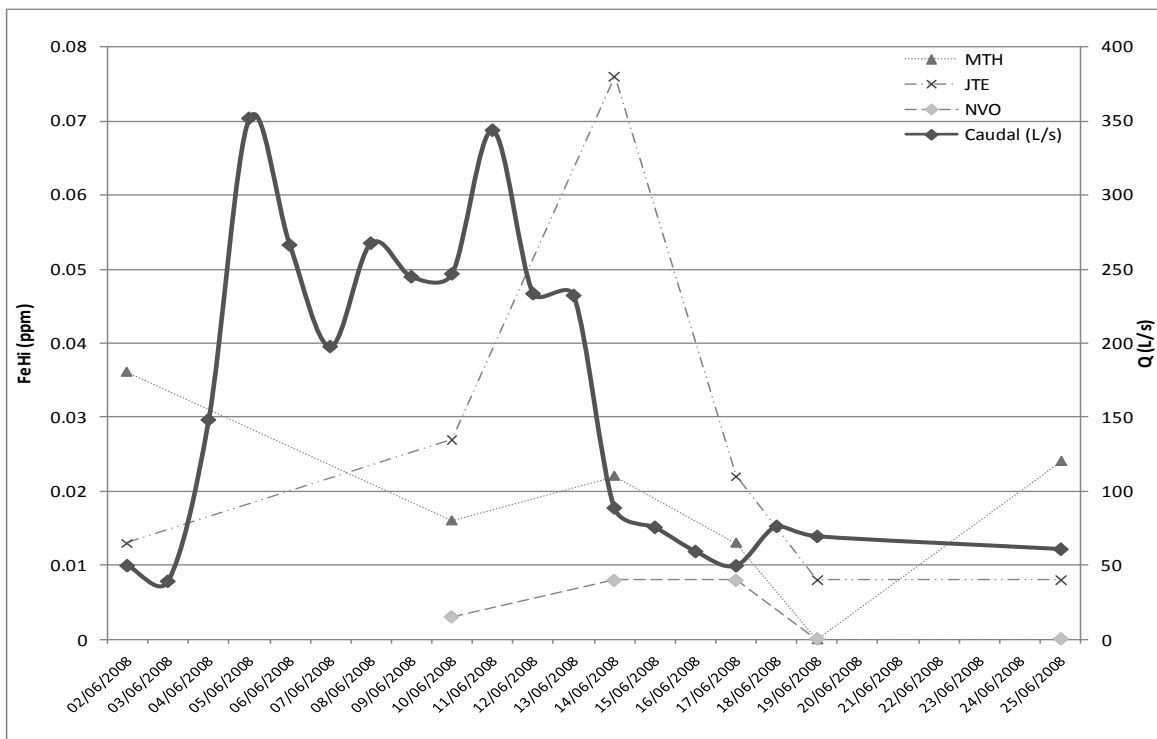
Fecha de muestreo	TGU	MTH	JTE	PTE	NVO
02/06/2008	0.113	0.036	0.013	0.016	
10/06/2008	0.069	0.016	0.027	0.031	0.003
14/06/2008	0.092	0.022	0.076	0.010	0.008
17/06/2008	0.075	0.013	0.022	0.034	0.008
19/06/2008	0.103	0.000	0.008	0.036	0.000
25/06/2008	0.027	0.024	0.008	0.005	0.000
No de días sobre la norma	0	0	0	0	0
% de días sobre la norma	0	0	0	0	0

\* Todos los datos de concentración de hierro presentados en la tabla están dados en ppm.

En el caso del hierro, este elemento no muestra ningún tipo de interdependencia con respecto a la variabilidad de caudal durante el tiempo de muestreo. Para ninguno de los cinco puntos de muestreo se observa interdependencia, tal como lo muestran la Figura 14 y la Figura 15.



**Figura 14.** Relación entre variación de caudal y concentración de hierro en los puntos TGU y PTE para el periodo de estudio.



**Figura 15.** Relación entre variación de caudal y concentración de hierro en los puntos MTH, JTE y NVO para el periodo de estudio.

**4.3.3.2 Manganeso.** Se realizó el análisis de concentración de manganeso a seis muestras de agua para cada uno de los sitios de muestreo. Los resultados de los análisis mostraron que ninguna de las muestras se encontró por encima de la norma de calidad de agua para consumo humano de Honduras. El valor más alto fue de 0.071 ppm mientras que el valor más bajo fue el de 0.025 ppm. La media de concentración de manganeso para las muestras analizadas fue de 0.03 ppm.

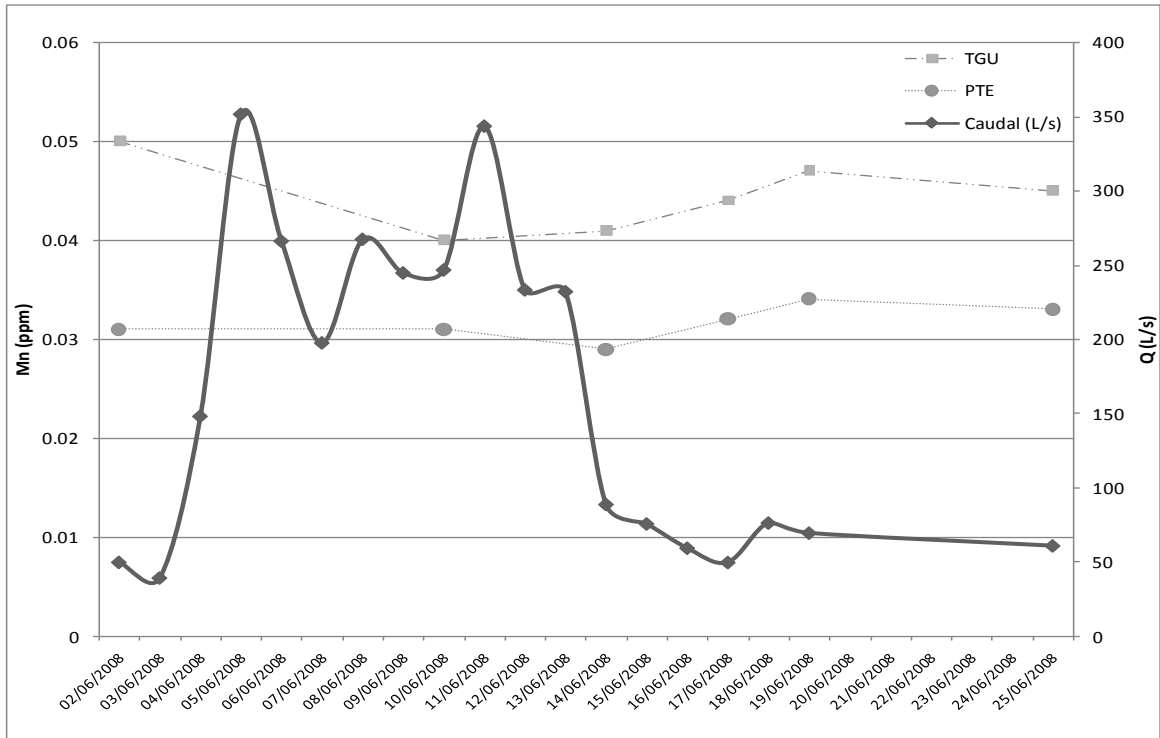
Las bajas concentraciones de hierro obtenidas es posible que se deban al tipo de roca que se encuentran en la microcuenca, por otro lado, la velocidad de los cauces provoca aeración constante que reduce la concentración de este elemento.

**Cuadro 16.** Resultados de concentración de manganeso obtenidos de las muestras analizadas durante el periodo de estudio.

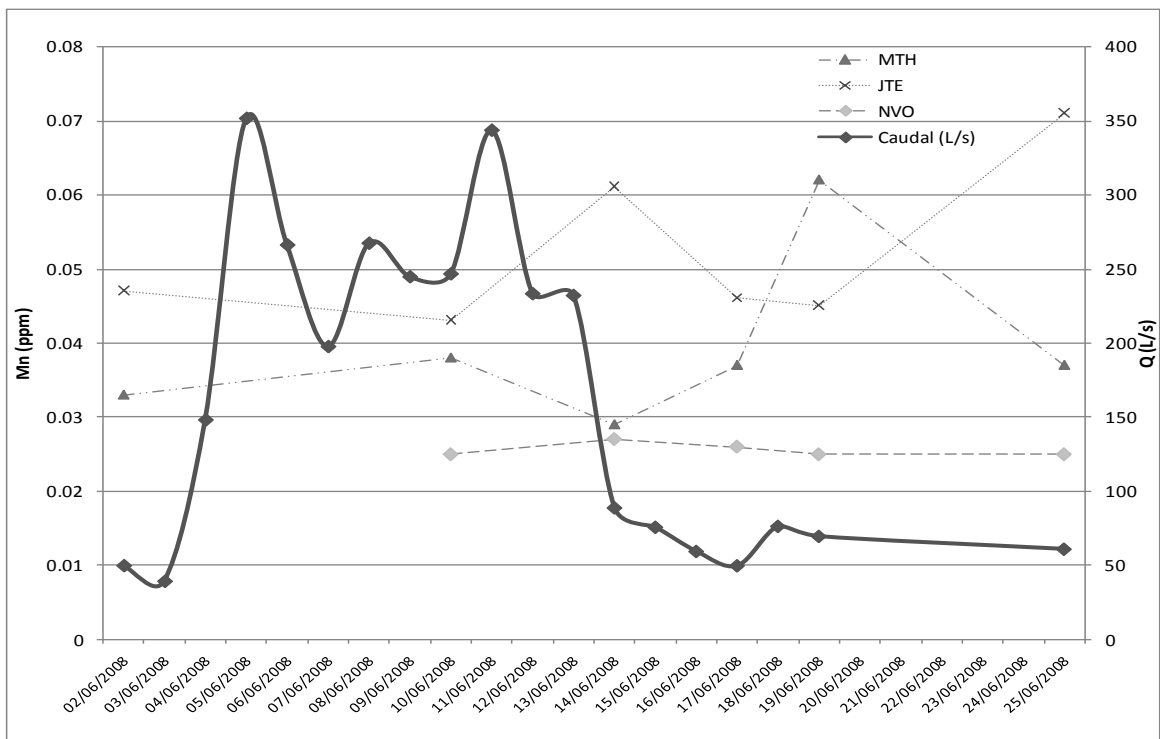
Fecha de muestreo	TGU	MTH	JTE	PTE	NVO
02/06/2008	0.050	0.033	0.047	0.031	
10/06/2008	0.040	0.038	0.043	0.031	0.025
14/06/2008	0.041	0.029	0.061	0.029	0.027
17/06/2008	0.044	0.037	0.046	0.032	0.026
19/06/2008	0.047	0.062	0.045	0.034	0.025
25/06/2008	0.045	0.037	0.071	0.033	0.025
No de días sobre la norma	0	0	0	0	0
% de días sobre la norma	0	0	0	0	0

\* Todos los datos de concentración de manganeso presentados en la tabla están dados en ppm.

Éste elemento no muestra ningún tipo de interdependencia con respecto a la variabilidad de caudal durante el tiempo de muestreo. Para ningunos de los puntos de muestreo se observa interdependencia entre éstas dos variables (Figuras 16 y 17).



**Figura 16.** Relación entre variación de caudal y concentración de manganeso en los puntos TGU y PTE para el periodo de estudio.



**Figura 17.** Relación entre variación de caudal y concentración de manganeso en los puntos MTH, JTE y NVO para el periodo de estudio.

**4.3.3.3 Plomo.** Se realizó el análisis de concentración de plomo a seis muestras de agua para cada uno de los sitios de muestreo. Los resultados de los análisis mostraron que todas las muestras se encontraron por encima de la norma de calidad de agua para consumo humano de Honduras. El valor más bajo fue de 0.004 ppm y el valor más alto fue de 0.031 ppm. La media de concentración de plomo para las muestras analizadas fue de 0.020 ppm.

Las concentraciones de plomo encontradas en el agua de la microcuenca están fuera de la norma establecida por el SANAA en Honduras, se descarta que la razón de estas concentraciones de plomo sea por intervención humana en la microcuenca en específico. Es posible que la concentración de este elemento, se deba al tipo de roca que se encuentra en la microcuenca.

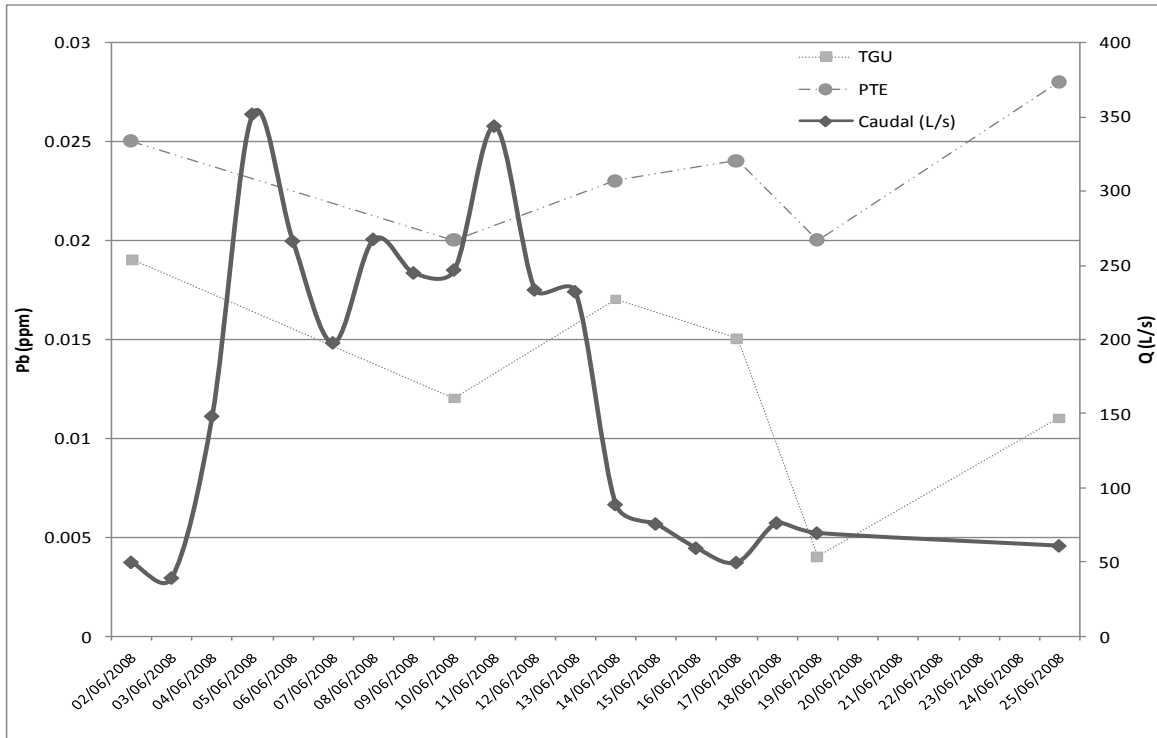
**Cuadro 17.** Resultados de concentración de plomo obtenidos de las muestras analizadas durante el periodo de estudio.

Fecha de muestreo	TGU	MTH	JTE	PTE	NVO
02/06/2008	<b>0.019</b>	<b>0.026</b>	<b>0.018</b>	<b>0.025</b>	
10/06/2008	<b>0.012</b>	<b>0.016</b>	<b>0.029</b>	<b>0.020</b>	<b>0.024</b>
14/06/2008	<b>0.017</b>	<b>0.028</b>	<b>0.019</b>	<b>0.023</b>	<b>0.025</b>
17/06/2008	<b>0.015</b>	<b>0.025</b>	<b>0.031</b>	<b>0.024</b>	<b>0.027</b>
19/06/2008	<b>0.004</b>	<b>0.022</b>	<b>0.026</b>	<b>0.020</b>	<b>0.023</b>
25/06/2008	<b>0.011</b>	<b>0.023</b>	<b>0.027</b>	<b>0.028</b>	<b>0.027</b>
No de días sobre la norma	6	6	6	6	6
% de días sobre la norma	100	100	100	100	100

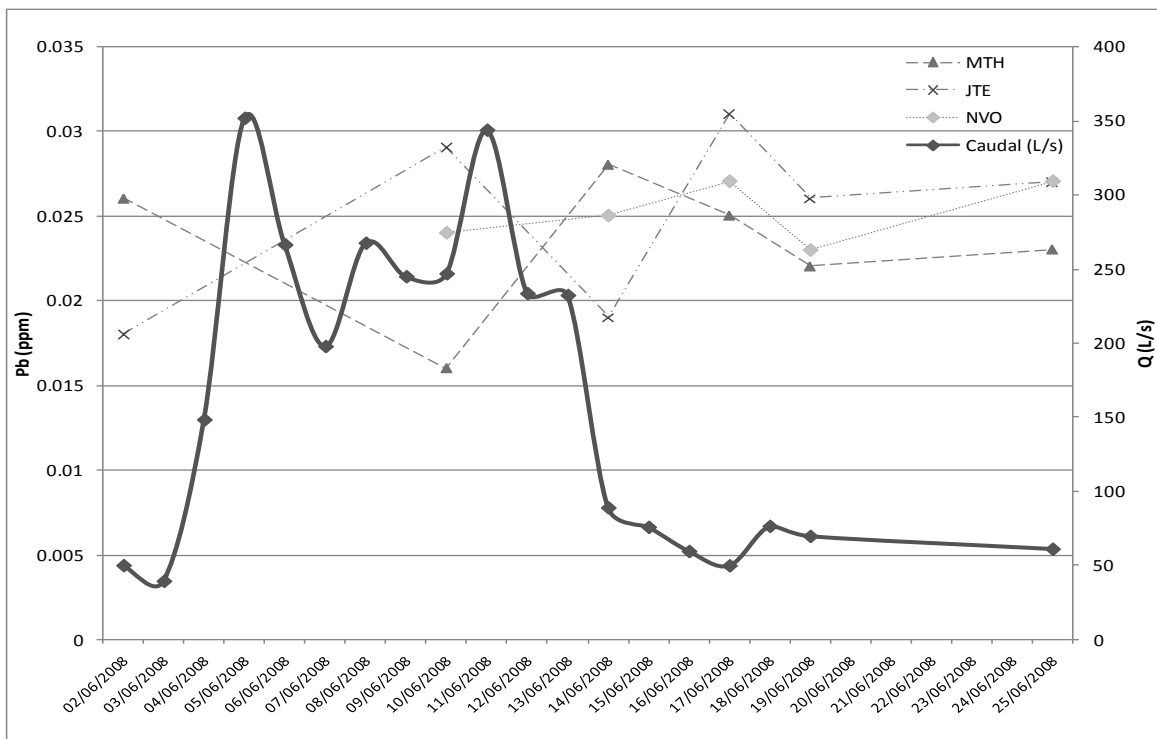
\* Todos los datos de concentración de plomo presentados en la tabla están dados en ppm.

\*\* Los datos en negrita son aquellos días que la muestra sobrepasó la norma hondureña.

En el caso del plomo, este elemento no muestra ningún tipo de interdependencia con la variabilidad de caudal durante el tiempo de muestreo. Para ninguno de los puntos se observó interdependencia tal como lo muestran las Figura 18 y 19.



**Figura 18.** Relación entre variación de caudal y concentración de plomo en los puntos TGU y PTE para el periodo de estudio.



**Figura 19.** Relación entre variación de caudal y concentración de plomo en los puntos MTH, JTE y NVO para el periodo de estudio.

**4.3.3.4 Cobre.** Seis muestras de agua para cada uno de los sitios de muestreo fueron analizadas. Los resultados mostraron que todas las muestras analizadas se encontraron por encima de la norma de calidad de agua para consumo humano de Honduras. El valor máximo fue de 0.023 ppm mientras que el valor mínimo fue de 0.013 ppm. La media de concentración de plomo para las muestras analizadas fue de 0.010 ppm.

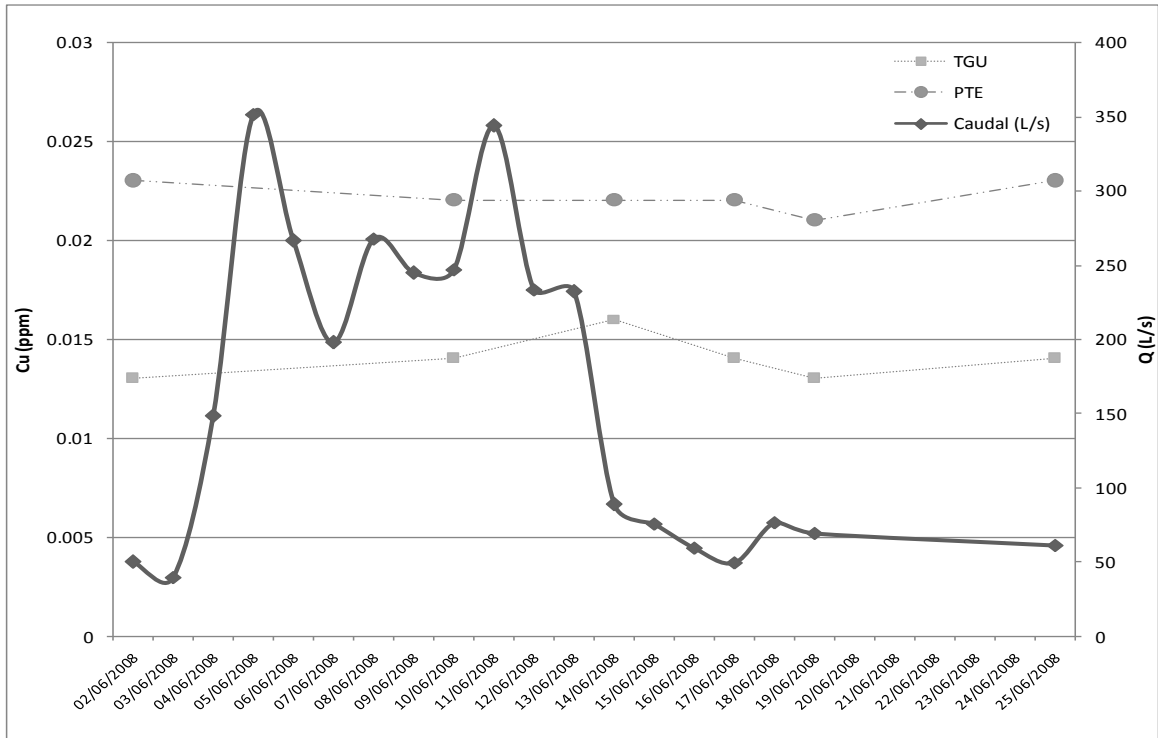
Las bajas concentraciones de cobre se encuentran dentro de los rangos de presencia de este elemento en agua superficial en estado natural.

**Cuadro 18.** Resultados de concentración de cobre obtenidos de las muestras analizadas durante el periodo de estudio.

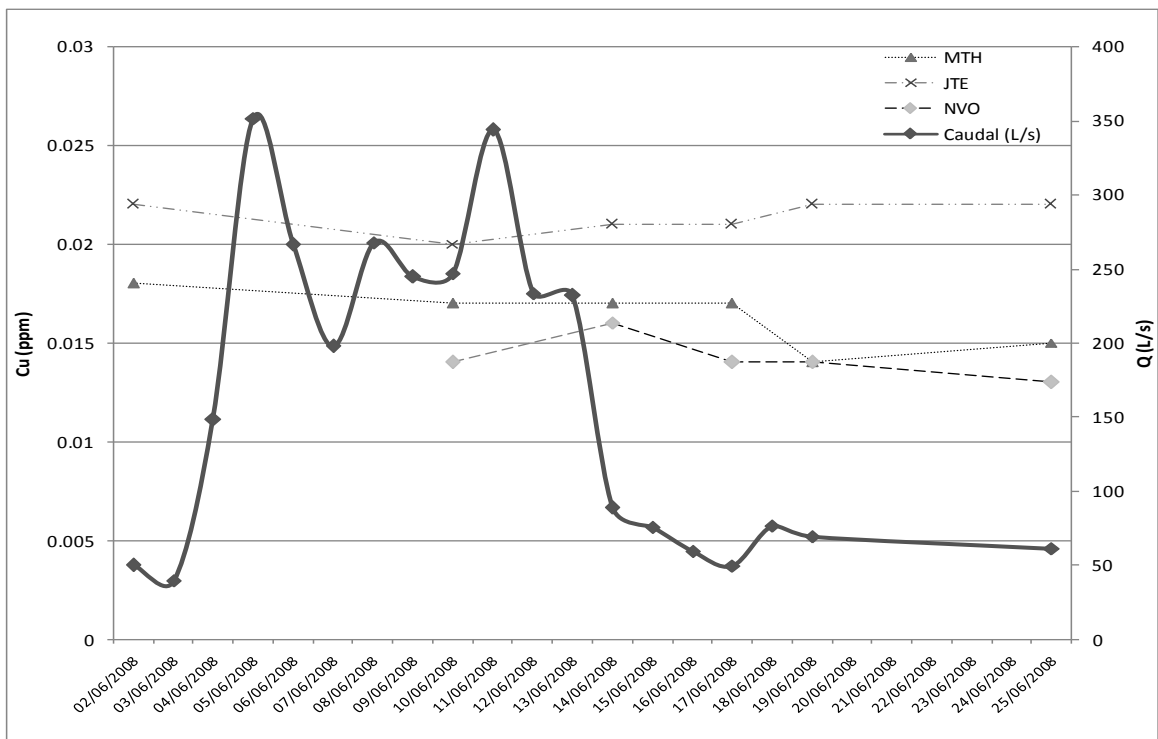
Fecha de muestreo	TGU	MTH	JTE	PTE	NVO
02/06/2008	0.013	0.018	0.022	0.023	
10/06/2008	0.014	0.017	0.020	0.022	0.014
14/06/2008	0.016	0.017	0.021	0.022	0.016
17/06/2008	0.014	0.017	0.021	0.022	0.014
19/06/2008	0.013	0.014	0.022	0.021	0.014
25/06/2008	0.014	0.015	0.022	0.023	0.013
No de días sobre la norma	0	0	0	0	0
% de días sobre la norma	0	0	0	0	0

\* Todos los datos de concentración de cobre presentados en la tabla están dados en ppm.

El cobre no muestra interdependencia con respecto a la variabilidad de caudal durante el tiempo en el que se muestreó éste elemento. Para ninguno de los puntos de muestreo se observa interdependencia tal como lo muestran las Figuras 20 y 21.



**Figura 20.** Relación entre variación de caudal y concentración de cobre en los puntos TGU y PTE para el periodo de estudio.



**Figura 21.** Relación entre variación de caudal y concentración de cobre en los puntos MTH, JTE y NVO para el periodo de estudio.

**4.3.3.5 Zinc.** Se realizó el análisis de concentración de zinc a seis muestras de agua para cada uno de los sitios de muestreo. Los resultados de los análisis mostraron que ninguna muestra se encontró por encima de la norma de calidad de agua para consumo humano de Honduras. El valor máximo de concentración fue de 0.066 ppm mientras que el valor mínimo fue el de 0.023 ppm. La concentración media de zinc para las muestras analizadas fue de 0.030 ppm.

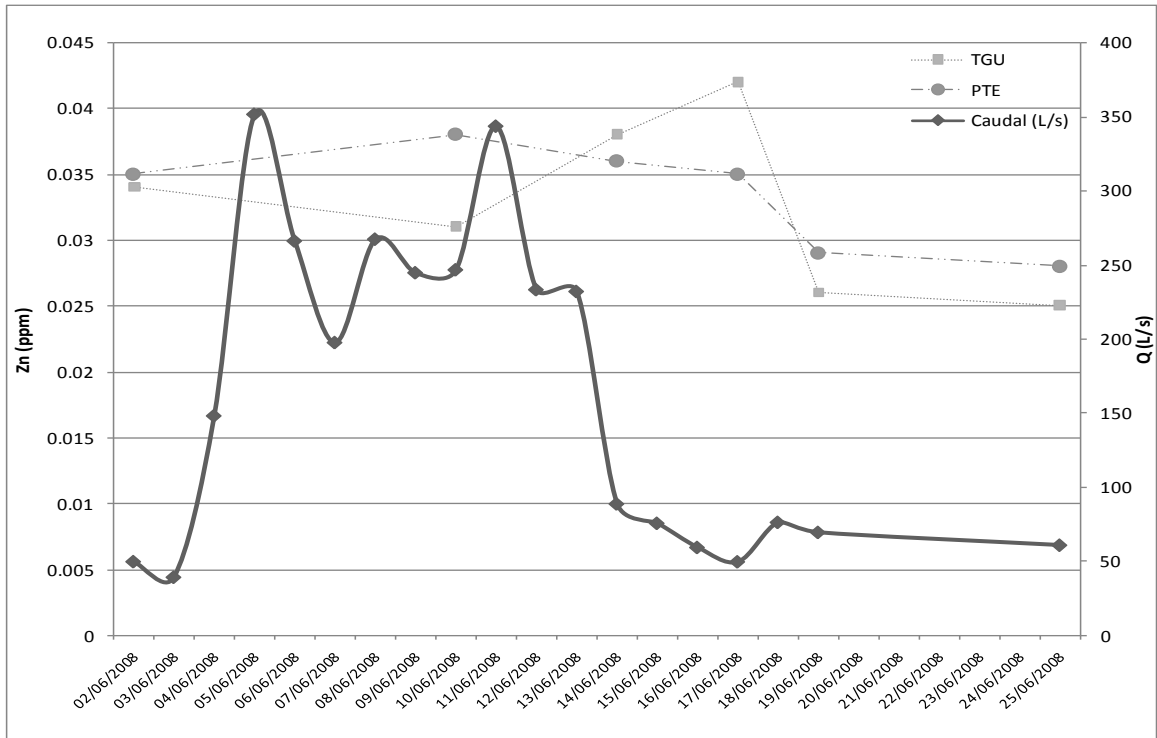
Las bajas concentraciones de zinc se encuentran dentro de los rangos de presencia esperados de éste elemento en agua superficial en estado natural.

**Cuadro 19.** Resultados de concentración de zinc obtenidos de las muestras analizadas durante el periodo de estudio.

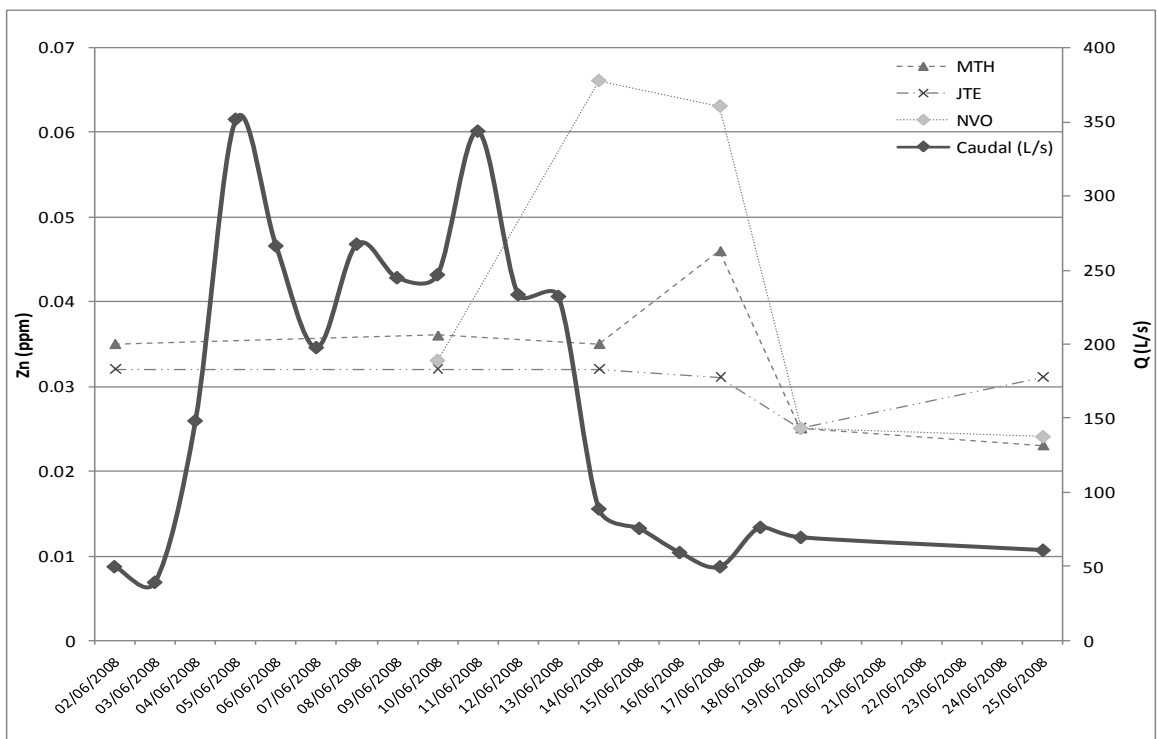
Fecha de muestreo	TGU	MTH	JTE	PTE	NVO
02/06/2008	0.034	0.035	0.032	0.035	
10/06/2008	0.031	0.036	0.032	0.038	0.033
14/06/2008	0.038	0.035	0.032	0.036	0.066
17/06/2008	0.042	0.046	0.031	0.035	0.063
19/06/2008	0.026	0.025	0.025	0.029	0.025
25/06/2008	0.025	0.023	0.031	0.028	0.024
No de días sobre la norma	0	0	0	0	0
% de días sobre la norma	0	0	0	0	0

\* Todos los datos de concentración de cobre presentados en la tabla están dados en ppm.

El zinc no muestra interdependencia con respecto a la variabilidad de caudal durante el tiempo de muestreo de éste elemento. Para ninguno de los puntos se observa interdependencia tal como lo muestran las Figuras 22 y 23.



**Figura 22.** Relación entre variación de caudal y concentración de zinc en los puntos TGU y PTE para el periodo de estudio.



**Figura 23.** Relación entre variación de caudal y concentración de zinc en los puntos MTH, JTE y NVO para el periodo de estudio.

**4.3.3.6 Cadmio.** Seis muestras de agua fueron analizadas en cada uno de los sitios de muestreo para la concentración de cadmio. Los resultados de los análisis mostraron que todas las muestras están fuera de la norma de calidad de agua para consumo humano de Honduras. El valor máximo fue de 0.027 ppm mientras que el valor mínimo fue de 0.013 ppm. La media de concentración de zinc para las muestras analizadas fue de 0.020 ppm.

Las concentraciones de cadmio encontradas en el agua de la microcuenca están fuera de la norma establecida por el SANAA en Honduras, se descarta que la razón de estas concentraciones de plomo sea por intervención humana en la microcuenca.

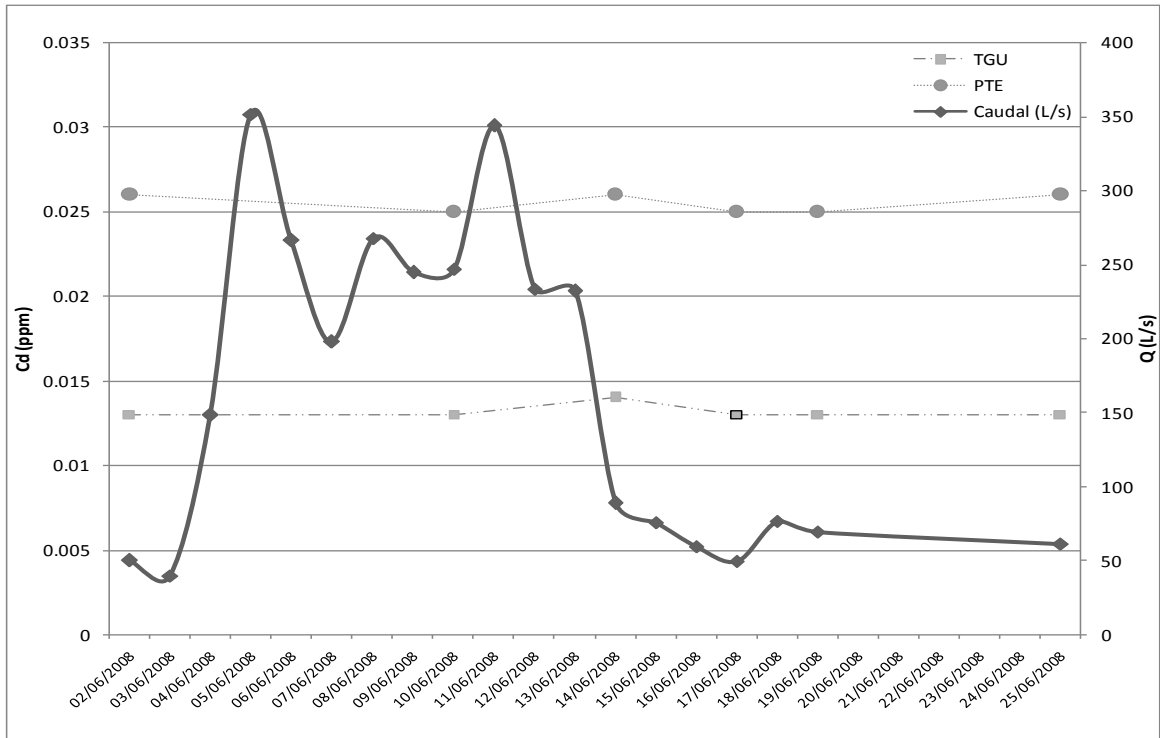
**Cuadro 20.** Resultados de concentración de cadmio obtenidos de las muestras analizadas durante el periodo de estudio.

Fecha de muestreo	TGU	MTH	JTE	PTE	NVO
02/06/2008	<b>0.013</b>	<b>0.025</b>	<b>0.025</b>	<b>0.026</b>	
10/06/2008	<b>0.013</b>	<b>0.025</b>	<b>0.025</b>	<b>0.026</b>	<b>0.026</b>
14/06/2008	<b>0.014</b>	<b>0.026</b>	<b>0.026</b>	<b>0.026</b>	<b>0.026</b>
17/06/2008	<b>0.013</b>	<b>0.026</b>	<b>0.025</b>	<b>0.025</b>	<b>0.025</b>
19/06/2008	<b>0.013</b>	<b>0.026</b>	<b>0.026</b>	<b>0.025</b>	<b>0.026</b>
25/06/2008	<b>0.013</b>	<b>0.026</b>	<b>0.027</b>	<b>0.026</b>	<b>0.025</b>
# de días sobre la norma	6	6	6	6	6
% de días sobre la norma	100	100	100	100	100

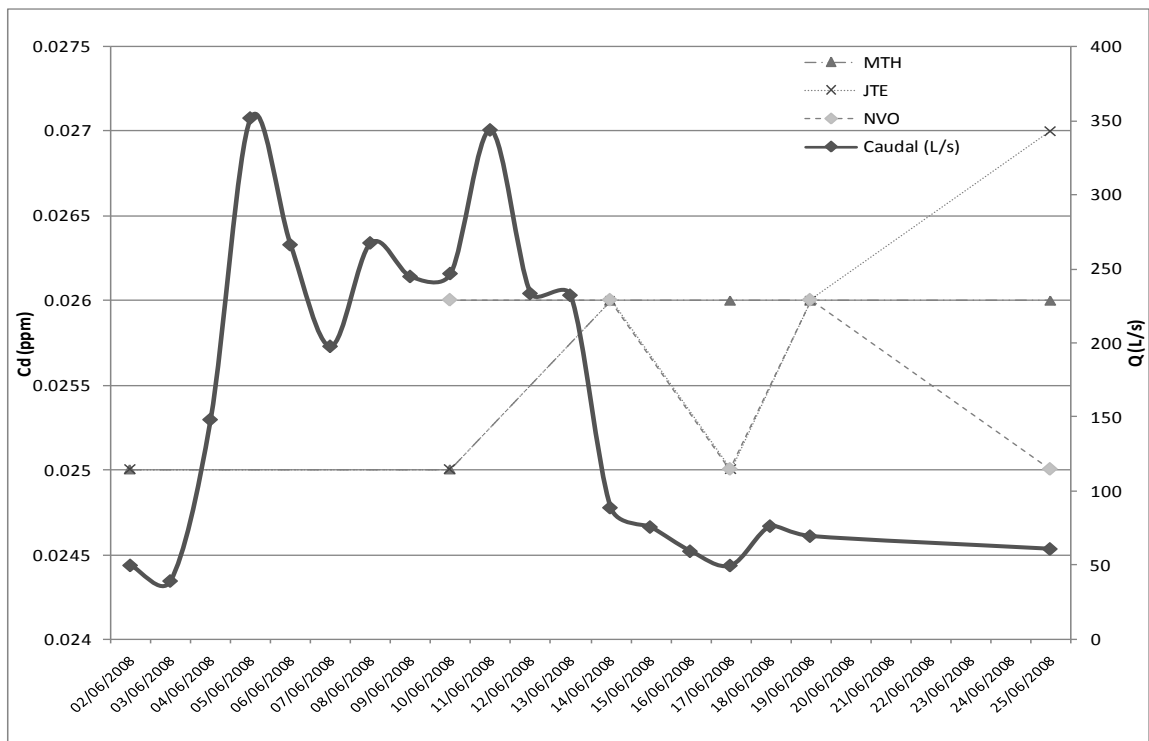
\* Todos los datos de concentración de cobre presentados en la tabla están dados en ppm.

\*\* Los datos en negrita son aquellos días que la muestra sobrepasó la norma hondureña.

El cadmio no presenta ningún tipo de interdependencia con respecto a la variabilidad de caudal durante el tiempo de muestreo de éste elemento. Para ninguno de los puntos de muestreo se observó interdependencia tal como lo muestran las Figuras 24 y 25.



**Figura 24.** Relación entre variación de caudal y concentración de cadmio en los puntos TGU y PTE para el periodo de estudio.



**Figura 25.** Relación entre variación de caudal y concentración de cadmio en los puntos MTH, JTE y NVO para el periodo de estudio.

#### 4.4 DISCUSIÓN GENERAL

Valores bajos de pH pueden llevar al incremento de las propiedades corrosivas del agua, lo cual disuelve con mayor facilidad metales pesados como el cadmio, plomo y cromo (Van der Leeden *et al.* 1990). De acuerdo a la medición periódica de pH que se llevo a cabo en los afluentes de la microcuenca de la quebrada El Carrizal, éste parámetro puede ser una de las causas de las concentraciones elevadas de éstos metales, debido a que durante todo el estudio 60 de 82 muestras analizadas presentaron valores de pH bajos (Cuadro 12).

Las concentraciones altas de estos parámetros es un factor preocupante por los diversos daños que pueden llegar a tener sobre la salud del hombre. Las concentraciones elevadas de fosfatos, cadmio y plomo que se encontraron durante el estudio, deben ser tomados en cuenta por el SANAA y las juntas de agua de las comunidades que se abastecen de agua procedente de este sitio debido a la peligrosidad que conlleva el consumo de esta agua sin ser tratada con anterioridad.

Las concentraciones de contaminantes que se encontraron en los diferentes afluentes de la microcuenca tienen origen natural, debido a que no se evidenció intervención humana en la zona durante las visitas realizadas. Por lo tanto realizar trabajos para disminuir y eliminar las concentraciones de estos contaminantes, deben ser realizados previo a la distribución del agua y no así tratarlos directamente en la fuente.

En el caso de los fosfatos, altas concentraciones de este nutriente ocasionan osteoporosis debido a la disminución de calcio en el organismo como respuesta a las altas concentraciones de fósforo (OMS, 2008).

El plomo es un metal de alta peligrosidad debido a que éste se acumula en la sangre, que ocasionan una alta gama de efectos fisiopatológicos negativos como la anemia, elevaciones de presión arterial, interferencia en el metabolismo de vitamina D, deterioro de rendimiento cognoscitivo entre otros (AWWA, 1999).

En cuanto al cadmio, este es considerado uno de los metales más tóxicos que existe y tienen efectos negativos sobre la salud, a éste se le atribuyen enfermedades como la anemia, hipertensión y difusión renal (AWWA, 1999).

Las características morfológicas de la microcuenca de la quebrada El Carrizal es uno de los factores que junto a la buena preservación de la zona, permiten una producción sostenible de agua, que asegura el abastecimiento de este elemento para Tegucigalpa y las comunidades aledañas al parque.

Parámetros morfológicos evaluados como la forma, el relieve y los parámetros relativos a la red hidrográfica, confirman la capacidad de ésta microcuenca para la producción de agua. La regularidad de su forma y distribución de área de acuerdo a las elevaciones, están directamente relacionados con la pendiente que la microcuenca presenta.

La pendiente no pronunciada y la cobertura de bosque que se tiene en la microcuenca, son factores que disminuyen la magnitud de la erosión que la precipitación caída sobre la microcuenca podría ocasionar. Sin embargo si se evidencia arrastre de material hacia los cuerpos de agua luego de los eventos de precipitación, tal como lo demuestra los datos de turbidez analizados (Cuadro 11).

## 5. CONCLUSIONES

- La caracterización hidrológica realizada en la microcuenca de la quebrada El Carrizal, reflejó el buen estado en la que ésta se encuentra, lo que permite una producción de agua suficiente para asegurar un flujo constante de agua. Sin embargo, concentraciones sobre la norma de calidad de agua de la OMS de fosfatos, cadmio y plomo pueden llegar a tener repercusiones negativas en la salud.
- La microcuenca de la quebrada El Carrizal tiene forma ovalada, oblonga y con una pendiente media de 42.35%, su tiempo de concentración es de aproximadamente 13 minutos y es bastante regular en cuanto a la distribución de área en cada una de las cotas de elevación.
- El agua que la microcuenca produjo durante el periodo de estudio fue de 0.46 hm<sup>3</sup>. El promedio de caudal promedio diario fue de 140 L/s, el caudal máximo alcanzado fue de 426.4 L/s y el rendimiento de producción de agua fue de 429.4 L por hectárea para todo el periodo de estudio.
- La precipitación media total para el periodo de estudio en la microcuenca El Carrizal fue de 1580.6 mm. La precipitación máxima fue de 259 mm que se registró el día 17 de Julio de 2008.
- La microcuenca de la quebrada El Carrizal presenta parámetros físico-químicos fuera de la norma establecida por el SANAA. La turbidez estuvo fuera de norma durante 10 días, excediendo el máximo permisible de 5 NTU. El pH estuvo fuera de norma durante todo el periodo de estudio, los valores bajos obtenidos en el agua durante este periodo no alcanzaron el rango de pH establecido para el consumo humano.
- La microcuenca de la quebrada El Carrizal presenta concentraciones de fosfatos, cadmio y plomo en el agua fuera de la norma establecida por el SANAA para cada una de las muestras de agua analizadas.
- En la microcuenca de la quebrada El Carrizal, durante el periodo de estudio, no se presentaron interdependencias entre la variabilidad de caudal y las concentraciones de metales pesados que sean significativas.
- En la microcuenca de la quebrada El Carrizal existe interdependencia entre la variabilidad de caudal y las concentraciones de nutrientes presentes en el agua. En el caso del nitrato se evidenció relación más significativa que en el caso del fosfato, la concentración de nitratos máxima alcanzada fue de 0.16 ppm mientras que la concentración de fosfatos máxima alcanzada fue de 3.12 ppm.

## **6. RECOMENDACIONES**

- Para mantener el buen estado de la microcuenca y asegurar las condiciones del recurso hídrico producida en la misma, se debe continuar con las medidas de protección que actualmente están siendo practicadas como el acceso restringido a esta área.
- Se debe intensificar las investigaciones en esta microcuenca, debido a que por el buen estado que ésta presenta tiene el potencial para ser utilizado en el futuro como modelo para la conservación y restauración de otras microcuencas cercanas que han sido intervenidas en mayor magnitud.
- Instalar un pluviómetro adicional en la zona este de la microcuenca para que de esta manera sea factible realizar el estimado de precipitación que cae sobre la microcuenca con mayor exactitud.
- No se puede asumir completamente la inexistencia de interdependencia entre la variabilidad de caudal y las concentraciones de metales pesados, por lo que se debe realizar estudios sobre este aspecto durante un periodo mayor de tiempo que permita confirmar esta afirmación.
- Para futuras investigaciones hacer énfasis en los parámetros que se encuentran fuera de la norma establecida por el SANAA de agua para el consumo humano.
- El SANAA debe considerar las estimaciones de producción de agua para evaluar pérdidas en la red de conducción de agua hasta la planta de tratamiento. Así mismo se recomienda realizar monitoreo mediante mediciones de calidad de agua de los parámetros fuera de norma descritos en el presente estudio, haciendo énfasis en la necesidad de eliminar por completo el cadmio, el plomo y los fosfatos antes de la distribución del agua hacia Tegucigalpa.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

APHA (American Public Health Association US). 1985. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 16th ed. Washington DC, United States of America. 1268 p.

AWWA (American Water Works Association US). 1999. Water Quality and Treatment: A Handbook of Community Water Supply 5th ed. United States of America.

Bailarón, L. et. al. 2003. Balance Hídrico en Honduras (en línea). Consultado 20 de Sep 2008. Disponible en: <http://hercules.cedex.es/>

Boyd E. Claude. 2000. Water Quality: An Introduction. Massachusetts, United States of America. Kluwer Academic Publishers. 330 p.

Chow, V.T; Maidment, D.R; Mays, L.W. 1994. Hidrología Aplicada. Santafé de Bogotá, Colombia. McGraw-Hill. 584 p.

EPA (Environmental Protection Agency US). 1997. Volunteer Stream Monitoring: A Methods Manual (en línea). Consultado 8 de Abr 2008. Disponible en: <http://www.epa.gov/>

Essig, M. Phosphate in Blood (en línea). Consultado 3 de Abr 2008. Disponible en: <http://health.yahoo.com/>

Grant, D. y Dawson, B. 2001. Isco Open Channel Flow Measurement Handbook 5<sup>th</sup> Ed. Nebraska, United States of America. Isco, Inc. p. 25-58.

López, F. 1998. Restauración hidrológico-forestal de cuencas y control de la erosión. Madrid, España. Mundiprensa.

Manahan, S. 2000. Environmental Chemistry 7<sup>th</sup> Ed. United States of America. Lewis Publisher. 876 p.

Mays, L. 1996. Water Resources Handbook. United States of America. McGraw-Hill. 10: p. 1-32.

Nania, L. 2003. Hidrología Superficial: La Cuenca y los procesos hidrológicos, Granada, España. 62 p.

OMS (Organización Mundial de la Salud). 2008. Chemical hazard in drinking-water (en línea) Consultado 6 de Sep 2008. Disponible en: <http://www.who.int>

ONU/WWAP (Naciones Unidas/World Water Assessment Programme). 2003. 1er Informe de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo: Agua para todos, agua para la vida. París, Nueva York y Oxford. UNESCO (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura) y Berghahn Books.

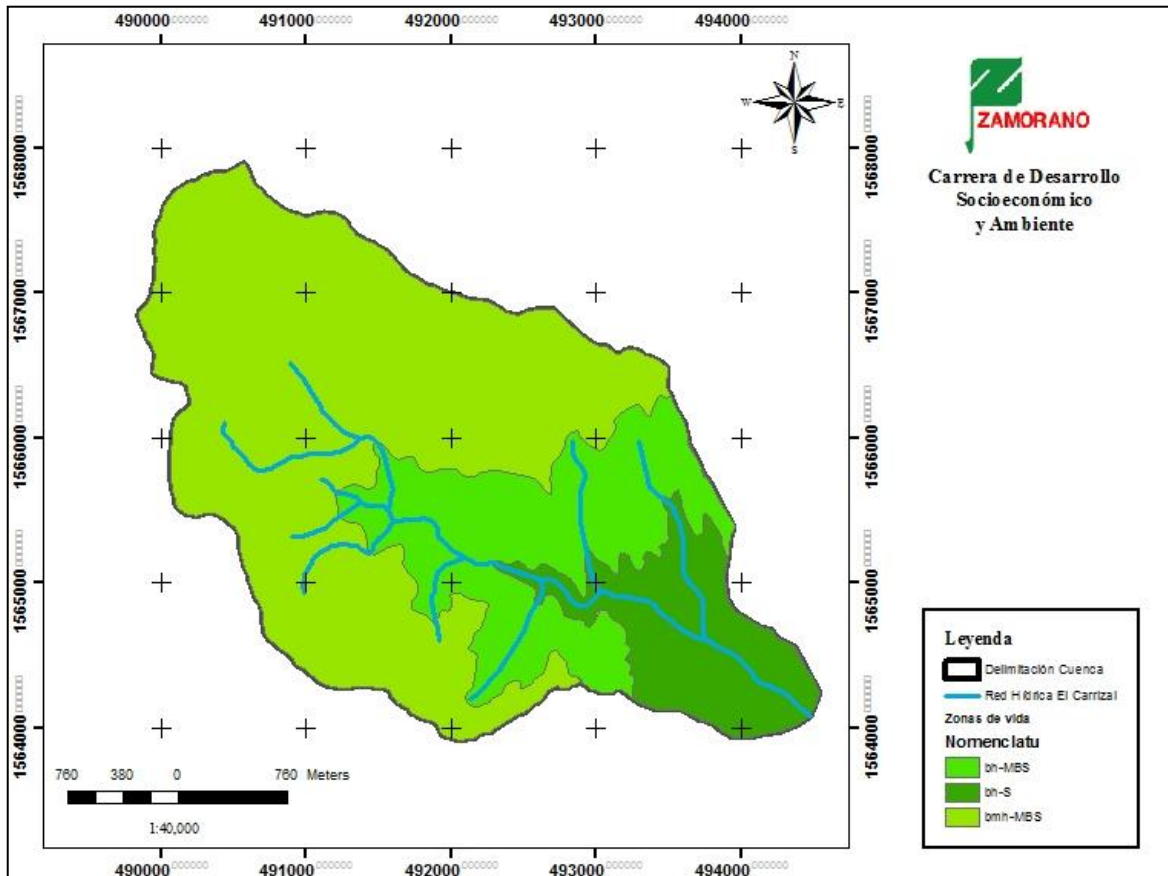
Pankrats, T. 2001. Environmental Engineering: Dictionary and Directory. United States of America. Lewis Publisher. 335 p.

USGS (United States Geological Survey US). 2007. National Field Manual for the collection of Water-Quality Data (en línea). Consultado el 8 de Abril de 2008. Disponible en: <http://water.usgs.gov/>

Van der Leeden, F; Troise, F; Keith, D. 1990. The Water Encyclopedia 2nd ed. Michigan, United States of America. Lewis Publishers. 808 p.

## 8. ANEXOS

Anexo 1. Mapa de zonas de vida identificadas en la microcuenca de la quebrada El Carrizal.



**Anexo 2.** Especies arbóreas predominantes en la zona de vida bh-S en la microcuenca de la quebrada El Carrizal.

<b>Bosque húmedo subtropical</b>	
Nombre común	Nombre científico
Guachipilín	<i>Diphysa robinoides</i>
Molinillo	<i>Luehea speciosa</i>
Guarumo	<i>Cecropia peltata</i>
Quebracho	<i>Lysiloma sp.</i>
Cordoncillo	<i>Piper aduncum L.</i>
Liquidámbar	<i>Liquidambar styraciflua</i>
Inga	<i>Inga pavoniana</i>
Mano de león	<i>Oreopanax xalapensis</i>
Acacia	<i>Acacia farnesiana</i>
Pino	<i>Pinus maximinoi</i>

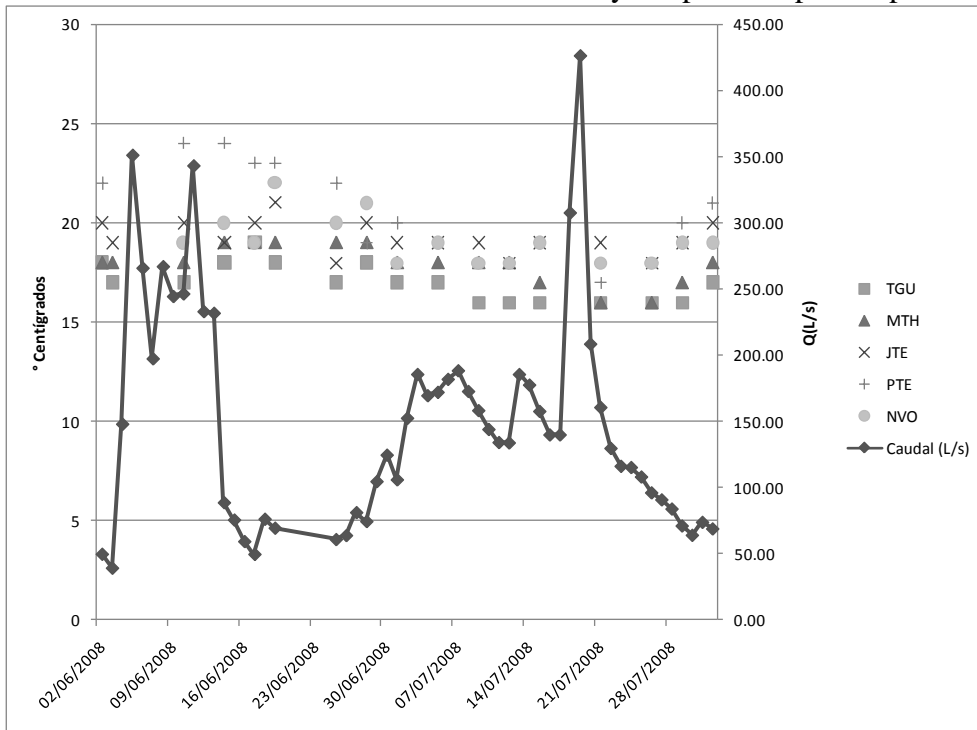
**Anexo 3.** Especies arbóreas predominantes en la zona de vida bh-MBS en la microcuenca de la quebrada El Carrizal.

<b>Bosque húmedo montano bajo subtropical</b>	
Nombre común	Nombre científico
Liquidámbar	<i>Liquidambar styraciflua</i>
Pino	<i>Pinus maximinoi</i>
Álamo blanco	<i>Clethra macrophylla</i>
Cabello de ángel	<i>Calliandra houstoniana</i>
Roble amarillo	<i>Quercus segovensis</i>
Encino rojo	<i>Quercus oleoides</i>
Girasol	<i>Titonia diversifolia</i>

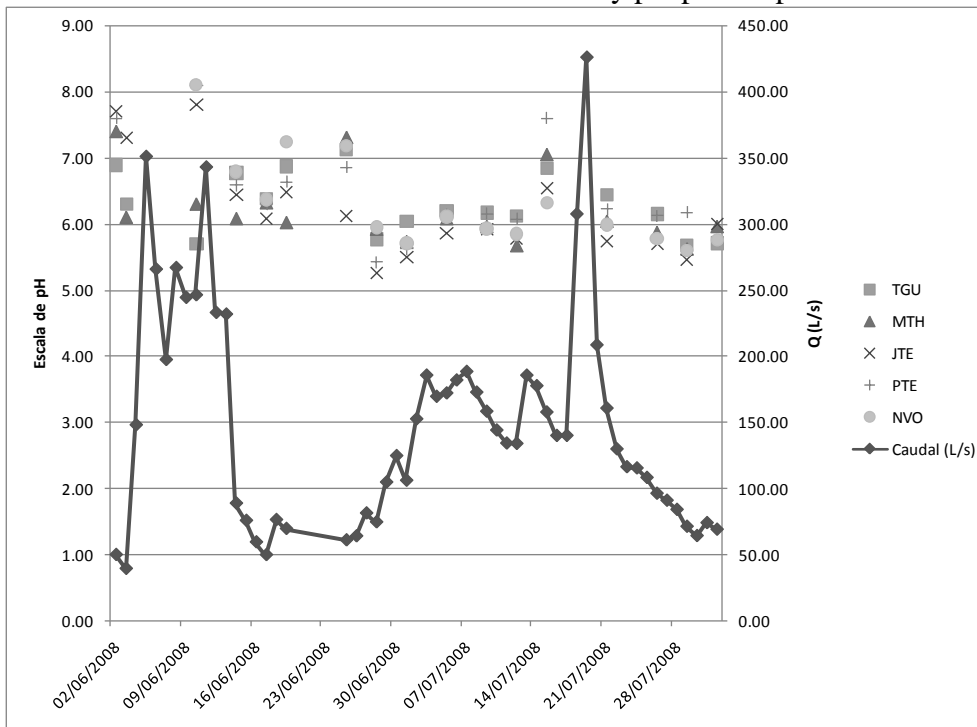
**Anexo 4.** Especies arbóreas predominantes en la zona de vida bmh-MBS en la microcuenca de la quebrada El Carrizal.

<b>Bosque muy húmedo montano bajo subtropical</b>	
Nombre común	Nombre científico
Guachipilín	<i>Diphysa robinoides</i>
Liquidámbar	<i>Liquidambar styraciflua</i>
Pino	<i>Pinus maximinoi</i>

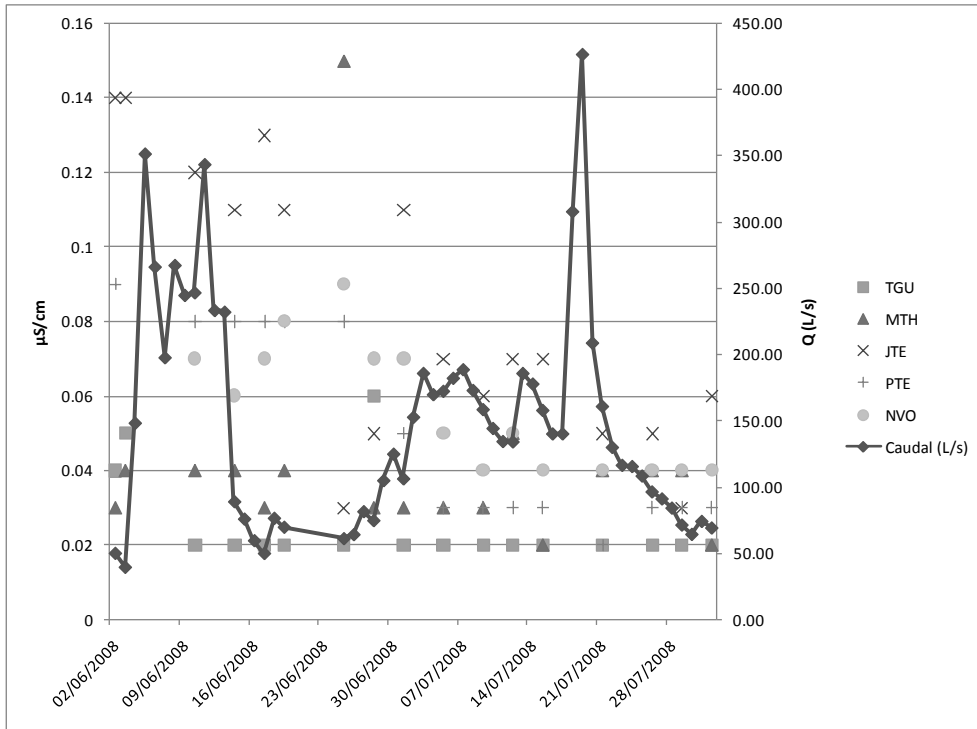
**Anexo 5.** Gráfico de relación entre caudal y temperatura para el periodo de estudio.



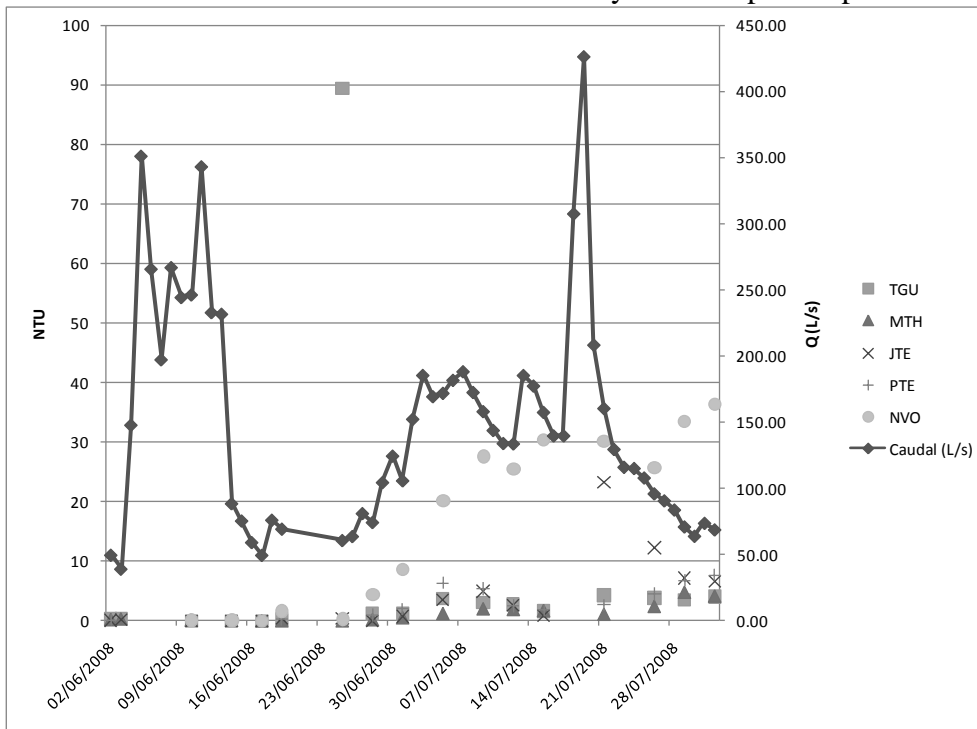
**Anexo 6.** Gráfico de relación entre caudal y pH para el periodo de estudio.



**Anexo 7.** Gráfico de relación entre caudal y conductividad eléctrica para el periodo de estudio.



**Anexo 8.** Gráfico de relación entre caudal y turbidez para el periodo de estudio.



**Anexo 9.** Gráfico de relación entre caudal y oxígeno disuelto para el periodo de estudio.

