



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA**

**AREA AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES  
RENOVABLES**

**CARRERA MANEJO Y CONSERVACION DEL MEDIO  
AMBIENTE**

## **TESIS**

**TÍTULO:**

**VARIABILIDAD TEMPORAL Y ESPACIAL DE LA  
CALIDAD Y CANTIDAD DE AGUA EN LA CUENCA DEL  
RÍO SAN FRANCISCO**

**(PROVINCIA DE ZAMORA CHINCHIPE)**

*Previa a la obtención del Título de  
Ingeniero en Manejo y  
Conservación del Medio Ambiente*

**ESTUDIANTE:** Diego Geovanny Mejía Veintimilla

**DIRECTOR:** Ing. Rafael González

**LOJA Ë ECUADOR**

**2009**



Your complimentary  
use period has ended.  
Thank you for using  
PDF Complete.

[Click Here to upgrade to  
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

## CERTIFICACIÓN

Que la tesis **“Variabilidad Temporal y Espacial de la Calidad y Cantidad de agua en la cuenca del Río San Francisco (Provincia de Zamora Chinchipe)”** de autoría del señor egresado **Diego Geovanny Mejía Veintimilla** ha sido dirigida, revisada y aprobada en su integridad, por lo que autorizo a su publicación y defensa.

Loja, Marzo de 2009.

Ing. Rafael González

**DIRECTOR**

## APROBACIÓN

Los que al pie firmamos, Miembros del Tribunal de Grado, APROBAMOS que, el señor **Diego Geovanny Mejía Veintimilla**, egresado de la Carrera Ingeniería en Manejo y Conservación del Medio Ambiente, ha incorporado todas las correcciones y recomendaciones en su tesis titulada **Í Variabilidad Temporal y Espacial de la Calidad y Cantidad de agua en la cuenca del Río San Francisco (Provincia de Zamora Chinchipe)Î**, por lo tanto autorizamos su publicación.

Loja, Marzo de 2009.

Ing. Luis Sinche F.  
**PRESIDENTE**

Ing. Kléver Poma V.  
**Vocal**

Ing. Aníbal González G.  
**Vocal**



*Your complimentary  
use period has ended.  
Thank you for using  
PDF Complete.*

[Click Here to upgrade to  
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

## **AUTORÍA**

El contenido, resultados, análisis y conclusiones de la presente investigación, son de exclusiva responsabilidad del autor, el presente trabajo puede ser usado citando la fuente.

**Diego Geovanny Mejía Veintimilla**

E-mail: [godie.85@gmail.com](mailto:godie.85@gmail.com)

## DEDICATORIA

*La presente investigación va dedicada primeramente a Dios, a mis padres Gustavo Mejía y Rosa Veintimilla por haber sembrado en mí el ejemplo de la superación y constancia, y por guiarme a pensar en grande, para que las ideas crezcan, a mis hermanos Gustavo, Carlos y Diana, por darme motivos para seguir adelante y su soporte moral, y al amor de mi vida Andrea que estuvo en las buenas y en las malas.*

*Finalmente a todos mis familiares y amigos que de una u otra manera hicieron posible la culminación de la misma.*

## AGRADECIMIENTOS

En primer lugar quiero agradecer a Dios por darme la fuerza y la sabiduría para el cumplimiento de esta Tesis, al igual agradecer a mis padres Gustavo Mejía y Rosa Veintimilla por brindarme la oportunidad de cumplir mis metas como persona y profesional, a mis hermanos Gustavo, Carlos y Diana, por darme motivos para seguir adelante y su soporte moral, y al amor de mi vida Andrea que estuvo en las buenas y en las malas durante el desarrollo de mi investigación.

Mi sincero agradecimiento a la Universidad Nacional de Loja, a la carrera de Ingeniería en Manejo y Conservación de Medio Ambiente, a toda la planta docente y administrativa, por haberme formado como profesional para servicio de la sociedad.

A la Estación Científica "San Francisco" (ECSF), por la oportunidad que me dieron para formar parte de esta gran institución y también por las facilidades que me otorgaron para el cumplimiento de mi tesis, agradecer a los coordinadores de la ECSF a Joerg y Félix Matt

Mi agradecimiento al Ing. Rafael González director de la presente investigación, por ofrecerme su confianza y la posibilidad de realizar este trabajo bajo su dirección, por su apoyo e infinita paciencia, y en especial por sus continuas "dosis de optimismo".

Deseo expresar mis sinceros agradecimientos a las personas que han hecho posible obtener mi título en especial al Ing. Patricio Crespo amigo y tutor, y Amelie Bucker amiga y tutora de la tesis, agradecer infinitamente a la persona quien me llevo hacia ellos el Sr. Gabriel Gaona, agradecer con todo mi corazón a mi compañera de tesis a la Srta. Nathalia Samaniego, agradecer a mis compañeros de aula en especial a Carlos Villavicencio, Johanna Saritama, Gina Calvas, Ximena Ochoa, Luis Balcazar quienes me han brindado sus consejos y conocimientos para un correcto desarrollo de la misma.

Gracias a todos ustedes el día de hoy puedo decir (ahora sí) se acabó.

## Tabla de Contenido

1	INTRODUCCIÓN.....	10
	Objetivos específicos .....	11
2	MARCO TEORICO .....	12
2.1	HIDROLOGÍA.....	12
2.1.1	Ciclo Hidrológico .....	12
2.1.2	Importancia del ciclo hidrológico.....	12
2.1.3	Balance del agua para una cuenca.....	12
2.2	PROCESOS DEL CICLO HIDROLÓGICO. ....	13
2.2.1	La Precipitación.....	13
2.2.2	El Agua del suelo. ....	13
2.2.3	Infiltración y Percolación.....	14
2.2.4	Factores que afectan a las capacidades de Infiltración y Percolación.....	14
2.2.5	La Evaporación. ....	14
2.2.6	La Transpiración. ....	14
2.2.7	La Escorrentía.....	15
2.2.8	Concepto de Sistema Hidrológico.....	16
2.3	CUENCAS HIDROGRÁFICAS .....	16
2.3.1	Componentes de una Cuenca. ....	17
2.3.2	Funciones de una Cuenca Hidrográfica .....	19
2.3.3	Limites de una Cuenca.....	20
2.3.4	Parte Geográfica de una cuenca. ....	21
2.3.5	Tipo de Cuencas. ....	24
2.3.6	Características de las cuencas .....	25
2.4	ESTUDIO DE CAUDALES.....	29
2.4.1	Métodos de Aforo de Caudales .....	30
2.4.2	Curva de Calibración de Caudales .....	32
2.4.3	Registro de Datos de caudal .....	34

	ANÁLISIS DE LA VARIABILIDAD ESPACIAL .....	35
2.5.1	Análisis de Cluster.....	35
2.5.2	Análisis de Cajas (Boxplot).....	36
2.6	CALIDAD DEL AGUA .....	36
2.6.1	Características Físicas y Químicas del Agua .....	37
2.6.2	Características Físicas .....	37
2.6.3	Características Químicas.....	38
3	MATERIALES Y MÉTODOS .....	41
3.1	DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	41
3.1.1	Ubicación Geográfica del área de estudio.....	42
3.1.2	Características del área de estudio.....	42
3.2	MATERIALES.....	45
3.2.1	Materiales y Equipos de campo.....	45
3.2.2	Materiales y Equipos de laboratorio.....	45
3.2.3	Materiales y Equipos de oficina.....	46
3.3	METODOLOGÍA .....	46
3.3.1	Metodología para el primer objetivo.....	46
3.3.2	Metodología para el Segundo objetivo.....	50
3.3.3	Metodología para el Tercer objetivo.....	51
4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	52
4.1.1	Resultados del primer objetivo.....	52
4.1.2	Resultados del segundo objetivo .....	87
4.1.3	Resultados del tercer objetivo.....	98
5	CONCLUSIONES .....	102
6	RECOMENDACIONES .....	105
7	BIBLIOGRAFIA.....	107
8	ANEXOS .....	109



## INDICE DE FIGURAS

**Figura 1.** Esquema del ciclo hidrológico 8

**Figura 2.** Representación gráfica de las partes constitutivas de una cuenca de montaña 18

**Figura 3.** Divisiones de Sección Transversal de un río 27

**Figura Nº 4.** Curva de gasto o de descarga.....31

**Figura Nº5.** Localización de la cuenca de estudio 38

**Figura Nº 6.** Puntos de muestreo dentro de la cuenca 52

**Figura Nº 7.** Curva de descarga y límites de confianza de la estación de aforo “ECQZ” 55

**Figura Nº 8.** Curva de descarga y límites de confianza de la estación de aforo “ECQN”.....56

**Figura Nº 9.** Curva de descarga y límites de confianza de la estación de aforo “ECFH”.....58

**Figura Nº 10.** Curva de descarga y límites de confianza de la estación de aforo “ECQP”.....59

**Figura Nº 11.** Curva de descarga 1 y límites de confianza de la estación de aforo “ECPL”.....60

**Figura Nº 12.** Curva de descarga 2 y límites de confianza de la estación de aforo “ECPL”.....61

**Figura Nº 13.** Curva de descarga 1y límites de confianza de la estación de aforo “ECQR”.....62

**Figura Nº 14.** Curva de descarga 2y límites de confianza de la estación de aforo “ECQR”.....63

**Figura Nº 15.** Curva de descarga 1y límites de confianza de la estación de aforo “ECQM”.....64

**Figura Nº 16.** Curva de descarga 2 y límites de confianza de la estación de aforo “ECQM”.....65

**Figura Nº 17.** Hidrograma de Caudales Medios Diarios de la ECPL 67

**Figura Nº 18.** Hidrograma de Caudales Medios Diarios 67

**Figura Nº 19.** Hidrograma de caudales medios mensuales 69

**Figura Nº 20.** Elementos Co y Al frente al caudal. 70

**Figura Nº 21.** Elementos Mn y Ni frente al caudal. 70

**Figura Nº 22.** Elementos Fe y Ce frente al caudal 70

**Figura Nº 23.** Elementos As y Mg frente al caudal 71

**Figura Nº 24.** Elementos Sr y Ca frente al caudal 71

**Figura Nº 25.** Elemento Na frente al caudal.....71

**Figura Nº 26** Elementos Cl y K frente al caudal 72

**Figura Nº 27.** Elementos V y Li frente al caudal. 72

**Figura Nº 28.** Elementos Mg y Ca frente al caudal. 73

**Figura Nº 29.** Elementos Sr y Zn frente al caudal. 73

**Figura Nº 30.** Elementos Al y Ba frente al caudal 74

**Figura Nº 31.** Elementos Li y Ce frente al caudal 74

**Figura Nº 32.** Elemento Co frente al caudal.....74

**Figura Nº 33.** Elementos Na y As frente al caudal 75

**Figura Nº 34.** Elementos Cl y Na frente al caudal 76

**Figura Nº 35.** Elementos Mg y Zn frente al caudal 76

Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

**Figura N° 36.** Elementos Ar y V frente al caudal 76

**Figura N° 37.** Elementos Ce y La frente al caudal 77

**Figura N° 38.** Elementos Nd y Ba frente al caudal 77

**Figura N° 39.** Elementos Pr y Fe frente al caudal 77

**Figura N° 40.** Elemento Al frente al caudal 78

**Figura N° 41.** Elementos Mg y Fe frente al caudal 78

**Figura N° 42.** Elementos Ca y Cl frente al caudal 79

**Figura N° 43.** Elementos Li y Al frente al caudal 80

**Figura N° 44.** Elementos Co y Ni frente al caudal 80

**Figura N° 45.** Elementos Ce y Ba frente al caudal 80

**Figura N° 46.** Elementos Nd y Fe frente al caudal 81

**Figura N° 47.** Elementos V y Al frente al caudal 82

**Figura N° 48.** Elementos K y Rb frente al caudal 82

**Figura N° 49.** Elementos La y Ce frente al caudal 82

**Figura N° 50.** Elementos Pr y Mn frente al caudal 83

**Figura N° 51.** Elemento Na frente al caudal.....83

**Figura N° 52.** Correlación Caudal . Estacionalidad (Invierno) estación de aforo Quebrada Zurita (ECQZ) 84

**Figura N° 53.** Correlación Caudal . Estacionalidad (verano) estación de aforo quebrada Zurita (ECQZ) 84

**Figura N° 54.** Correlación Caudal . Estacionalidad (invierno) estación de aforo Quebrada Navidad (ECQN) 85

**Figura N° 55.** Correlación Caudal . Estacionalidad (Verano) estación de aforo Quebrada Navidad (ECQN) 85

**Figura N° 56.** Correlación Caudal . Estacionalidad (invierno) estación de aforo Compuerta (ECFH) 85

**Figura N° 57.** Correlación Caudal . Estacionalidad (verano) estación de aforo Compuerta (ECFH) 86

**Figura N° 58.** Correlación Caudal . Estacionalidad (Invierno) estación de aforo Q. Pasto (ECQP) 86

**Figura N° 59.** Correlación Caudal . Estacionalidad (Verano) estación de aforo Q. Pasto (ECQP) 86

**Figura N° 60.** Correlación Caudal . Estacionalidad (Invierno) estación de aforo Planta Eléctrica (ECPL) 87

**Figura N° 61.** Correlación Caudal . Estacionalidad (Verano) estación de aforo Planta Eléctrica (ECPL) 87

**Figura N° 62.** Correlación Caudal . Estacionalidad (Invierno) estación de aforo Q. Ramón (ECQR) 87

**Figura N° 63.** Correlación Caudal . Estacionalidad (Verano) estación de aforo Q. Ramón (ECQR) 88

**Figura N° 64.** Correlación Caudal . Estacionalidad (Invierno) estación de aforo Q. Milagro (ECQM) 88

**Figura N° 65.** Correlación Caudal . Estacionalidad (Verano) estación de aforo Q. Milagro (ECQM) 88

**Figura N° 66.** Correlación Calidad . Estacionalidad de la estación de aforo Q. Zurita (ECQZ) 90

Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

Figura Nº 67. Correlación Calidad . Estacionalidad de la estación de aforo Q. Navidad (ECQN) 90

Figura Nº 68. Correlación Calidad . Estacionalidad de la estación de aforo Compuerta (ECFH) 91

Figura Nº 69. Correlación Calidad . Estacionalidad de la estación de aforo Q. Pastos (ECQP) 91

Figura Nº 70. Correlación Calidad . estacionalidad de la estación de aforo planta eléctrica (ECPL) 91

Figura Nº 71. Correlación Calidad . Estacionalidad de la estación de aforo Q. Ramón (ECQR) 92

Figura Nº 72. Correlación Calidad . Estacionalidad de la estación de aforo Q. Milagro (ECQM) 92

Figura Nº 73. Análisis de Cajas de todas las estaciones de aforo 94

### INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Análisis morfométrico de la Cuenca San Francisco 49

Cuadro 2. Días Medidos por mes en cada una de las estaciones de aforo 53

Cuadro 3. Datos de Caudales Mensuales 68

Cuadro 4. Valores de las correlaciones Caudal . Estacionalidad 89

## RESUMEN

El presente trabajo se lo realizó en la cuenca hidrográfica del río San Francisco en la provincia de Zamora Chinchipe, la cual tiene un área de 85,39 km<sup>2</sup> y 40 km de perímetro, tiene un índice de compacidad (K) de *Gravelius*, de 1,21 por lo que se la clasifica como una cuenca **casi redonda a oval redonda**, significando que esta cuenca es propensa a crecidas violentas o rápidas y de gran magnitud, con una densidad de drenaje 1.22 km/km<sup>2</sup>, por lo que según las leyes de Horton; es una cuenca medianamente drenada; esto puede deberse a dos factores: uno el tipo de geología que presenta la cuenca y la otra por la intervención antrópica, principalmente por la deforestación. Geográficamente el área de estudio se encuentra entre las coordenadas N: 9563100 m 9553700 m, coordenadas E: 705500 m 717900 m. Se propusieron 3 objetivos específicos: 1 *Obtener la información necesaria para conocer la variabilidad temporal y espacial de la cantidad y calidad de agua en la cuenca del río San Francisco (Provincia de Zamora Chinchipe)*, 2. *Analizar la variabilidad temporal y espacial de la cantidad y calidad del agua en la cuenca del río San Francisco (Provincia de Zamora Chinchipe)*, 3. *Identificar las posibles causas de la variabilidad temporal y espacial de la cantidad y calidad del agua en la cuenca del río San Francisco (Provincia de Zamora Chinchipe)*. La información para el análisis ha sido recopilada en los siguientes términos: análisis morfométrico de la cuenca de estudio, construcción de curvas de descarga, para calibrar esta curva se utilizó sensores de presión que capturaron datos cada 5 minutos para el nivel del agua, y para el caudal se aforo el mayor número de veces que se pudo y se utilizaron frascos de 50 ml para la toma de muestras de agua. Por la accesibilidad y secciones de aforo se determinaron 7 estaciones de aforos, ECQN, ECQZ, ECFH, ECQP, ECQM, ECQR, ECPL. En lo que tiene que ver con la cantidad se obtuvo caudales cada 5 minutos, siendo la ECPL la estación donde se registro el mayor caudal instantáneo (114,4 m<sup>3</sup>/s), lo que nos indica que esta cuenca en tiempo de invierno es muy peligrosa y la respuesta a la precipitación es muy rápida. En

to que tiene que ver con la cantidad La extracción de material pétreo, que se da en las estaciones de aforo ECQN y ECQZ, es posiblemente un factor determinante para que la calidad de agua entre estas dos estaciones, tenga una similaridad, mientras que en las estaciones de aforo ECFH, ECQR, ECPL, ECQM, poseen una similaridad, la cual puede deberse a la presencia de vegetación natural y secundaria, así mismo se determinaron que los elementos químicos Co, Al, Mn, Ni, Fe, Ce, Ba, Li, V, La, Nd, Pr, aumentan su concentración a mayor caudal, debido al lavado de la hojarasca por parte de la precipitación, mientras que los elementos As, Mg, Sr, Ca, Na, Cl, Zn, disminuyen su concentración a mayor caudal, por la absorción en parte de estos elementos por las raíces.

### SUMMARY

This work was conducted in the watershed of the San Francisco River in the province of Zamora Chinchipe, which has an area of 85.39 km<sup>2</sup> and 40 km perimeter, has an index of compactness (K) of Gravelius of 1,21 it is classified as a basin round-oval to almost round, meaning that this basin is prone to violent flooding or rapid and high magnitude, with a drainage density of 1.22 km/km<sup>2</sup>, so by the laws of Horton, a basin is drained medium, this may be due to two factors: one type shows that the basin geology and the other by human intervention, mainly because of deforestation. Geographically the study area is located between the coordinates N: 9563100 m 9553700 m, coordinates E: 705,500 m 717,900 m Proposed 3 specific aims: 1 Get the information you need to know the temporal and spatial variability of the quantity and quality of water in the river San Francisco (Province Zamora Chinchipe), 2. To analyze the temporal and spatial variability of the quantity and quality of water in the river San Francisco (Province Zamora Chinchipe) 3. Identificar possible causes of the temporal and spatial variability of the quantity and quality of water in the basin San Francisco River (Province of Zamora Chinchipe). Information for analysis was collected as follows: morphometric analysis of the watershed study, construction of discharge curves for this curve was used to calibrate pressure sensors that capture data every 5 minutes for the water level, and flow capacity is the maximum number of times it was used and 50 ml bottles for taking water samples. For accessibility and seating sections were

determined 7 gauging stations, ECQN, ECQZ, ECFH, ECQP, ECQM, ECQR, ECPL. As is the flow quantity was 5 minutes each, with ECPL station which has the highest instantaneous flow (114.4 m<sup>3</sup> / s), suggesting that this basin during the winter is very dangerous and the response to precipitation is very fast. In what has to do with the amount of material stone extraction, which occurs in the gauging stations ECQN and ECQZ, is probably a determining factor for the quality of water between these two stations have a similar, whereas in ECFH gauging stations, ECQR, ECPL, ECQM have one similarity, which may be due to the presence of natural vegetation and secondary education, we also found that the chemical elements Co, Al, Mn, Ni, Fe, Ce, Ba, Li, V, La, Nd, Pr, increase their concentration at higher flow rates, due to washing of the litter from precipitation, while the elements As, Mg, Sr, Ca, Na, Cl, Zn, lower your concentration at higher flow rates, in part by the absorption of these elements by the roots.



## **1 INTRODUCCION**

La variabilidad temporal ha sido muy estudiada a nivel mundial, pero la espacial es un campo de muy reciente interés (Vaes et al., 2001). La distribución espacial ha tomado importancia en los últimos veinte años, particularmente con el desarrollo de tecnología informática y métodos de distribución desarrollados en bases computacionales, con aplicaciones en modelos distribuidos, los cuales se basan en la generación de información a escala espacial de varios parámetros relacionados con el clima, suelos, vegetación, topografía y geología. (Woods, 2004).

En la región Sur del Ecuador las investigaciones sobre la variabilidad temporal y espacial de la cantidad y calidad del agua son escasas y no han tenido continuidad, teniendo en cuenta que estos dos temas (cantidad y calidad), se los toma por separado, los resultados obtenidos a partir de los estudios han quedado al margen y solo se les ha dado uso durante las etapas iniciales de diferentes proyectos que tienen relación con el tema.

Las instituciones encargadas del manejo ambiental, en especial del agua y del suelo, en nuestro medio han suspendido los análisis y monitoreos emprendidos para los diferentes proyectos por causas de diversa índole relacionadas con aspectos políticos y socioeconómicos del país, a pesar de la importancia que tienen estas investigaciones tanto para un manejo ambiental adecuado como para la economía y sostenibilidad de los proyectos.

Mediante modelos matemáticos actualmente disponibles y a través del conocimiento de los parámetros hidráulicos de un río es posible la estimación de la cantidad de agua que pasa por un cauce, sin embargo esto puede llevarnos a cometer graves errores, principalmente debidos a que los modelos matemáticos conocidos hasta ahora no son de uso

universal y se restringen a ciertas situaciones específicas bajo las cuales fueron concebidos al igual que los parámetros que intervienen en ellos, los cuáles generalmente son producto de experiencias en un determinado número de ríos que presentan condiciones similares y pertenecen a zonas geográficas específicas del planeta.

Es por eso que en la presente investigación se pretende dar un carácter semiempírico al tema del de la variabilidad temporal y espacial del agua y está enfocado a los niveles (altura del agua) y características químicas del agua del Río San Francisco y sus afluentes principales (Provincia de Zamora Chinchipe).

Los objetivos propuestos para desarrollar el presente estudio fueron:

### **Objetivo general**

*Conocer la variabilidad temporal y espacial de la cantidad y calidad de agua en la cuenca del río San Francisco (Provincia de Zamora Chinchipe)+*

### **Objetivos específicos**

- 1. Obtener la información necesaria para conocer la variabilidad temporal y espacial de la cantidad y calidad de agua en la cuenca del río San Francisco (Provincia de Zamora Chinchipe)*
- 2. Analizar la variabilidad temporal y espacial de la cantidad y calidad del agua en la cuenca del río San Francisco (Provincia de Zamora Chinchipe)*
- 3. Identificar las posibles causas de la variabilidad temporal y espacial de la cantidad y calidad del agua en la cuenca del río San Francisco (Provincia de Zamora Chinchipe)*



## **2 MARCO TEORICO**

El fundamento teórico que se tomo en cuenta para el desarrollo de esta investigación se la detalla a continuación:

### **2.1 HIDROLOGÍA**

La hidrología es la ciencia natural que estudia al agua, su ocurrencia circulación y distribución en la superficie terrestre, sus propiedades físicas y químicas y su relación con el medio ambiente incluyendo a los seres vivos. (Villón 2002)

#### **2.1.1 Ciclo Hidrológico**

El agua es una de las cuatro necesidades básicas de la vida; decimos que la luz, el aire, el agua y el suelo son las cuatro necesidades básicas de la vida, porque sin estos la vida no podría existir en la Tierra. Las plantas para producir el alimento necesitan de estos cuatro elementos y el hombre para poder vivir depende de las plantas. (Bustamante 1993)

#### **2.1.2 Importancia del ciclo hidrológico.**

Es muy importante para estudiar el agua y la influencia que nosotros podemos tener en ella desde la precipitación sobre la tierra hasta el regreso de ésta, bien sea a la atmósfera o a los océanos. El ciclo hidrológico sirve para destacar cinco fases básicas de interés para nosotros: precipitación, evaporación y transpiración, escorrentía superficial, interceptación y aguas subterráneas. (Bustamante 1993)

#### **2.1.3 Balance del agua para una cuenca.**

Como se puede apreciar, el ciclo hidrológico es importante en el manejo de una cuenca por cuanto el representa su contabilidad hidrológica, es decir la perdida y la ganancia de agua, las cuales se determina a través de ecuaciones. (Bustamante 1993)

## 2.2 PROCESOS DEL CICLO HIDROLÓGICO.

Los factores más importantes que interviene dentro del ciclo hidrológico se detallan a continuación:

### 2.2.1 La Precipitación.

Es el resultado del enfriamiento de las masas de aire caliente saturadas de agua, las cuales, al perder temperatura por el ascenso a niveles superiores, se condensan formando pequeñas gotas, que se precipitan a la tierra en forma de lluvia. La precipitación es un fenómeno muy variable en el espacio y tiempo.

La precipitación es un fenómeno (meteorológico) que se sucede en la atmósfera (capa de aire que rodea la tierra).

En una cuenca principal es muy probable que ocurra una lluvia sobre toda la superficie, y las variaciones que presenta el cauce principal, son un reflejo de los fenómenos ocurridos en cuencas pequeñas o subcuencas.

(Microsoft® Encarta® 2006. © 1993-2004 Microsoft Corporation. Reservados todos los derechos)

### 2.2.2 El Agua del suelo.

Desde el punto de vista hidrológico, el suelo desempeña el papel de una serie de cedazos, que permiten la infiltración del agua en él, y en donde parte se retiene dando lugar al almacenamiento de agua por retención capilar; la otra parte percola hacia niveles inferiores dando origen al almacenamiento no capilar o temporal. En el primer caso, el agua de retención capilar es aprovechada por las plantas, pero parte se pierde por evaporación; en el segundo caso, el movimiento de agua es hacia abajo por gravedad a través de poros bastante grandes (macro poros), y el agua es aprovechada por las corrientes laterales a aguas freáticas. (Monsalve. 1999)

### **2.2.3 Infiltración y Percolación.**

Infiltración es la entrada de agua en el suelo. La capacidad de infiltración es la velocidad máxima a la cual puede penetrar agua a la superficie del suelo. La infiltración está sujeta al estado del horizonte superficial del suelo, cuyas condiciones determinan si las precipitaciones se convierten o no en escorrentía.

Se denomina percolación al movimiento de agua a través del suelo hacia niveles inferiores, la capacidad de percolación es la capacidad máxima a la cual el agua puede moverse a través del suelo. (Monsalve. 1999)

### **2.2.4 Factores que afectan a las capacidades de Infiltración y Percolación**

- ☞ El tamaño y número de los poros no capilares.
- ☞ El contenido de materia orgánica en el suelo.
- ☞ El tipo de suelo, la textura y la estructura.
- ☞ El contenido de humedad y ensanchamiento.
- ☞ Los bosques favorecen a la infiltración.
- ☞ La capacidad de Infiltración y Percolación.

### **2.2.5 La Evaporación.**

La evaporación es el fenómeno por el cual el agua vuelve a la atmósfera en forma de vapor. La extracción de humedad del suelo por medio de la evaporación, proporciona a la precipitación oportunidad para almacenarse en el suelo. (Monsalve. 1999)

### **2.2.6 La Transpiración.**

La transpiración es la evaporación de humedad por el follaje. Es quizá el más complejo de todos los procesos evaporativos, ya que

depende de las condiciones meteorológicas, de las condiciones de las plantas en sí y de las condiciones hídricas del suelo.

### 2.2.7 La Escorrentía.

Es la cantidad de agua de una tormenta, que drena o escurre sobre la superficie del suelo. Cuando ocurre lluvias más intensas o frecuentes, el agua llega hasta la superficie, produciéndose por un lado, la infiltración y por otro lado, la saturación del suelo y la escorrentía. (Monsalve 1999)

Cuando ocurre escorrentía, esta fluye a los cauces, incrementando su volumen a medida que llega agua de las partes más lejanas, y comienza a decrecer el caudal suavemente al poco tiempo de determinar la lluvia. (Monsalve 1999)

Un esquema del ciclo hidrológico se indica en la siguiente figura:

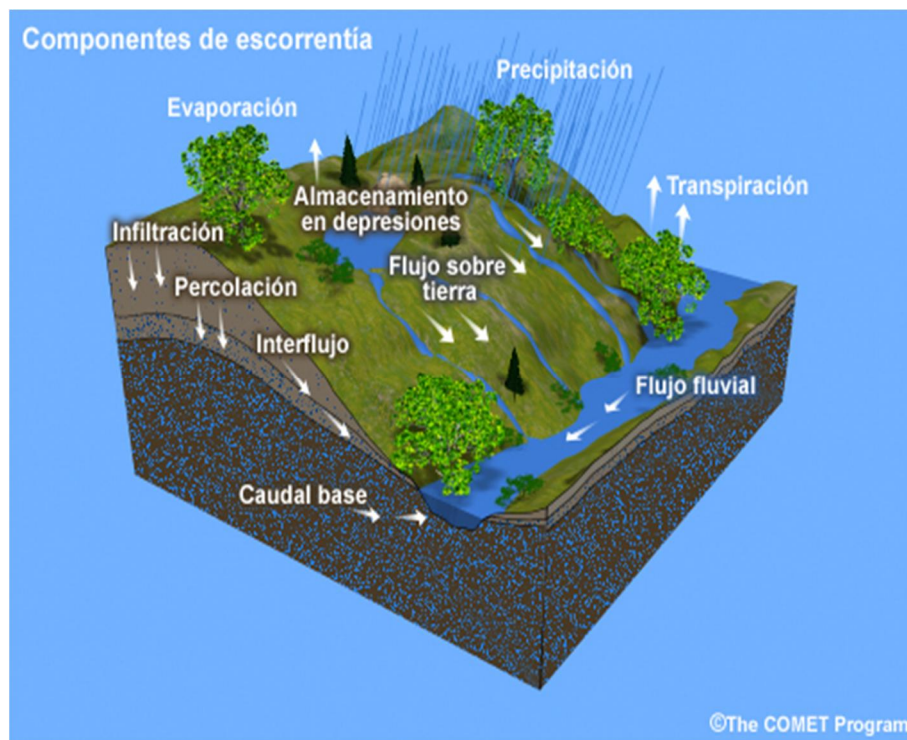


Figura 1. Esquema del ciclo hidrológico

## 2.2.6 Concepto de Sistema Hidrológico

El ciclo hidrológico es un fenómeno muy complejo que posiblemente por la gran cantidad de variables que interviene nunca se llegue a entender en su totalidad. Para simplificar y entender el problema, los hidrólogos han introducido el concepto de *sistema* para entender el ciclo hidrológico y de esta manera lograr su aplicación en la solución de problemas de ingeniería hidráulica.

Por lo tanto, el ciclo hidrológico puede considerarse como un sistema cuyos componentes (en las formas más simplificadas) son la precipitación, escorrentía superficial, evaporación, el flujo subterráneo de agua, y de otras partes del ciclo hidrológico de interés.

Si aplicamos el concepto de sistema al ciclo hidrológico, es decir, considerando como un sistema hidrológico, este se puede definir como un espacio con sus límites de frontera que tienen entradas de agua que trabajan dentro de el y producen salidas de agua.

La ventaja de aplicar el concepto de sistema hidrológico es que se puede simplificar la gran cantidad de variables que intervienen en el proceso. Para efectos prácticos, se considera que la principal entrada del sistema es la precipitación y las salidas igualmente son el caudal y la evaporación. (Vásquez 2000)

## **2.3 CUENCAS HIDROGRÁFICAS**

Desde el punto de vista hidrológico, una cuenca es una porción de superficie terrestre donde todas las aguas de precipitación se unen para formar un solo curso de agua. El área de la cuenca está limitada por la **divisoria de agua**, que es una línea que separa la superficie del terreno cuyo drenaje fluye hacia el curso de agua. (Vásquez 2000)

La cuenca de drenaje de una corriente, es el área de terreno donde todas las aguas caídas por la precipitación, se unen en uno solo para formar un

sojo curso de agua. Cada curso tiene una cuenca bien definida, para cada punto de su recorrido. (Máximo Villón 2002)

En relación a la clasificación de las cuencas hidrográficas, ésta es bastante subjetiva, pero en general se las puede clasificar atendiendo a su tamaño de la siguiente manera:

**Cuenca grande:** Es aquella en la que predominan las características fisiográficas de la misma (pendiente, elevación, área, cauce). Una cuenca, para fines prácticos, se considera grande, cuando el área es mayor a 250 km<sup>2</sup>.

**Cuenca pequeña:** es aquella que por su área responde muy rápido a las lluvias de fuerte intensidad y pequeña duración, y en la cual las características físicas (tipo de suelo, vegetación) son más importantes que las del cauce. Se considera cuenca pequeña aquella cuya área varía desde unas pocas hectáreas hasta un límite, que para propósitos prácticos, se considera 250 km<sup>2</sup>.

No necesariamente se analiza con el mismo criterio una cuenca pequeña que una grande. Para una cuenca pequeña, la forma y la cantidad de escurrimiento están influenciadas principalmente por las condiciones físicas del suelo; por lo tanto, el estudio hidrológico debe enfocarse con más atención a la cuenca misma, mientras que para una cuenca muy grande, el efecto de almacenaje del cauce es muy importante, por lo cual deberá dársele también atención a las características de éste último. (Villón, 2002)

### **2.3.1 Componentes de una Cuenca.**

#### **2.3.1.1 Factores Físicos.**

Son los que tienen que ver con el relieve, la corteza terrestre y los elementos naturales que la modifican, estos factores físicos son:

- ☞ **El relieve.-** La forma del terreno, sus elevaciones y desigualdades, tienen gran importancia cuando se refiere al manejo de cuencas hidrográficas por el hecho de que están ligadas con la formación de los suelos, el drenaje, el interno, la erosión, etc. (González, 1999)
- ☞ **La topografía.-** está ligada al relieve se encuentra la topografía, ya que las diferencias de elevación y de pendiente, aun cuando sean demasiado pequeño, estando estrechamente ligados con la diferencia de drenaje, que tiene influencia en la formación del suelo y en el uso que se le pueda dar. (González, 1999)
- ☞ **La hidrología.-** este hace referencia al régimen de caudales o sea al volumen de escorrentia, sedimentación y clasificación de corrientes en temporales y permanentes. (González, 1999)
- ☞ **La hidrografía.-** se refiere al las subcuencas que hacen parte de la cuenca y en general al análisis morfométrico del área de captación de la cuenca y su red de drenaje. (González, 1999)
- ☞ **La geología.-** es la que determina la red hidrográfica y el tipo de roca y suelo que predomina en una región. (González, 1999)

### **2.3.1.2 Factores Biológicos.**

Son aquellos que tienen vida en la cuenca:

- ☞ **El suelo.-** es necesario estudiar todas las características de los suelos, su material de origen, su relieve, la pendiente, la erosión, la fertilidad, etc. (González, 1999)
- ☞ **La vegetación.-** incluyen los bosques naturales, artificiales, las clases de cultivos existentes, las praderas naturales, y otros tipos de cubierta vegetal. (González, 1999)

- **La fauna.-** cumple un papel muy importante como integrante activo de los ecosistemas, participando en el ciclo de formación de nutrientes, cadenas tróficas, estructura de medios biológicos para el hombre. (González, 1999)
- **La ecología.-** es importante estudiar la cuenca desde el punto de vista ecológico, tanto en áreas que están en estado natural como en áreas que han sido intervenidas y usadas con fines diferentes a lo silvestre. (González, 1999)

### **2.3.2 Funciones de una Cuenca Hidrográfica**

Las cuencas hidrográficas cumplen muchas funciones, entre las principales se mencionan:

- **Función Hidrológica:** Las cuencas hidrográficas cumplen esta función, cuando receptan el agua de las diferentes fuentes de precipitación, la almacenan y posteriormente la distribuyen a través de los manantiales y ríos durante distintos momentos a lo largo del tiempo (Jiménez, 2005).
- **Función Ecológica:** Provee diversidad de espacios a través de los cuales se completa el ciclo hidrológico, en donde a su vez, se llevan a cabo interacciones entre las características de calidad física y química del agua. Además provee de hábitat para la flora y fauna que constituyen los elementos biológicos del ecosistema y que se encuentran en interacción directa con el agua (Jiménez, 2005).
- **Función Ambiental:** Las cuencas hidrográficas, constituyen verdaderos sumideros de Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>), regulan la recarga hídrica y los ciclos biogeoquímicos, albergan bancos de germoplasma y contribuyen a conservar la biodiversidad (Jiménez, 2005).



- **Función Socioeconómica:** Suministra recursos naturales para el desarrollo de actividades productivas que dan sustento a la población, provee de un espacio para el desarrollo social y cultural de la sociedad. La cuenca constituye una unidad espacial ecogeográfica relevante para analizar los procesos ambientales generados como consecuencia de las decisiones en materia de uso y manejo de los recursos agua, suelos y vegetación. Por lo tanto, constituye un marco apropiado para la planificación de medidas destinadas a corregir impactos ambientales producto del uso y manejo de los recursos naturales (Jiménez, 2005).

### **2.3.3 Límites de una Cuenca.**

Para limitar una cuenca hay que tener en cuenta la topografía del terreno, los límites de la cuenca son las partes más altas a su alrededor, estos límites topográficos más altos se llaman divisorias o divorcios de agua, por ser estos puntos una línea de separación con las cuencas adyacentes. La divisoria de agua sigue al rededor de la cuenca y solamente atraviesas el río en el punto de desagüe.

Dentro de la cuenca puede existir un cerro aislado que alcance elevaciones superiores a las que posee la divisoria de agua. El divorcio de agua de una cuenca divide la precipitación que cae en la cuenca adyacente y dirige el drenaje hacia uno u otro sistema de flujo.

Existen dos clases de divorcios de agua:

- ☞ El divorcio Topográfico.- este es el que divide hacia cual de las dos cuencas adyacentes irá la precipitación.
- ☞ El divorcio Freático.- es el que divide el drenaje del agua que va por debajo del suelo o subterráneamente, conocido como agua freática.

### 2.3.4 Parte Geográfica de una cuenca.

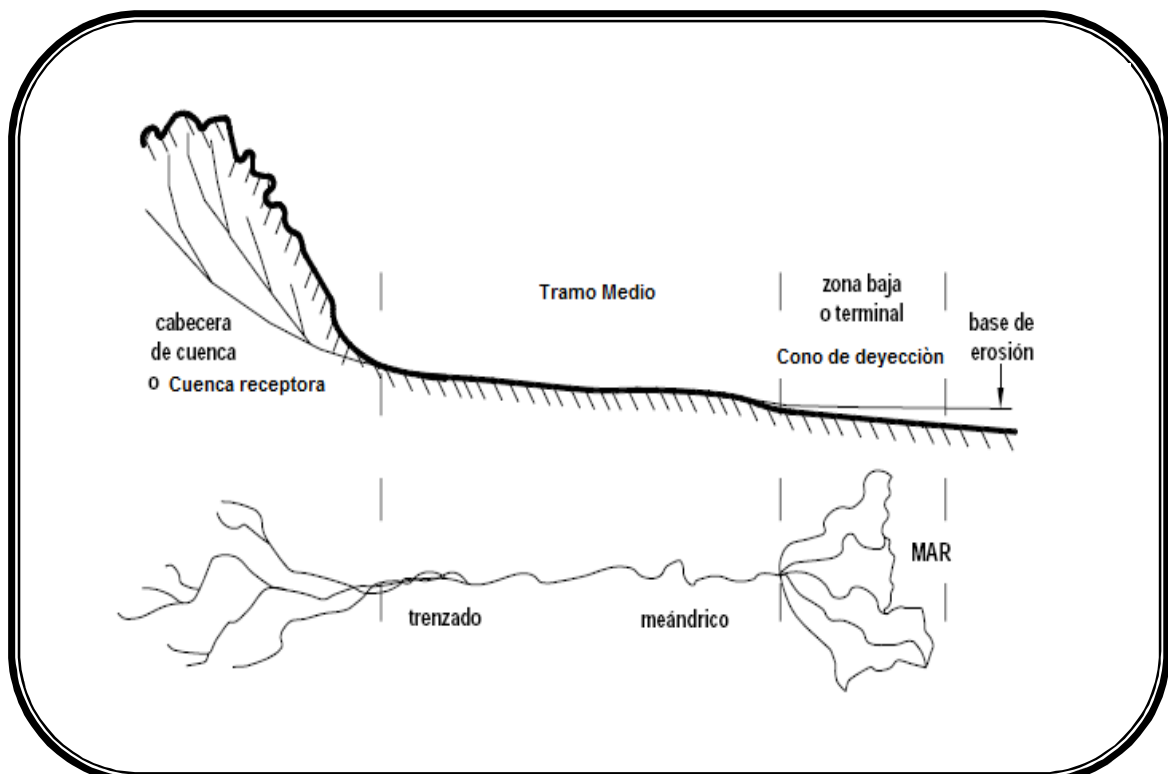


Figura N 2. Representación gráfica de las partes constitutivas de una cuenca de montaña.

En una cuenca hidrográfica se puede distinguir tres partes:

- **La cuenca receptora**, es la zona de mayor altura; presenta cursos de agua pequeños con caudales bajos pero con grandes crecidas, flujo supercrítico (cuando las fuerzas de inercia son mayores que las fuerzas gravitacionales), con altas velocidades debido a las fuertes pendientes que caracterizan esta zona. De este sector proviene la mayor parte de los volúmenes de escurrimiento y es el de mayor aporte de sedimentos. La erosión es un factor decisivo para este fenómeno, interviniendo factores como: topografía, propiedades físicas y químicas de los suelos, cobertura vegetal, uso del suelo y régimen de precipitaciones.

Los procesos en las partes altas de la cuenca invariablemente tienen repercusiones en la parte baja dado el sentido de flujo del

agua. En este contexto, los bosques en las cabeceras de las cuencas cumplen una importante función reguladora ya que controlan la cantidad y temporalidad del flujo del agua, y también protegen los suelos de ser arrastrados por el agua con la consecuente sedimentación y degradación de los ríos, y la pérdida de fertilidad en las laderas.

- **El tramo medio de la cuenca**, es por lo regular de topografía encajonada entre abruptos taludes, es más estrecho que las otras dos zonas y la solera de su lecho tiene pendientes acentuadas, aunque de menor magnitud que las que presenta la cuenca receptora. En este sector se ocasionan procesos de erosión y el flujo de agua adquiere gran capacidad de transporte. A consecuencia de la erosión de fondo, el nivel de la solera disminuye progresivamente, aumentando la altura de los taludes laterales en la misma proporción, lo que puede provocar la inestabilidad de las riberas. Los cambios morfológicos se presentarán en función de la resistencia que ofrezcan los suelos componentes del perímetro hidráulico a la acción de las tensiones de corte del flujo.
- **El cono de deyección**, es el área donde se deposita la mayor parte del material generado por erosión en la cuenca receptora y en el tramo medio. La trayectoria del flujo cambia continuamente en razón a las características de zona de bajas pendientes y lecho aluvial. La condición de menor capacidad de transporte de sedimentos, dará lugar a que los sedimentos sean depositados de manera desordenada, generando continuos cambios de dirección en el flujo y elevación del cauce.

En las cuencas de montaña, los ríos o torrentes, presentan pendientes bastante pronunciadas y diferencias considerables entre los caudales de crecida y de estiaje. Durante la época húmeda conducen caudales grandes y en época seca los caudales de escurrimiento son pequeños,

llegando en muchos casos a no tener escurrimiento superficial. Además suelen mover importantes volúmenes de suelo en época húmeda, mientras que durante los meses de estiaje el proceso de transporte de sedimentos se detiene. (Matos, 1999).

Entre las características más sobresalientes de los ríos de montaña se pueden mencionar las siguientes:

- Poseen pendientes longitudinales fuertes pudiendo llegar éstas al 10% y en algunos casos a más, dependiendo de la morfología de la cuenca hidrográfica a la cual pertenecen y de los materiales que constituyen los suelos de la misma. Debido a las fuertes pendientes que se presentan en las zonas altas, generalmente ocasionan un régimen súper crítico- turbulento, que puede forma transportar material sólido, tanto en suspensión como de arrate.
- Presentan flujos altamente turbulentos y movimientos estocásticos (Fenómeno cuya evolución en el tiempo es aleatoria) de los sedimentos como resultado de la fuerte pendiente del río.
- Presentan crecidas súbitas causadas por aguaceros de corta duración y que llevan gran cantidad de material sólido.
- En estiaje el agua es relativamente cristalina pero contiene una pequeña concentración de sedimentos muy finos.

En los ríos de montaña en equilibrio, los cambios se manifiestan luego de largos períodos de tiempo, debido a la estabilidad de sus suelos y a la protección que representa la vegetación. En los ríos de montaña en desequilibrio, las condiciones de régimen no se presentan, por que los cambios son más rápidos. El desequilibrio se origina debido a la inestabilidad geológica, movimientos de masas por erosión o por intervención antrópica (agricultura, minería, vías de comunicación, etc.).

### 2.3.3 Tipo de Cuencas.

Según la clase de vertiente hay tres tipos de cuencas.

- ☞ **Tipo Embudo.-** este tipo de cuencas concentran las aguas de escorrentía en una red densa muy ramificada, las vertientes son muy empinadas, de pendientes fuertes, poco alargadas e importante volumen rocoso, predominan los materiales rocosos en su composición. Las características son:
  - \* Pendiente fuerte: 30° - 40°
  - \* Rocas impermeables.
  - \* Suelos finos
  - \* Crecidas de fuertes intensidades.
  - \* Forma de poca alargada
  - \* Red densa y ramificada
  - \* Índice de homogeneidad pequeño.
  
- ☞ **Tipo Corredor.-** son las cuencas de zonas calcáreas, poseen grandes superficies planas de mesetas, calcáreas o ligeramente onduladas en los paramos. Un solo valle se entalla en profunda garganta, los escasos afluentes igualmente encajonados, son casi siempre muy cortos, siendo muy alargadas y poco o nada asimétricas.
  
- ☞ **Tipo Canalón.-** se encuentran en terrenos planos en formaciones geológicas, pacientes; las cuencas son muy alargadas parecidas al tipo embudo pero las pendientes de las vertientes son muy suaves. Las formas pueden ser alargadas o cuadradas, con un coeficiente asimétrico superior a uno.

## **2.3.6 Características de las cuencas**

El comportamiento de una cuenca hidrográfica puede determinarse por medio del conocimiento de sus características físicas, fluvio . morfológicas, climáticas, geológicas, etc., que le identifican.

### **2.3.6.1 Morfometría de las cuencas**

Las características de una cuenca y de las corrientes que forman el sistema hidrográfico pueden representarse cuantitativamente, por lo que pueden utilizarse para caracterizar y comparar cuencas de diferentes tamaños.

#### **2.3.6.1.1 Parámetros de Forma**

- **Área:** a través **Í** Es la superficie de la cuenca encerrada por la divisoria topográfica+(Henao 1998). El área se determina con un planímetro o con sistemas informáticos creados para analizar cuencas. Se mide en kilómetros cuadrados y en hectáreas cuando la cuenca es pequeña.
- **Perímetro:** Es la línea divisoria de agua, es decir los límites de la cuenca.
- **Longitud axial:** **Í** Es la distancia existente entre la desembocadura y el punto más lejano de la cuenca. Es el mismo eje de la cuenca+(Henao 1998).
- **Ancho promedio:** **Í** El ancho promedio de la cuenca se encuentra dividiendo el área de la cuenca por su longitud axial, así:+(Henao 1998)

$$\text{Ancho promedio} = \frac{\text{área}}{\text{Longitud axial}}$$

- **Forma de la Cuenca:** **Í** La forma de la cuenca controla la velocidad con que el agua llega al cauce principal, cuando sigue su curso,

desde el origen hasta la desembocadura+ (Henao 1998). Los índices que determinan este factor, son:

**Factor de Forma:** Relaciona el ancho promedio y la longitud axial de la cuenca y da alguna indicación de la tendencia de la misma con las crecidas.

$$Ff = \frac{\text{Ancho promedio}}{\text{Longitud axial}}$$

Las cuencas cuyos factores de forma son bajos, tienen menor tendencia a tener lluvias intensas y simultaneas sobre la superficie, que un área de igual tamaño o con una cuenca cuyo factor de forma es mayor (Henao 1998).

**Coeficiente de compacidad:** Es el resultado de dividir el perímetro de la cuenca por el perímetro de un círculo de igual área que la de la cuenca; es otro índice de forma. Para hallarlo se utiliza la siguiente fórmula:

$$Kc = \frac{P}{2\sqrt{\pi \cdot A}}$$

Donde:

Kc: es el coeficiente de compacidad (Tabla 1.)

P: perímetro de la cuenca

$\pi$ : Signo  $\pi$  que es igual a 3,1416

A: área de la cuenca

Este coeficiente está relacionado con el tiempo de concentración, que es el tiempo que tarda una gota de lluvia en moverse desde la parte más lejana de la cuenca hasta el desagüe; en este momento ocurre la máxima concentración de agua en el cauce, puesto que está llegando gotas de lluvia de todos los puntos de la cuenca.

Tabla 1. Clases de forma

Clase de forma	Rangos de clase	Forma de la cuenca
Clase $Kc_1$	1,0 - 1,25	Tendencia a ser redonda a oval . redonda
Clase $Kc_2$	1,25 - 1,50	Tendencia a ser Oval . redonda a oval . oblonga
Clase $Kc_3$	1,50 - 1,75	Tendencia a ser Oval . oblonga a rectangular . oblonga

A medida que el coeficiente ( $Kc$ .) tiende a 1,0, sea cuando la cuenca tiende a ser redonda, aumenta la peligrosidad de la cuenca a las crecidas, porque las distancias relativas de los puntos de la divisoria con respecto a uno central, no presentan diferencias mayores y el tiempo de concentración se hace menor, por lo tanto mayor será la posibilidad de que las ondas de crecida sean continuas+(Henao 1998).

### 2.3.6.1.2 Parámetros de Relieve

- **Elevaciones o altitud de la cuenca:** El estudio de las elevaciones es uno de los factores físicos que facilitan el análisis del movimiento del agua en una cuenca. Estas altitudes están relacionadas con la precipitación y la temperatura, ejerciendo ésta última mayor influencia en la evaporación, pues aumenta o disminuye la pérdida del agua. Se ha establecido dos métodos para determinar este factor: altitud media y mediana de altitud+(Henao 1998).
- **Pendiente de la Cuenca:** Ésta característica controla en buena parte la velocidad con que se da la escorrentía superficial y afecta, por lo tanto, el tiempo que lleva el agua de la lluvia para concentrarse en los lechos fluviales que constituyen la red de drenaje de las cuencas+(Henao 1998).



- **Coefficiente de masividad o De Martonne (Cm):** Como la altura media de la cuenca no es representativa del relieve, ya que existen cuencas con idéntica altura media de relieves totalmente diferentes, se han ideado otras relaciones indicadoras del relieve con respecto a la altura media; una de ellas es el coeficiente de masividad establecido por De Martonne, y que resulta de dividir la altura media de una cuenca ( $H_m$ , en Km) entre su superficie proyectada ( $A$ , en  $Km^2$ ). Su expresión matemática es:

$$Cm = \frac{Hm}{A}$$

El coeficiente de masividad ( $Km/Km^2$ ) crece, mientras que la altura media del relieve aumenta y la superficie de la cuenca disminuye, lo cual indica alta susceptibilidad a fenómenos de torrencialidad. Por consiguiente, toma valores bastante grandes para cuencas muy pequeñas y montañosas, mientras que por el contrario, disminuye para las cuencas extensas con poco relieve acentuado. (<http://www.uniamazonia.edu.com>)

### 2.3.6.1.3 Parámetros De Drenaje

- **Densidad de Drenaje.** Es la relación entre la longitud total de los cursos de agua de la hoya y su área total, y se expresa de la siguiente manera:

$$Dd = \frac{\sum L}{A}$$

Donde:

$\sum L$  = sumatoria de todas las longitudes de los ríos

$A$  = área de la cuenca

- **Orden de las Corrientes:** Es una clasificación que proporciona el grado de bifurcación dentro de la cuenca. El procedimiento más común para esta clasificación, es considerar como corrientes de orden uno, a aquellas que no tienen ningún tributario; de orden dos, a las que solo tienen tributarios de orden uno, de orden tres, a aquellas corrientes con dos o más tributarios de orden dos, y así sucesivamente.

Dependiendo del tipo escurrimiento y condiciones climáticas estas corrientes pueden ser:

- **Efímeras:** Son aquellas que sólo llevan agua cuando llueve e inmediatamente después.
- **Intermitente:** Lleva agua la mayor parte del tiempo, pero principalmente en época de lluvia, su aporte cesa cuando el nivel freático desciende por debajo del fondo del cauce.
- **Perenne:** Contiene agua todo el tiempo, ya que aún en época de sequía es abastecida continuamente, pues el nivel freático siempre permanece por arriba del fondo del cauce.

## 2.4 ESTUDIO DE CAUDALES

El caudal o gasto de un río representa el volumen de agua que pasa por una sección dada durante la unidad de tiempo, se expresa generalmente en metros cúbicos por segundo, y son variables en tiempo y en el espacio. El caudal no es constante en el recorrido del río sino que normalmente se incrementa por la incorporación de nuevos aportes (afluentes, escurrimiento, etc). Esta evolución se puede representar en hidrogramas. (Monsalve 1999).

### 2.4.1 Metodos de Aforo de Caudales

El aforo es la operación de medición del caudal en una sección de un curso de agua. En los ríos se mide en forma indirecta, teniendo en cuenta que:

$$Q \text{ [m}^3\text{/seg]} = V \text{ [m/seg]} \times A \text{ [m}^2\text{]}$$

- **Relación Sección - Velocidad**

El método consiste entonces en medir la sección del curso y la velocidad en la misma. Ello se hace a través de verticales referidas a las márgenes en las que se mide profundidad y velocidad. Se determinan así áreas parciales y velocidades medias en las áreas parciales con las cuales se determinan caudales parciales, cuya sumatoria arroja el caudal total.

$$Q = A_1 V_1 + A_2 V_2 + A_3 V_3 + \dots$$

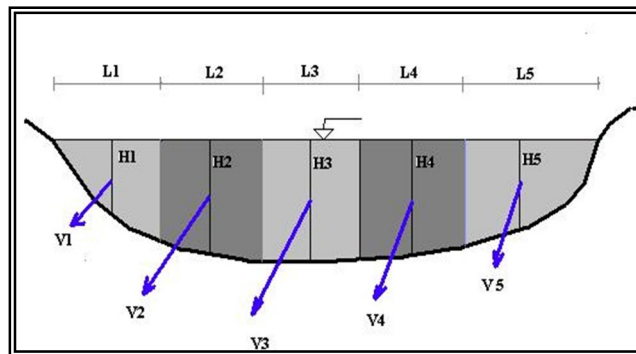


Figura 3. Divisiones de Sección Transversal de un río, 2008.

Para realizar la medición de velocidad se requiere de un instrumento denominado *molinete hidrométrico*. Las mediciones de velocidad se hacen al mismo tiempo que las de profundidad.

En ríos poco profundos el velocímetro debe ser suspendido por medio de una varilla de vadeo. En ríos más profundos, debe suspenderse de un cable o varilla desde un puente torno, vagoneta o bote. Sin embargo un

aforo solo se puede realizar periódicamente ya que insume bastante tiempo, entre media hora a una hora, según el río a medir y el método a utilizar.

La forma más usual de realizar observaciones frecuentes es a partir de lecturas en escalas hidrométricas instaladas en las estaciones de aforo. El caudal es función de la altura en la escala, aunque tal función no es lineal. Es posible entonces realizar lecturas diarias en las escalas hidrométricas e incluso continuas si se cuenta con instrumentos registradores gráficos o digitales denominados limnógrafos y convertir luego esas lecturas a caudales.

Para efectuar la conversión es necesario calibrar la sección, es decir determinar la ecuación del caudal en función de la altura. Para ello cada vez que se afora se debe tomar la altura, de manera de contar con muchos puntos (altura, caudal), que abarquen todo el rango de variabilidad y permitan definir la función  $Q = f(H)$ .

Además de la necesidad de contar con muchos aforos para definir la función, se debe continuar con la realización de los mismos para detectar posibles cambios en la sección que provoquen alteraciones en la curva H-Q. ([www.fao.org/docrep/T0848S/t0848s06.htm#medicióndecaudales](http://www.fao.org/docrep/T0848S/t0848s06.htm#medicióndecaudales))

#### **2.4.1.1 Sensor de Nivel**

A cualquier nivel dado, los líquidos ejercen la presión igual en todas las direcciones y la presión de agua aumenta linealmente como los aumentos de profundidad. La diferencia entre la presión atmosférica y el agua alrededor de la cabeza del sensor produce una fuerza en un diafragma flexible del sensor. La presión ejerció un el diafragma es la diferencia en la presión entre la presión atmosférica y presión de agua o puede ser considerado como la presión de agua sobre la presión atmosférica. Esta diferencia de presión es directamente proporcional a la altura de la columna vertical de agua sobre el sensor. Desde que la presión atmosférica varía con la situación y tiempo, el sensor de presión

tiene un tubo de la abertura atado a él que eso proporciona una referencia a la presión atmosférica



**Figura 3.** Sensor de Nivel

### 2.4.2 Curva de Calibración de Caudales

Como se ha establecido en los párrafos anteriores, una curva de descarga está determinada por la relación existente entre los niveles de la lámina de agua con el caudal que pasa por la sección previamente determinada, es decir,  $Q=Q(h)$ .

Cuando se ha definido la curva del caudal con relación al nivel del agua en función de los datos registrados con las mediciones de campo, la estación de aforo se describe como **%calibrada+**. Si la sección transversal se modifica a causa de erosión o de acumulación de sedimentos, se deberá trazar una nueva curva de descarga, pues, para una misma estación de aforo se pueden obtener varias curvas, ya sea por las causas mencionadas anteriormente o por la existencia de relaciones matemáticas que permitan estimar de mejor manera tanto caudales altos como caudales bajos y/o mínimos. (NAREA, D; TAMAYO, M, 2006)

La curva de calibración normalmente debería estar representada por una ecuación del tipo *Potencial*:

$$Q = ah^n \quad (a)$$

De donde.  $Q$  es el caudal medido en  $m^3/s$ ,  $h$  es el nivel del agua en m,  $a$  y  $b$  son constantes para cada estación.

Sin embargo, debido al hecho de que el cero del instrumento que mide el caudal (limnómetro, limnógrafo, etc.) no resulta siempre exactamente en el punto en el cual el caudal o descarga es igual a cero, la curva de calibración puede tener, después del ajuste con los datos de campo, la siguiente ecuación de tipo:

$$Q = a(h \pm b)^n$$

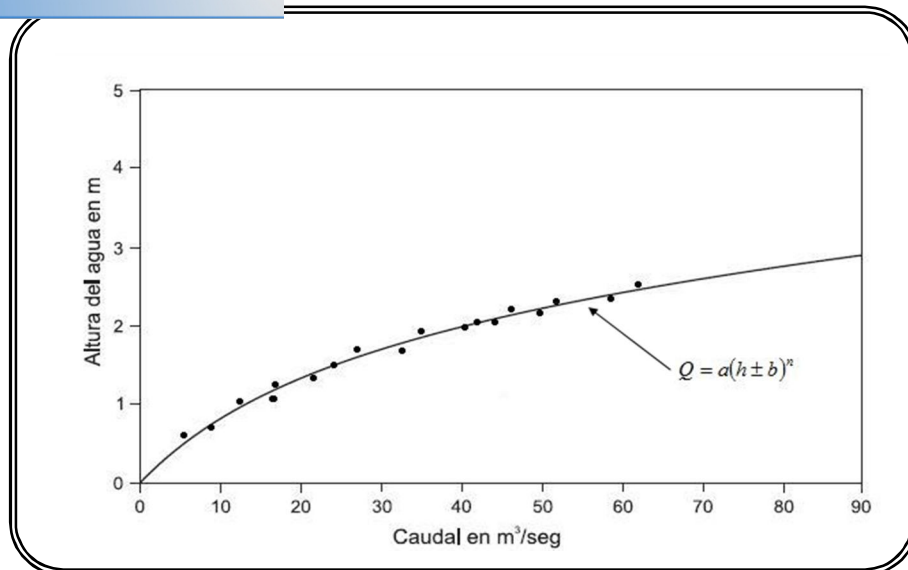
(b)

El valor de  $b$  es igual al nivel del cero de la mira sumado o restado al nivel del río para una descarga igual a cero, que puede o no coincidir con el fondo del río. Con los datos de nivel y caudal determinados, las constantes  $a$ ,  $b$  y  $n$  pueden ser calculadas por medio del método de mínimos cuadrados, dado que:

$$\log Q = \log a + n \log(h \pm b) \quad (c)$$

Variando el valor de  $b$  se hallan valores respectivos de  $a$  y  $n$  de la ecuación anterior. Adicionalmente se encuentra el respectivo coeficiente de correlación resultante del método de mínimos cuadrados o en la actualidad mediante paquetes informáticos (Excel, Spss, etc.) para los datos de nivel  $h$  y caudal  $Q$  en relación con la ecuación hallada. El valor de  $b$  que maximice el valor del coeficiente de correlación se define como el que mejor ajusta la curva de calibración resultante, y sus correspondientes valores de  $a$  y  $n$  son los definidos por la ecuación (b).

Una vez obtenida ecuación  $Q = a(h \pm b)^n$ , la curva de calibración se presenta de la manera que se muestra a continuación:



**Figura N° 4.** Curva de gasto o de descarga

Una vez conocida la curva elevación-gastos de la sección de aforo, es suficiente con determinar la altura de la lámina de agua para conocer el caudal en cualquier momento.

Es importante revisar periódicamente la curva de calibración para asegurar que la relación entre caudal y altura de estación sea constante, pues en general, estas curvas tienden a cambiar debido a socavación del lecho de la corriente, depósito de sedimentos o flujo no permanente. (Manosalve, 2002)

### **2.4.3 Registro de Datos de caudal**

Cuando ya se tienen instaladas las estaciones de aforo o estaciones hidrométricas, el observador va a efectuar la lectura de nivel de agua en el limnómetro y lo convertirá a caudal mediante la curva de calibración del río que se está midiendo (se entiende en la sección de interés). (Absalón Vásquez 2000)

Luego se tendrá un conjunto de datos de caudales que deberán obtenerse y registrarse convenientemente desde el punto de vista hidrológico para su posterior uso. Los diferentes tipos de registro de caudales son los que ha continuación se describen:

- **Caudales medios Diarios**

Son los caudales que se obtienen del promedio de 2 o 3 lecturas diarias de altura de agua del río. Se expresa en  $m^3/s$  ó l/s.

- **Caudales Medios Mensuales**

Son los que se obtienen de promedio de los caudales medios diarios dentro de un mes.

- **Caudales Medios Anuales**

Son los caudales obtenidos del promedio de los caudales correspondientes a los doce meses del año.

## **2.5 MÉTODOS PARA EL ANÁLISIS DE LA VARIABILIDAD ESPACIAL.**

La distribución espacial ha tomado importancia en los últimos años, particularmente con el desarrollo de tecnología informática y métodos de distribución desarrollados en bases computacionales, con aplicaciones en modelos distribuidos, a continuación se describirá algunos de los métodos para el análisis de la variabilidad espacial:

### **2.5.1 Análisis de Cluster.**

El propósito del análisis de conglomerados (cluster en terminología inglesa) es el agrupar las observaciones de forma que los datos sean muy homogéneos dentro de los grupos (mínima varianza: Los grupos se unen considerando la menor de las distancias existentes entre los miembros más cercanos de distintos grupos.) y que estos grupos sean lo más heterogéneos posible entre ellos (máxima varianza: Los grupos se unen considerando la menor de las distancias existentes entre los miembros más lejanos de distintos grupos). De este modo obtenemos una clasificación de los datos multivariante con la que podemos comprender mejor los mismos y la población de la que proceden. Podemos realizar



análisis cluster de casos, un análisis cluster de variables o un análisis cluster por bloques si agrupamos variables y casos.

### 2.5.2 Análisis de Cajas (Boxplot)

En la estadística descriptiva, una **caja** o **parcela boxplot** (también conocida como una **caja y bigotes diagrama** o **parcela**) es una forma conveniente de representar gráficamente grupos de datos numéricos a través de su número de resúmenes de cinco (la más pequeña observación (mínimo de la muestra), inferior cuartil ( $Q_1$ ), mediana ( $Q_2$ ), superior cuartil ( $Q_3$ ), y el más grande de observación (muestra máxima)). También se lo considera como un **histograma** ya que es un como método de visualización de datos, inventada por J. Tukey. Para crear una caja y bigotes parcela, dibuje un cuadro con los fines en el cuartil  $Q_1$  and  $Q_3$ . Como una línea horizontal en la caja. Ahora ampliar el "bigotes" a los más lejanos puntos que no son erráticos (es decir, que están dentro de  $3 / 2$  veces el rango intercuartil de  $Q_1$  and  $Q_3$ ). ).Luego, por cada punto más de  $3 / 2$  veces el rango intercuartil de la final de un cuadro, dibujar un punto. Si dos puntos tienen el mismo valor, llamar al lado de la otra

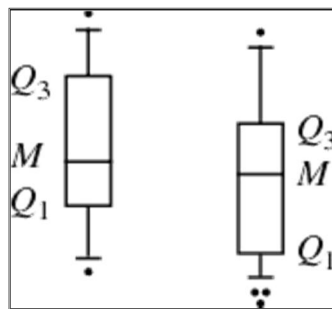


Figura 4. Análisis de cajas

## 2.6 CALIDAD DEL AGUA

La calidad de agua se refiere a la ejecución de un muestreo o colección de muestras de agua de las fuentes hídricas que son de interés para el proyecto. Luego, estas muestras son remitidas al laboratorio para efectuarse los análisis correspondientes, los mismos que dependerán del

tipo de abastecimiento de agua del proyecto (poblacional, agrícola). (Vásquez 2000)

El muestreo variara en función del tiempo y del espacio. En el tiempo, porque la concentración de elementos químicos será diferente en una muestra de agua extraída de un río en época de avenida que en época de estiaje. En el espacio porque en un curso o corriente, la concentración de elementos químicos puede ser diferente a lo largo de la corriente, debido a una serie de factores naturales. Esta misma situación se puede presentar respecto a los factores contaminantes de la cuenca. (Vásquez, 2000).

La recolección de las muestras de agua subterránea para el estudio de la acumulación de la salinidad, puede requerir solo muestreos anuales mientras que la recolección de datos en aguas superficiales puede requerir muestreos horarios o diarios. (Ferrer, 2002)

## **2.6.1 Características Físicas y Químicas del Agua**

Las características físicas y químicas del agua se detallan a continuación.

### **2.6.2 Características Físicas**

Entre las características físicas principales tenemos:

#### **2.6.2.1.1 Color**

El color en el agua es causado generalmente por la presencia de materias en estado de solución o en suspensión.

Lo producen tinturas orgánicas que frecuentemente se encuentran en aguas estancadas o en lagos muy forestados. En el color deben distinguirse:

- 1) **Color real o verdadero**, que es el producido por las sustancias en solución solamente; y
- 2) **Color aparente o total**, que es el que incluye, además del color real, aquel producido por sustancias en suspensión

Por definición se comprende que el color real no puede ser removido sino mediante procesos químicos y, en cambio, parte del color aparente puede ser removido por sedimentación y filtración (Rivas 1963)

### 2.6.2.1.2 Turbiedad

La turbidez es el fenómeno óptico que refleja las dificultades al paso de la luz por los coloides y materiales en suspensión, y que dependen de la concentración y tamaño de las partículas.

El contenido y otras características de la turbiedad dependerán de los suelos a través de los cuales haya circulado el agua y de la velocidad de arrastre del líquido. La eliminación de la turbiedad mediante el proceso de decantación dependerá del tamaño y densidad de las partículas suspendidas que la producen.

Se distinguen dos tipos de turbiedad en las aguas: la mineral y la orgánica. Cuando la mineral es baja, la orgánica es alta debido a que el libre paso de los rayos solares estimula los crecimientos de algas.

La turbiedad se expresa en partes por millón (ppm) por peso y puede alcanzar hasta unas 50 000 ppm. Se ha tomado como unidad de turbiedad la obstrucción al paso de la luz producido por 1 mg de tierra Fuller en un litro de agua, representando 1 ppm de turbiedad.

Para turbiedades muy altas la técnica del laboratorio recomienda utilizar el turbidímetro de Jackson, en el cual se define la turbiedad por el espesor del líquido necesario para hacer desaparecer la imagen de la llama de una vela tipo (Rivas 1963).

### 2.6.3 Características Químicas

Entre las principales características químicas tenemos:

#### 2.6.3.1 pH

El pH del agua representa la respectiva concentración de iones de hidrógeno, toda vez que, por definición, se expresa el logaritmo negativo

de dicha concentración. La alcalinidad y acidez de un agua se expresa frecuentemente en términos de pH, el cual indica la intensidad de esa alcalinidad o acidez. La acidez es causada por iones de hidrógeno ( $H^+$ ), positivamente cargados, y la alcalinidad por los iones  $OH^-$ , negativamente cargados. El mayor o menor grado de disociación mostrará un mayor o menor pH dentro de su rango de positividad o negatividad. pH 7 indica que el agua es neutra. (Rivas 1963).

### **2.6.3.2 Conductividad Específica**

La medida de la conductancia específica de un agua muestra aproximadamente su contenido mineral, al ser más o menos conductora de la electricidad. Las sustancias capaces de impartirle al agua esa propiedad de denominan *electrolitos*; la conductancia de sus soluciones depende de la cantidad y naturaleza de los minerales en solución y de la temperatura.

La resistencia específica de un electrolito a una temperatura dada es la resistencia en ohmios por centímetro cuadrado de sección a un centímetro de distancia; y como la conductancia específica es la inversa de esa resistencia, se mide en ohmios inversos, denominados MHOS (Rivas 1963).

### **2.6.3.3 Dureza**

La denominada dureza de las aguas es producida principalmente por la presencia de las sales de calcio y magnesio. El hierro también comunica esa propiedad; sin embargo, los contenidos de este último elemento no son privativos, por lo cual se ha convenido solamente como dureza la resultante de los contenidos de Ca y Mg.

La dureza se determina generalmente bajo la forma de dureza total que incluye el calcio y el magnesio, la dureza cálcica y magnésica separadamente y las durezas carbonáticas y no . carbonáticas. La

duresa por conveniencia comparativa se expresa, en general, como carbonato de calcio (Rivas 1963).

#### **2.6.3.4 Alcalinidad y Acidez**

La alcalinidad en el agua está representada por el contenido de bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos; en las aguas naturales, sin embargo, la alcalinidad está presente mayormente en la forma de bicarbonatos.

La alcalinidad se determina aproximadamente con la ayuda de ciertas sustancias denominadas *indicadores*, las cuales tienen la propiedad de hacer cambiar el color de la muestra ensayada de acuerdo a su acidez o alcalinidad, y más exactamente mediante titulación con ácidos fuertes.

Los indicadores generalmente utilizados para la determinación de la alcalinidad total y la alcalinidad bicarbonática son, respectivamente el anaranjado de metilo y la fenolftaleína, que cambian así: el anaranjado de metilo, de amarillo a anaranjado cuando toda la alcalinidad del agua ha sido neutralizada por completo; y la fenolftaleína, que imparte al agua una coloración rosada cuando tiene carbonatos e hidróxidos, manteniéndose incolora cuando existe solamente alcalinidad bicarbonática, y por supuesto, cuando el agua contiene ácidos.

La alcalinidad se acostumbra expresar en ppm como  $\text{CaCO}_3$  y la producen, principalmente en las aguas naturales, los carbonatos y bicarbonatos de calcio, magnesio, sodio y potasio, rara vez los de litio y hierro. Su determinación es básica para la fijación del tratamiento de agua.

La acidez total se determina con la fenolftaleína hasta la aparición del color rosado y la acidez mineral con el anaranjado de metilo hasta tanto este indicador cambie de rosado a anaranjado (Rivas 1963).

### 3 MATERIALES Y MÉTODOS

En este capítulo se caracterizan los lugares donde se ejecutó el estudio y se explica de una forma detallada la metodología para alcanzar los objetivos propuestos en el presente trabajo investigativo.

#### 3.1 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

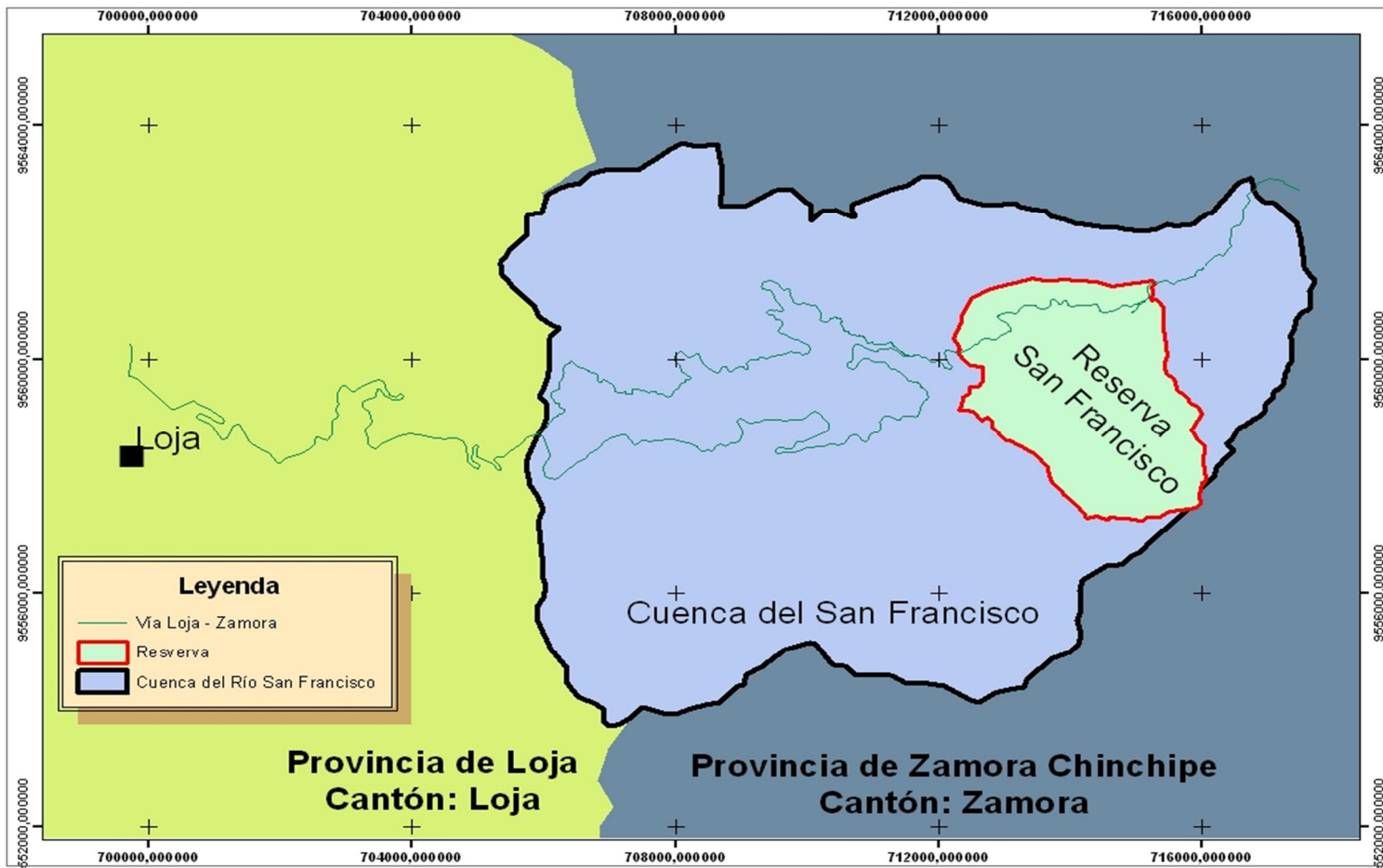


Figura N°5. Localización de la cuenca de estudio

La cuenca San Francisco se encuentra entre las ciudades de Loja y Zamora en el sur del Ecuador, se caracteriza por tener una gran extensión de bosque de húmedo montano bajo. En esta cuenca se encuentra también la **Estación Científica ÍSan FranciscoÎ (ECSF)**, aproximadamente a 30 km de las capitales de las provincias de Loja y Zamora Chinchipe. El río San Francisco nace en el Parque Nacional

Podocarpus, y en su recodo recibe agua de varias quebradas perennes, además el Río San Francisco forma parte de la cuenca del río Zamora.

### **3.1.1 Ubicación Geográfica del área de estudio**

Geográficamente se encuentra localizada entre:

Coordenada Norte 9563100 m

9553700 m

Coordenada Este 705500 m

717900 m

Zona 17 S

Altura 1650 - 3200 m.s.n.m.

### **3.1.2 Características del área de estudio**

Por la falta de información dentro de la cuenca en estudio, se procedió a utilizar información corresponde a estudios de gran relevancia en el área de la Estación Científica San Francisco (ECSF).

El Río San Francisco recibe el aporte de caudal de todas las microcuencas que conforman esta cuenca, cuyas aguas se dirigen a desembocar en el gran río Amazonas. La altitud sobre el nivel del mar es de 1800 . 2800 m. La roca madre está compuesta principalmente por areniscas y esquistos metamórficos paleozoicos con algunas vetas de cuarzo, estos suelos se desarrollan desde formaciones periglaciales (R. Bussmann, J. Homeier & D.A. Neil, Pers. Comm) (WILCKE, *et al* 2003).

**Climatología.-** Estudios realizados en la Estación Científica San Francisco, muestran que la precipitación media anual registrada entre 1997 . 2001, fue de 2500 mm en la zona baja y más de 5000 mm en las zonas más altas, con precipitaciones de 300 mm en el mes de Abril y 70 mm en el mes de Noviembre.

Según (Bendix & Lauer 1992), los meses donde se registran los máximos eventos de lluvias son entre Abril y Septiembre, causados por los vientos de la corriente ecuatorial que inducen las precipitaciones orográficas en la parte oriental de los Andes.

En relación a la temperatura, se tiene registros medios anuales de 17 °C, variando en la parte baja de 15 . 17°C y en la parte alta de 9 . 17 °C, los meses de clima templado son de octubre a marzo y los restantes son de clima térmico frío (Bussman, 2001).

La humedad del aire promedio anual fue de 85% (90% en abril y 80% en noviembre). La dirección de los vientos predominantes fueron >80% orientales. (Bussmann, R. *et al.* Citado por Wagner, K. 2002).

**Uso del suelo.-** La mayor parte de la cuenca está cubierta con bosque natural, especialmente en la parte alta. El resto de la cuenca que corresponde a sitios más bajos está cubierto por pastizales y bosques de sucesión secundaria.

**Zona de Vida y Piso Altitudinal.-** Los bosques son húmedo montano bajo BH-mb (Bruijnzeel & Hamilton), éstos tienen una altura de 15-20 m en su piso más alto con pocos árboles que alcanzan los 30 m de altura y en su piso más bajo con árboles que alcanzan los 10 . 15 m de altura y una capa arbustiva de > 5 m de altura. El dosel del piso más alto es del 50-60% y del segundo piso es del 10-50%. La capa arbustiva alcanza desde un 50- 80%. El bosque en lugares con una densidad de 1000 árboles por hectárea tiene un Diámetro a la Altura del Pecho (DAP) > 0.1m y donde existe una densidad de 6000 árboles por hectárea tiene un DAP promedio de > 0.05 m.

**Vegetación.-** La mayor parte de la cuenca se encuentra cubierta con bosque natural, especialmente en la parte alta. El resto de la cuenca está cubierto por pastizales y bosques de sucesión secundaria.

Las zonas con pendientes poco profundas están dominadas por especies de las familias Euphorbiaceae, Solanaceae, Cecropiaceae y Lauraceae.



Las partes con pendientes altamente pronunciadas están dominadas principalmente por familias Melastomataceae, Lauraceae, Euphorbiaceae y Rubiaceae. Las especies arbóreas más abundantes entre los 1800 y 2200 m.s.n.m. son *Graffenrieda emerginata* (Ruiz & Pav.) Triana (Melastomataceae). La flora en la parte baja sobre el suelo está dominada por largos helechos, particularmente Dryopterideceae y algunas hierbas (comúnmente Lobeliaceae). De acuerdo a Bruijnzeel & Hamilton (2000), la mayoría del bosque puede ser clasificado como %Bosque Lluvioso Montano Bajo+ que regularmente cambia a %bosque Nublado Montano Bajo+ en las partes más altas. La parte baja del bosque natural ha sido perturbado por actividades humanas. (Bussmann, R. *et al.* Citado por Wilcke, *et al* 2003).

**SUELOS.-** A pesar de no existir estudios detallados de suelos a nivel de esta cuenca, se tiene varios estudios realizados dentro de la reserva de %San Francisco+, con lo cual se puede tener una idea general de la heterogeneidad de los suelos en este sitio.

En las alturas correspondientes a los 2100 y 2700 m.s.n.m, el tipo más común de suelos que se puede encontrar es el Petraquept, que se ha desarrollado sobre material de soliflucción, seguido por Epiaquepts en las zonas más altas, son suelos que se desarrollan desde formaciones periglaciales. Estos suelos todavía contienen un alto porcentaje de roca en proceso de descomposición. (Bussman, R.W, 2005).

Sin embargo, los estudios realizados por Yasin (2001), determinan con mayor detalle los tipos de suelos que se pueden encontrar tanto, en la parte alta, como en la parte baja de la reserva, mismos que se caracterizan por ser poco profundos, de contextura arcillosa y con altos contenidos de mica.

**Relieve y Topografía.-** Esta parte del Sur del Ecuador, se caracteriza por tener un relieve bastante accidentado, además presenta una topografía

inmensamente escarpada con pendientes entre 40-60° y frecuentemente llegando a 90°. (Bussman, R. 2006)

## 3.2 MATERIALES

### 3.2.1 Materiales y Equipos de campo.

- Traje impermeable
- Flujometro
- Varilla numerada
- Frascos (50ml y 100ml)
- Fundas Plásticas
- Hojas de registro
- Esfero
- Sonda multiparámetro (pH, Temperatura y conductividad eléctrica)
- Jeringas
- Filtros
- Flexómetro
- Ordenador portátil
- Cámara fotográfica
- Marcador Permanente
- Escandalio

### 3.2.2 Materiales y Equipos de laboratorio.

- Acido HNO<sub>3</sub>
- Pipeta
- Guantes
- Congelador

### **3.2.3 Materiales y Equipos de oficina.**

- Computadora
- Papel de impresión
- Internet
- Carta topográfica del Instituto Geográfico Militar (IGM) del Cantón Loja
- Fotografías Áreas

## **3.3 METODOLOGÍA**

### **3.3.1 Metodología para el primer objetivo**

*Obtener la información Básica para conocer la variabilidad temporal y espacial de la cantidad y calidad de agua en diez puntos establecidos dentro de la cuenca del río San Francisco (Provincia de Zamora Chinchipe)+*

Para cumplir este objetivo se realizó en primera instancia la Caracterización Morfométrica de la cuenca hidrográfica.

#### **3.3.1.1 Caracterización Morfométrica**

Para realizar el análisis morfométrico de la cuenca se utilizó la carta topográfica de **Loja Norte (Río Sabanilla)** y la base de datos de la Estación Científica San Francisco, se delimitó y posteriormente se digitalizó la cuenca en el Centro de Información Geomática Ambiental (CINFA). Se realizó el análisis de diferentes parámetros a través de varios métodos de análisis, que se señalan en el anexo 4.

#### **3.3.1.2 Obtención de la Información para la determinación de caudales (Cantidad)**

Para la obtención de esta información se realizó lo siguiente:

### 3.3.1.2.1 Selección de los puntos de monitoreo

Los lugares de monitoreo fueron seleccionados presentando las siguientes características:

- Fácil accesibilidad.
- Transportan agua durante todo el año.
- Lugares adecuados para la ubicación de los sensores.
- Lugares adecuados para realizar los aforos.

### 3.3.1.2.2 Información Disponible para la Construcción de la Curva de Descarga.

La información necesaria para la elaboración de la curva de descarga son:

- **NIVEL:** para conocer la variación del nivel en la sección de aforo se utilizó un sensor ODYSSEY PRESSURE WATER LEVEL RECORDER, que se ubicó en cada uno de los sitios de aforo, este sensor tiene el principio básico de obtener la altura del agua del cauce por medio de la presión que este provoca, estas alturas fueron tomadas cada 5 minutos las mismas que quedaron registradas en la memoria interna del sensor, descargando estos datos por medio del programa ODYSSEY 4.7 a un computador, los mismos que fueron transportados al programa EXCEL para su debido tratamiento. Cabe recalcar que el sensor tiene una memoria incorporada, por lo que permitió descargar los datos de las alturas cada dos a tres meses.

Tomando en cuenta que para la construcción de la curva de descarga se consideró únicamente la altura registrada por el sensor el día que se realizó el aforo. Este procedimiento se lo realizó para cada una de las estaciones de aforo.

- **AFOROS:** para conocer la cantidad de agua que pasaba por la sección de aforo del río o quebrada se utilizó la siguiente ecuación:

$$Q = A.V.$$

Para encontrar el **área** (A) primeramente se colocó un flexómetro a lo ancho del río, teniendo en cuenta que este flexómetro se quedó extendido para poder dividir el ancho de la sección transversal del río en secciones iguales. Para obtener la profundidad se utilizó una varilla numerada (esta varilla también se la manipuló para poder encontrar la velocidad.)

Para encontrar la **velocidad** (V) se utilizó un flujómetro, y que al ser instalada en la varilla numerada se obtuvo las velocidad inmediatamente en m/s de la parte superficial, media y del fondo de las secciones iguales en que fue dividido el ancho del río.

Obtenidas estas dos variables de la ecuación, se procedió a ubicar estos datos dentro de una hoja electrónica, para poder así obtener la cantidad de agua que pasó por dicha sección el día que se realizó el aforo. Esta metodología se la utilizó para cada uno de los sitios de aforos de este estudio.

### 3.3.1.2.3 Construcción de la Curva de Descarga

Para la construcción de la curva de descarga se utilizó dos parámetros, el **primero** los datos de caudales que se obtuvieron a través de los aforos, y el **segundo** la altura registrada por el sensor el día y la hora en que se aforo, con esta información se construyó una curva según la función  $Q = f(H)$ . Esta curva se la elaboró utilizando una hoja electrónica, al igual que se utilizó el programa GRAPHER 6.0 (Ver Anexo 4), aquí se obtuvo la ecuación que ayudó a calibrar la curva de descarga. Con esta ecuación se determinó el caudal a diferentes alturas (otorgadas por el sensor), también se realizó un análisis de confiabilidad esto se elaboró con el programa GRAPHER 6.0. Este procedimiento se realizó para cada uno de los sitios donde se encontraban los sensores.

Hay que tomar en cuenta que de acuerdo a la dispersión de estos dos parámetros dentro del gráfico se le dio una línea de tendencia acorde a esta distribución.

#### **3.3.1.2.4 Análisis de la Información de Caudales**

- **Caudales e Hidrogramas Medios Diarios.**

Determinados los caudales instantáneos por medio de la ecuación de la curva de descarga se procedió a determinar el caudal promedio diario de cada una de las estaciones y, en una hoja electrónica se dibujo el Hidrograma que representa la variación del caudal a través del tiempo

- **Caudales e Hidrogramas Medios Mensuales.**

Encontrados los caudales diarios se procedió a determinar el caudal promedio mensual de cada una de las estaciones y en una hoja electrónica se dibujo el Hidrograma que representa la variación del caudal a través del tiempo

#### **3.3.1.3 Obtención de la Información para la Calidad de agua**

Para la obtención de esta información se realizó lo siguiente:

- **Recolección De Muestras De Agua**

Para la recolección de muestras de agua se utilizó un solo tipo de botella la cual se utilizó para realizar el análisis los elementos químicos, estos elementos son: F1, Cl, Li, Na, Mg, Al, K, Ca, V, Cr, Fe, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, As, Rb, Sr, Y, Cd, Ba, La, Ce, Pr, Nd, Pb. Hay que recalcar que de todos estos elementos químicos se tomaron en cuenta aquellos en donde se pudo evidenciar una variación aceptable del elemento al aumento del caudal.

#### **BOTELLA 1: Análisis de los elementos**

- Capacidad de 50 ml y tiene un punto rojo en la tapa
- Se filtró el agua del río o quebrada con una jeringa y filtro.

- Se le agregó 250 ul de ácido Nítrico para que los metales no se peguen en la pared de la botella.
- Esta muestra no se la congeló.

### **3.3.2 Metodología para el Segundo objetivo**

Analizar la variabilidad temporal y espacial de la cantidad y calidad del agua en siete puntos establecidos dentro de la cuenca del río San Francisco (Provincia de Zamora Chinchipe)

#### **3.3.2.1 Variabilidad Temporal**

Para conocer la variabilidad temporal de las estaciones de aforo tomadas en cuenta para este estudio, se realizaron correlaciones con el fin de ver el cambio y valor de correlación de caudales en función del tiempo.

##### **3.3.2.1.1 Correlaciones**

Para las correlaciones también se utilizó el programa SPSS, siguiendo sus procedimientos se elaboró gráficos de correlación de variables.

Entre las principales correlaciones para este estudio tenemos:

- **Calidad Æ estacionalidad:** estos gráficos se los realizo en una hoja electrónica y se tomó en cuenta la precipitación diaria otorgada por el grupo de clima de la Estación Científica San Francisco, y se hizo relación únicamente con dos elementos químicos. Estos elementos fueron aquellos que tenían la tendencia de incrementar y disminuir su concentración al aumentar el caudal, y dependiendo de la estación de aforo se escogió los elementos que tienen la tendencia.
- **Caudal Æ estacionalidad:** estos gráficos se los realizó en una hoja electrónica y se tomó en cuenta la precipitación diaria otorgada por el grupo de clima de la Estación Científica San Francisco, y se hizo

relacion con el mes que presenta los valores más altos de caudales y también el mes que presenta los más bajos caudales, es decir, se tomo en cuenta los datos de caudales del mes de Junio para Inverno y los caudales del mes de Diciembre para verano

### **3.3.2.2 Variabilidad Espacial**

Para saber la similaridad espacial de la calidad de agua entra las estaciones de aforo (subcuencas) se realizó un **ANÁLISIS DE CLUSTER** y para ello se utilizó el programa SPSS 17.

Para saber como se distribuyen cada una de las estaciones de aforo (subcuencas), en lo que tiene que ver con la cantidad del agua se realizó un **ANÁLISIS DE CAJONES** y para ello se utilizó el programa GRAPHER 6.0.

### **3.3.3 Metodología para el Tercer objetivo**

Í Identificar las posibles causas de la variabilidad temporal y espacial de la cantidad y calidad del agua en siete puntos establecidos dentro de la cuenca del río San Francisco (Provincia de Zamora Chinchipe)+

Para el cumplimiento de este objetivo se realizó una matriz (**ver Anexo 7**) de interacción, con cada una de los factores biológicos de la cuenca de estudio, que de una u otra forma tuvieron alguna intervención tanto en la cantidad como la calidad del agua, a cada uno de estos factores biológicos se les dio diferentes variables las cuales serán muy esenciales para la interpretación de los datos que se obtuvieron en la fase de campo. Las variables para estos factores se obtuvieron de las base de datos del SIG de la Estación Científica San Francisco y del Almanaque Electrónico del Ecuador.



## **4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.**

La presente investigación se llevó a cabo desde el mes de Mayo del 2007 hasta el mes de Abril del 2008, y se la efectuó en la cuenca del Río San Francisco, provincia de Zamora Chinchipe. Los resultados se muestran de acuerdo al orden de los objetivos, ya que la metodología estuvo planteada de esa manera.

### **4.1.1 Resultados del primer objetivo.**

Los resultados para el cumplimiento de este objetivo se muestran a continuación:

#### **4.1.1.1 Caracterización Morfométrica**

El análisis morfométrico de la cuenca de estudio se presenta en el siguiente cuadro:

**Cuadro 1.** Análisis Morfométrico de la Cuenca San Francisco.

<b>FACTOR</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>VALOR</b>	<b>INTERPRETACIÓN</b>
<b>MORFOLOGÍA DE LA CUENCA</b>			
Área	km <sup>2</sup>	85.39	Meso Cuenca
Perímetro	km	40	
Longitud Axial	km	13.87	
Ancho Promedio	km	6.16	
Coeficiente de compacidad		1,21	Casi redonda a oval redonda
Tiempo de Concentración	Minutos	97	
<b>FISIOGRAFÍA</b>			
Altitud Media	m.s.n.m	2451	
Pendiente media	%	47	Escarpado
Coeficiente de masividad	km/ km <sup>2</sup>	0.029	Muy montañoso
Pendiente media del cauce	%	7	

## MORFOLOGÍA DE DRENAJE

Clasificación de corrientes		Corriente Perenne	Transporta agua todo el año y siempre esta alimentadas en su transcurso
Densidad de drenaje	Km/ Km <sup>2</sup>	1.22	La Cuenca es mediamente drenada

El área de estudio por la superficie que posee; (85.39 km<sup>2</sup>) o 8539 ha, se la clasifica según el criterio de Quinn et al (2004), como **una meso cuenca** ya que el área está comprendido entre el rango de 10 - 100 km<sup>2</sup>, la cual tiene un perímetro de 40 km, una longitud axial de 13.87 Km tomando desde el punto más alto hasta el más bajo de la cuenca y un ancho promedio de 6.16 km.

Según el índice de compacidad (K) de *Gravelius*, se la clasifica como una cuenca **casi redonda a oval redonda (1.21)**, debido a que su coeficiente es superior a la unidad, significando que esta cuenca es propensa a crecidas violentas o rápidas y de gran magnitud.

Según la fórmula californiana el tiempo de concentración de esta cuenca es de 97 minutos o lo que es igual a una hora con 37 minutos, es decir, se demora este tiempo una gota de agua en recorrer la distancia comprendida desde el punto más extremo de la microcuenca, hasta el desagüe final. Este tiempo de concentración tiene mucha relación con la pendiente de la cuenca.

La **pendiente media** por su valor (47%) se considera como pronunciada en algunos casos abruptos, esto es corroborado con el **coeficiente de masividad** (0.029) demuestra que su relieve de la cuenca es muy pronunciado, características montañosas con marcado desniveles. Y el valor de la pendiente media del cauce es de 7%

De acuerdo a la clasificación de corrientes el cauce principal y las quebradas donde se ubican los sensores son una corriente perenne debido a que transporta agua durante todo el año.

La densidad de drenaje  $1.22 \text{ km/km}^2$ , por lo que según las leyes de Horton; es una cuenca medianamente drenada; esto puede deberse a dos factores: uno el tipo de geología que presenta la cuenca y la otra por la intervención antrópica, principalmente por la deforestación.

#### **4.1.1.2 Obtención de la Información para la determinación de caudales (Cantidad)**

##### **4.1.1.2.1 Selección de los puntos de Muestreo**

Considerando las características presentadas en la metodología, dentro de la cuenca de estudio se escogieron 7 puntos de muestreo (Figura N° 6) los cuales están distribuidos dentro del cauce principal y de las quebradas que aportan agua al mismo.

Estos 7 puntos de muestreo tienen su propio código:

1. ECQZ = Quebrada Zurita
2. ECQN = Quebrada Navidades
3. ECFH = San Francisco Headwater (compuerta)
4. ECQP = Quebrada Pasto
5. ECQM = Quebrada Milagro (cerca del tanque de presión de la planta hidroeléctrica Carlos Mora)
6. ECQR = Quebrada San Ramón (cerca a la planta Mora)
7. ECPL = Planta Eléctrica (puente de entrada planta hidroeléctrica Carlos Mora)

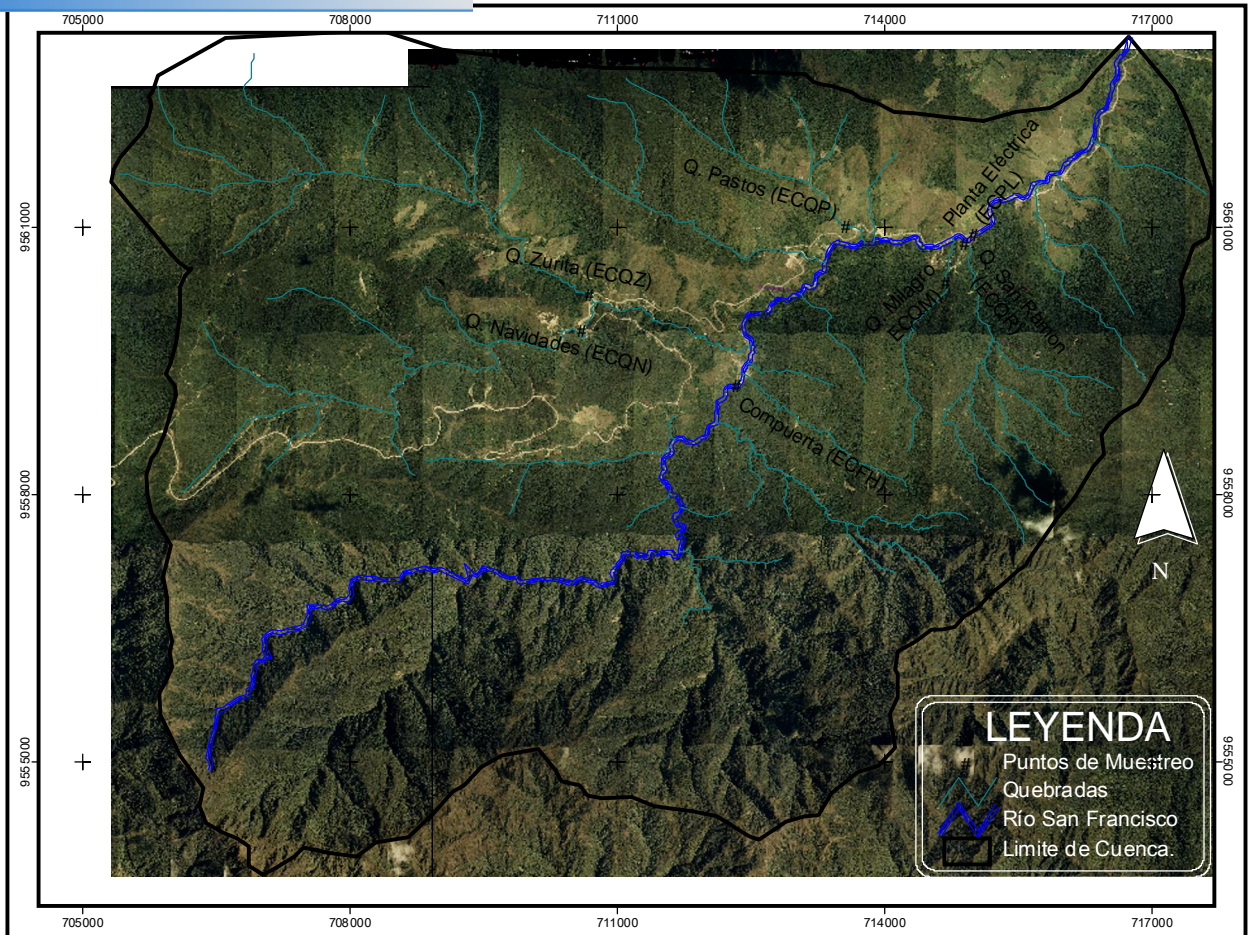


Figura Nº 6. Puntos de muestreo dentro de la cuenca.

#### 4.1.1.2.2 Información Disponible para la Construcción de la Curva de Descarga

- **NIVELES:** en el cuadro Nº 2 se presenta el número de días por mes que los sensores de nivel tomaron datos en cada una de las estaciones de aforo.

Cuadro N. 2. Días medidos por mes en cada una de las estaciones de aforo

Estación	May/07	Jun/07	Jul/07	Ago/07	Sep/07	Oct/07	Nov/07	Dic/07	Ene/08	Feb/08	Mar/08	Abr/08
<b>ECQN</b>	31	19	8	28	10	25	30	19	31	29	31	27
<b>ECQZ</b>	31	30	31	31	30	29	30	31	31	29	31	30
<b>ECFH</b>	31	30	31	31	28	31	30	25	17	29	31	27
<b>ECQP</b>	21	17	11	12	0	14	30	31	15	0	0	30
<b>ECQM</b>	31	15	4	31	30	24	30	30	23	29	31	27
<b>ECQR</b>	31	19	12	28	30	31	5	31	31	29	31	27
<b>ECPL</b>	30	31	30	31	31	30	31	31	31	28	31	30

- **AFOROS:** la cantidad de aforos que se realizó en la fase campo para cada una de las estaciones de aforo se presentan en el cuadro del Anexo 3, siendo **ECQN** la que tiene mayor número un total de 30, mientras que **ECFH** es la estación de aforo que presenta el menor número un total de 24. En el mismo cuadro se presenta los valores de los aforos, siendo **ECPL** la estación que ostenta el valor mayor 40,47 m<sup>3</sup>/s, mientras que la estación **ECQR** presenta el menor valor 0,011 m<sup>3</sup>/s.

#### 4.1.1.2.3 Construcción de La Curva de Descarga

Los caudales de cada aforo y para cada estación, en función del nivel de agua correspondiente, se dibujaron en el software de un computador con el fin de identificar la tendencia o tendencias de distribución cronológica de escurrimientos ocurridos. Aquellos aforos que presentan desviaciones demasiado grandes de sus caudales con relación a la tendencia o tendencias identificadas, fueron revisados íntegramente, tanto su cálculo como los datos originales de campo; ajustándose sus resultados de haber lugar para ello o, en caso contrario, se los califico como dudosos se los descartó durante el proceso de determinación de las curvas de descarga.

## ESTACION DE AFORO QUEBRADA ZURITA (ECQZ)

Los aforos realizados entre mayo 2007 a abril 2008 definen claramente una sola curva de caudales que va desde 100 mm hasta los 320 mm de nivel, como se puede observar en la figura N° 7

En el cuadro N° 3, el total de aforos realizados en esta estación fue de 28 pero para la construcción de esta curva se tuvieron que descartar 4 del total de aforos, que indica la buena calidad de datos de aforos, por la dispersión de los parámetros nivel y caudal, a esta estación de aforo se le dio una línea de tendencia del tipo **potencial**.

El hidrograma de los caudales instantáneos generados en esta estación de foro, se presentan en la figura N° 74 del anexo 1

Del análisis con límites de confianza (figura N° 7) se puede decir que la ecuación de la curva de caudales de esta estación, es confiable siempre y cuando se la utilice para encontrar caudales con niveles menores o iguales a 220 mm, mientras que en niveles mayores a 220 mm los límites de confianza sufren una abertura generando una desconfianza en caudales con los niveles antes mencionada, esta abertura se debe a que no se pudo aforar en caudales altos durante la fase campo, debido a la gran cantidad de agua que pasa por este lugar en días de lluvia.

Los datos de caudal y nivel que sirvieron para la construcción de esta curva, generaron una correlación de Pearson de 0,84 significando que estos dos parámetros tienen una buena relación.

La figura N° 7 muestra una sola curva y que corresponde al siguiente ajuste estadístico:

$$\text{ECUACION } Q = a H^b$$

H = mayores a 100 mm

Año	FACTORES		R
	A	b	
2007 - 2008	0,0013	1,2056	0,84

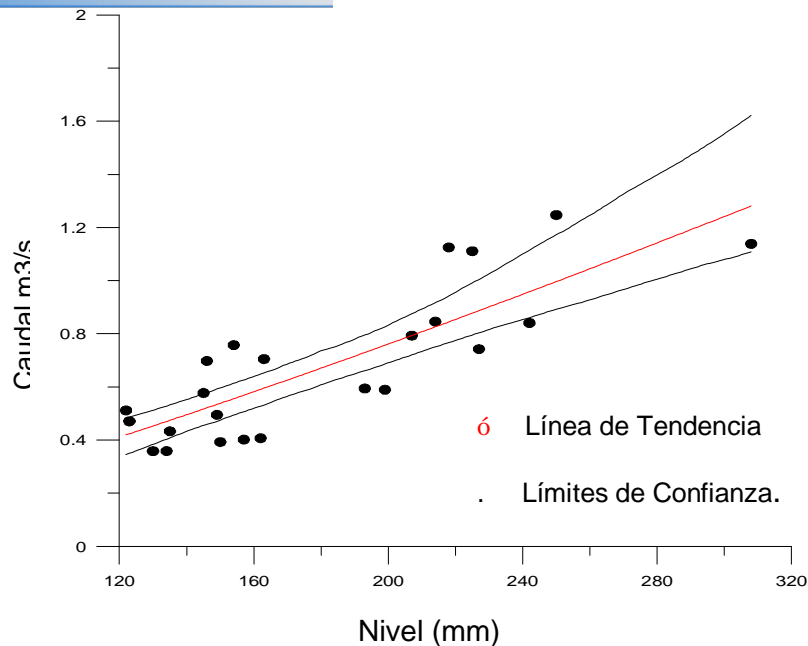


Figura N° 7. Curva de descarga y límites de confianza de la estación de aforo %CQZ+

### ESTACIÓN DE AFORO QUEBRADA NAVIDAD (ECQN)

De los 30 aforos disponibles realizados entre mayo 2007 a abril 2008, solamente dos se descartaron en la determinación de la curva de descarga (Figura N° 8), esto indica una buena calidad de datos obtenido durante el año de aforos.

Al igual que la anterior estación de aforo, por la dispersión de los parámetros a esta estación de aforo se le dio una línea de tendencia del tipo **potencial**, esta dispersión de los parámetros dio como resultado un valor de 0,8 de correlación de Pearson.

El hidrograma de los caudales instantáneos generados en esta estación de foro, se presentan en la figura N° 79 del anexo 1

Mientras que el análisis con límites de confianza que se muestra en la figura N° 8 muestra un alto grado de confiabilidad para poder utilizar la ecuación y encontrar caudales a diferentes niveles, ya que estos límites presentan un desplazamiento igual a ambos lados, en toda la línea de la curva de descarga

Este conjunto de aforos define una sola curva de caudales que va desde los 100mm hasta los 400 mm de nivel, y que presenta las siguientes características:

ECUACION  $Q = a H^b$

H = mayores a 100 mm

Año	FACTORES		R
	a	b	
2007 - 2008	0,00060374	1,26200255	0,8

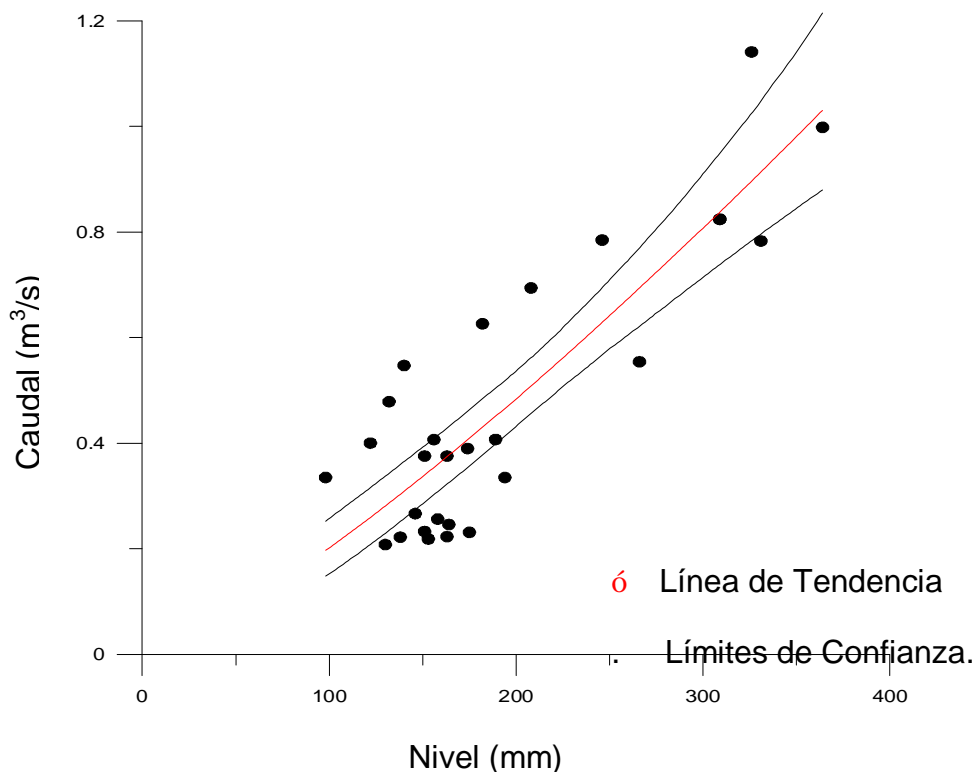


Figura N° 8. Curva de descarga y límites de confianza de la estación de aforo ECQN+



## ESTACION DE AFORO COMPUERTA (ECFH)

En la determinación de la curva de caudales no se descartaron ninguno de los 11 aforos realizados. Obtenidos en mayo del 2007 a abril del 2008.

En esta estación de aforo se realizaron pocos aforos debido a que la misma se encuentra dentro del cauce principal y por ende la cantidad de agua que pasa por este lugar es considerable, pero se aforo tanto en caudales bajos como altos.

Por la dispersión de los datos de aforos de esta estación se le otorgó una tendencia del tipo **potencia**, teniendo un valor de 0,9 de correlación de Pearson.

El hidrograma de los caudales instantáneos generados en esta estación de foro, se presentan en la figura N° 75 del anexo 1

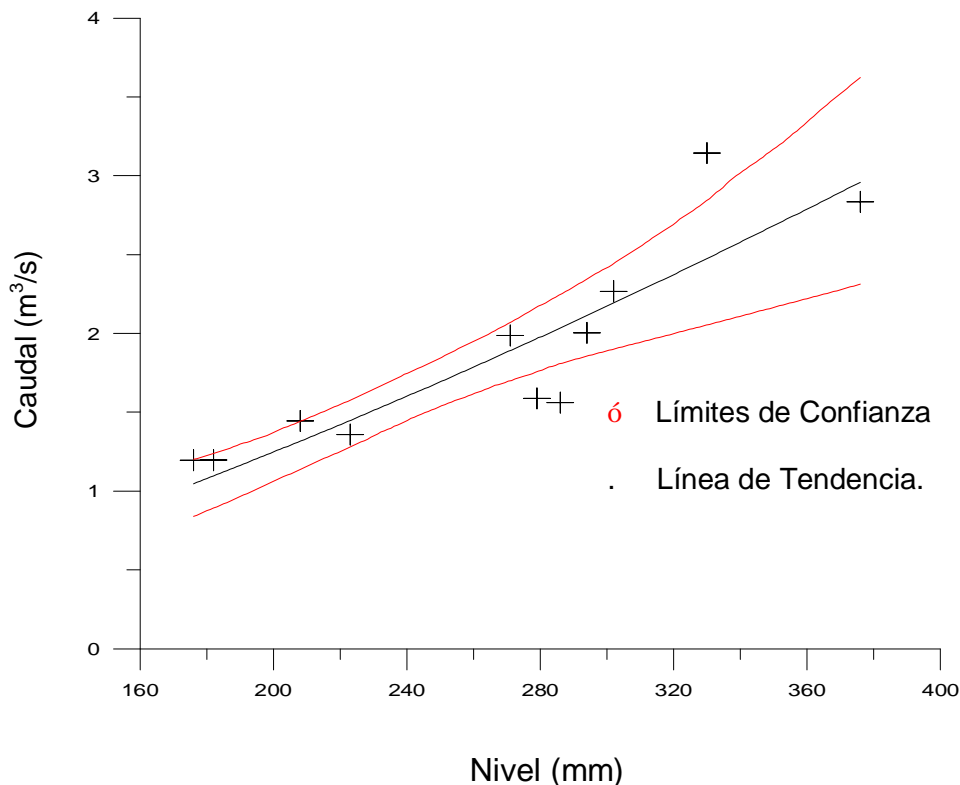
El análisis con límites de confianza Figura N° 9 muestra que sigue una tendencia igual a largo de toda la curva de descarga, por lo que se puede confiar en la ecuación para encontrar caudales bajos como altos.

Se define una sola curva de caudales que va desde los 150mm hasta los 400mm de nivel (Figura N° 9), y la ecuación presenta las siguientes características:

ECUACION  $Q = a H^b$

H = mayores a 150

Año	FACTORES		R
	a	b	
2007 . 2008	0,000887014	1,36171009	0,9



**Figura N° 9.** Curva de descarga y límites de confianza de la estación de aforo ECFH+

### ESTACIÓN DE AFORO QUEBRADA PASTO (ECQP)

De los 29 aforos disponibles realizados entre mayo 2007 a abril 2008, solamente 6 se descartaron en la determinación de la curva de descarga (Figura N° 10), esto indica una buena calidad de datos obtenido durante el año de aforos.

Por la dispersión de los datos de aforos de esta estación se le otorgó una tendencia del tipo **lineal**, teniendo un valor de 0,93 de correlación de Pearson.

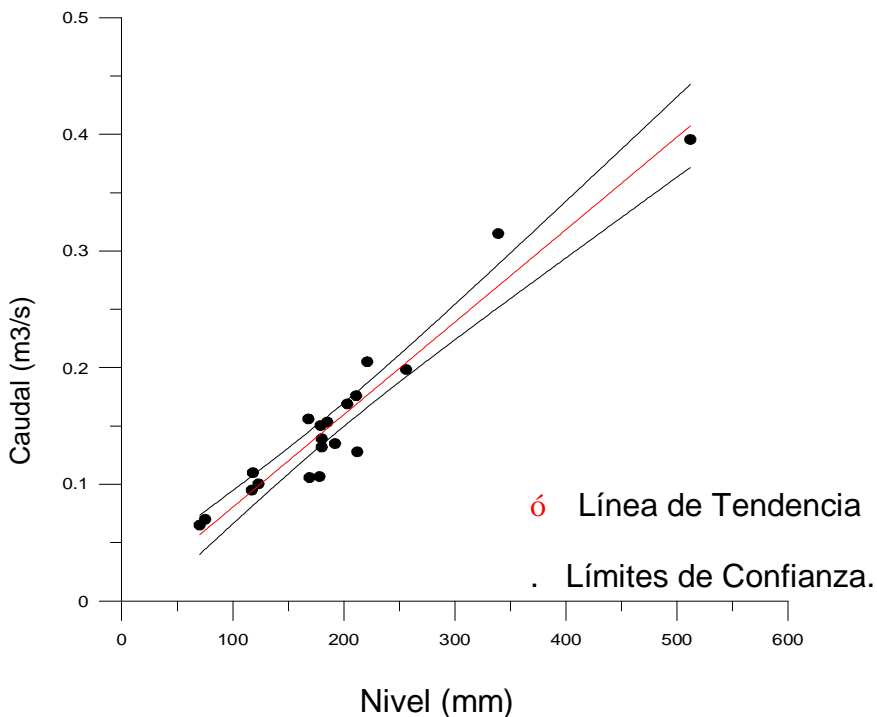
El análisis con límites de confianza Figura N° 10 muestra que sigue una tendencia igual a lo largo de toda la curva de descarga, por lo que se puede confiar en la ecuación para encontrar caudales bajos como altos.

Se define una sola curva de caudales que va desde los 70mm hasta los 550mm de nivel (Figura N° 10), y la ecuación presenta las siguientes características:

**ECUACION**  $Q = a + bx$

H = mayores a 70 mm

FACTORES			
Año	a	b	R
2007 . 2008	0,0008	0,0011	0,93



**Figura N° 10.** Curva de descarga y límites de confianza de la estación de aforo ECQP+

### ESTACIÓN DE AFORO PLANTA ELETRICA (ECPL)

En la determinación de las curvas de caudales se descartaron 3 de los 26 aforos realizados, esto indica una buena calidad de datos obtenidos durante el año de aforos mayo del 2007 a abril del 2008.

Por la dispersión de los datos de aforos de esta estación a cada una de las curvas se les otorgó una tendencia del tipo **potencia**, teniendo un valor de correlación de Pearson, la primera de 0,8 mientras que la segunda un valor de 0,99.

El hidrograma de los caudales instantáneos generados en esta estación de foro, se presentan en la figura N° 76 del anexo 1

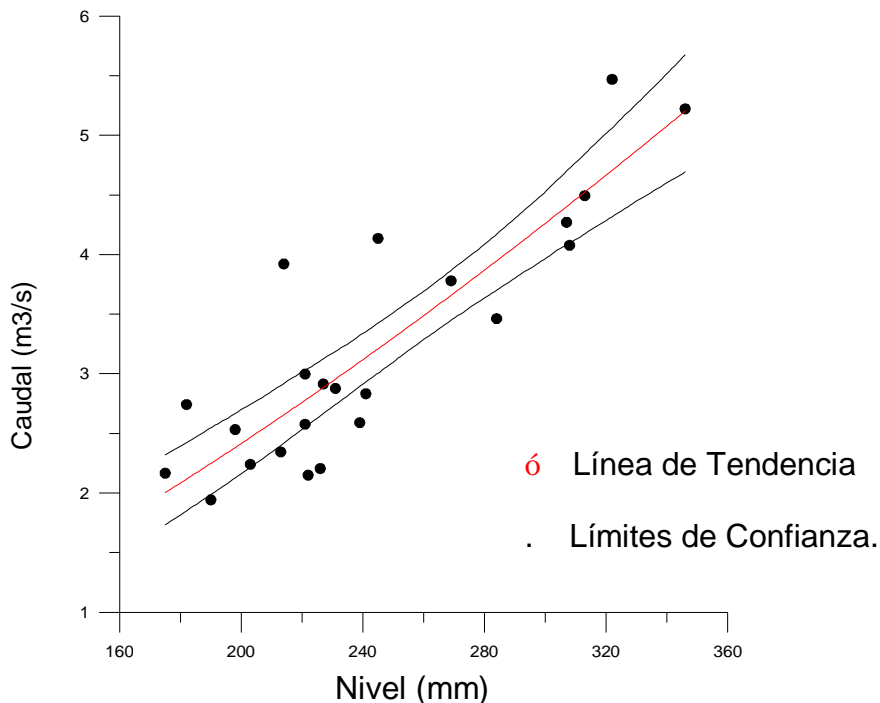
El análisis con límites de confianza Figura N° 11 muestra que sigue una tendencia igual a largo de toda la curva de descarga, por lo que se puede confiar en las ecuaciones para encontrar caudales bajos como altos.

Se definen dos curvas de caudales que van la primera desde los 100mm hasta los 350mm de nivel (Figura N° 11), y mientras que la segunda va desde los 350 hasta 1600 mm (Figura N° 12) cuyas ecuaciones presentan las siguientes características:

**ECUACION 1.  $Q = a H^b$**

**$H = 100 \text{ } \ddot{E} \text{ } 350 \text{ mm}$**

Año	FACTORES		R
	a	b	
2007 . 2008	0,002	1,291	0,8

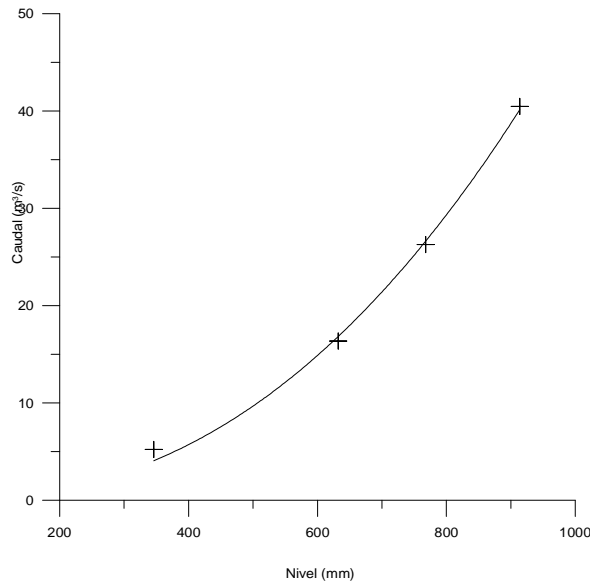


**Figura N° 11.** Curva de descarga 1 y límites de confianza de la estación de aforo %CPL+

**ECUACION 2.  $Q = a H^b$**

**H = mayores a 350 mm**

Año	FACTORES		R
	a	b	
2007 . 2008	2,08	$3 \cdot 10^{-5}$	0,99



**Figura N° 12.** Curva de descarga 2 de la ECPL

**ESTACIÓN DE AFORO QUEBRADA RAMÓN (ECQR)**

De un total de 28 aforos sólo 4 no se tomaron en consideración para la elaboración de las curvas de descarga, en el caso particular de este sitio, Esto indica la buena calidad de los datos obtenidos de mayo 2007 a abril de 2008.

Se definen claramente dos curvas para esta estación de aforo, una es desde los 250 hasta los 450 mm de nivel Figura N° 13, mientras que la otra curva empieza desde los 460 hasta los 900 mm de nivel Figura N° 14.

El análisis con límites de confianza que se observa en la figura N° 13 y figura N° 14 muestra que estos límites siguen un desplazamiento igual a lo largo de toda la curva de descarga, por lo que las ecuaciones

encontradas son muy conribables para encontrar caudales con niveles bajos como altos.

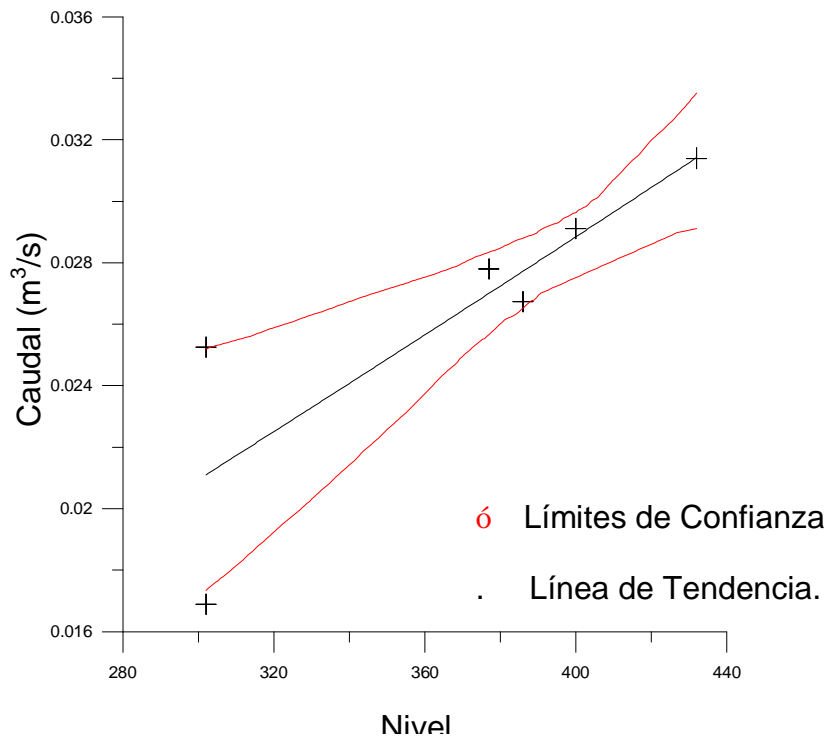
El hidrograma de los caudales instantáneos generados en esta estación de foro, se presentan en la figura N° 78 del anexo 1

A las dos curvas de descarga se les dio un ajuste del tipo **potencial**, presentando un valor de 0,8 de correlación de Pearson en la primera, mientras que para la segunda curva un valor de 0,92. Estas dos ecuaciones presentan las siguientes características:

**ECUACION 1**  $Q = a H^b$

$H = 250 \text{ Æ } 450 \text{ mm}$

FACTORES			
Año	a	b	R
2007 . 2008	0,00089	0,5732	0,8



**Figura N° 13.** Curva de descarga 1 y límites de confianza de la estación de aforo %CQR+

ECUACION 2  $Q = a H^b$

H = mayor a 460 mm

Año	FACTORES		
	a	b	R
2007 . 2008	6,66E-15	4,8374	0,92

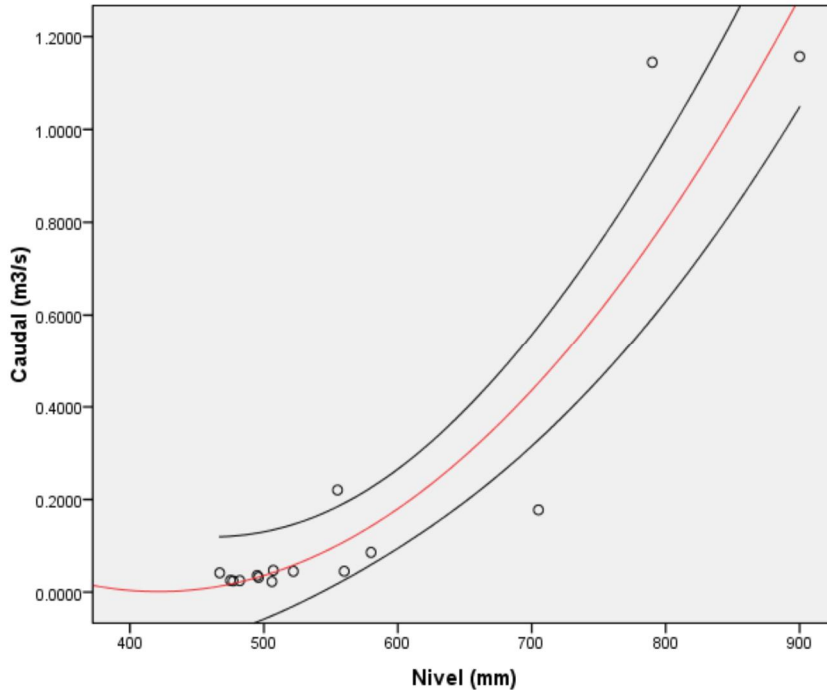


Figura N° 14. Curva de Descarga 2 de la Estación de Aforo %CQR+

### ESTACIÓN DE AFORO QUEBRADA MILAGRO (ECQM)

De un total de 29 aforos sólo 5 no se tomaron en consideración para la elaboración de las curvas de descarga. Esto indica la buena calidad de los datos obtenidos de mayo 2007 a abril de 2008, y con ellos se definieron dos curvas de caudales (Figuras N° 15 y N° 16), una desde 30 hasta 100 mm de nivel mientras que la otra desde los 101 hasta los 350 mm de nivel.

El análisis con límites de confianza (Figura N° 15,16), muestra que existe una buena confiabilidad de los aforos obtenidos en campo tanto para caudales bajos como para caudales altos, y por lo tanto también existe confiabilidad en la ecuación para obtener los caudales a partir de los niveles otorgados por el sensor.

El hidrograma de los caudales instantáneos generados en esta estación de foro, se presentan en la figura N° 77 del anexo.

Las ecuaciones de estas curvas con línea de tendencia del tipo potencial, generaron una correlación de Pearson del 0,84 que en teoría quiere decir que las dos variables (nivel y caudal) tienen un alto grado de relación.

Las ecuaciones presentan las siguientes características:

ECUACION 1  $Q = a H^b$

$H = 30 \text{ } \ddot{E} \text{ } 100 \text{ mm}$

FACTORES			
Año	a	b	R
2007 . 2008	0,0014	0,850	0,92

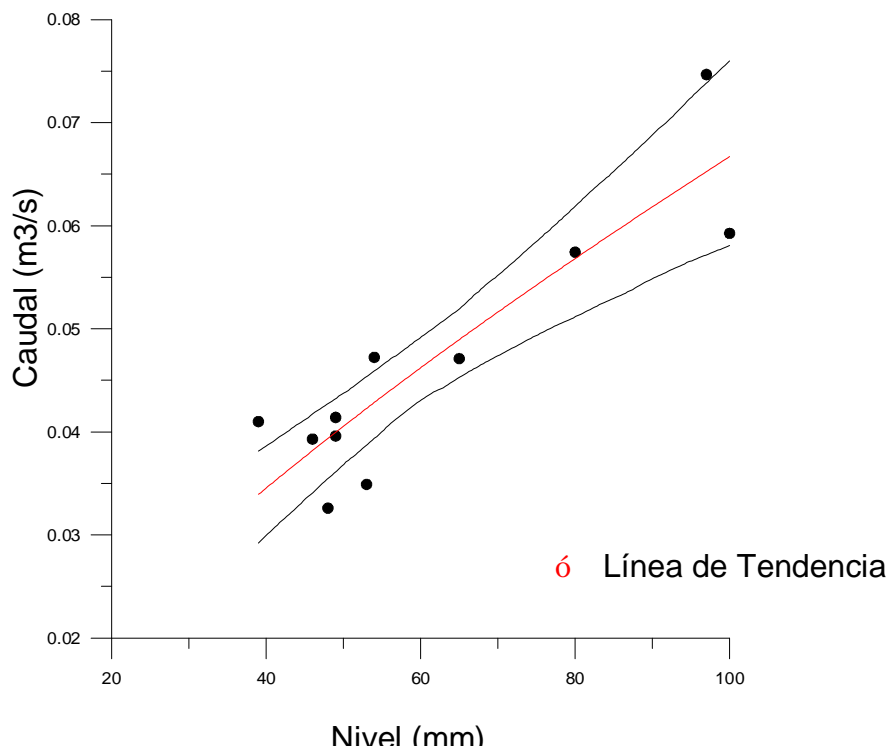


Figura N° 15. Curva de Descarga 1 de la Estación de Aforo %ECQM



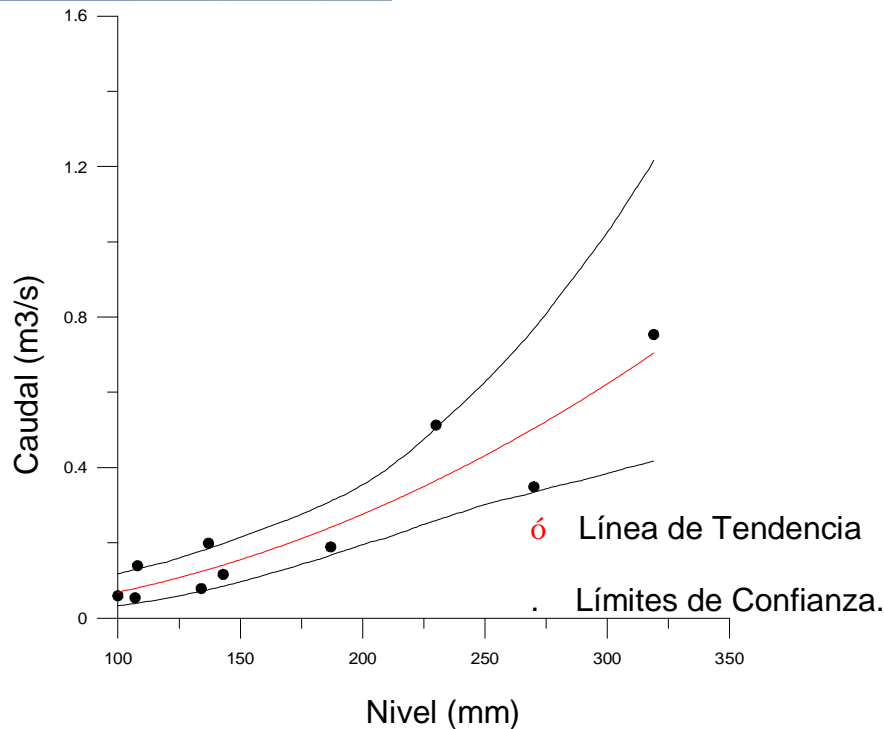


Figura Nº 16. Curva de descarga y límites de confianza de la estación de aforo ECQM+

#### 4.1.1.2.4 ANALISIS Y PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN DE CAUDALES

- **Caudales e Hidrograma Medios Diarios.**

El caudal medio diario máximo de la cuenca de estudio es de 49,1 m<sup>3</sup>/s registrada el día 12 de Agosto de 2007 en la estación de aforo ECPL, y con una altura promedio registrada por el sensor de 940,28mm, agregando que existe otro día con un caudal máximo diario de 41,5 registrada el día 16 de Junio de 2007, tomando en cuenta que el mes de Junio es el mes con mayor presencia de lluvias, por lo tanto el caudal registrado 12 de Agosto de 2007 es debido a la presencia de un evento de crecida que solo duro ese día.

Se tiene también que decir que todos los máximos han sido calculados con la curva de descarga respectiva, este valor se debe a la ubicación de la estación de aforo donde se registro este máximo, ya que se encuentra

en la zona baja a pocos metros que la cuenca de estudio se una con el Río Zamora.

Hay que mencionar que en la última estación de aforo, existe una gran diferencia entre el máximo instantáneo que es de 114,382 m<sup>3</sup>/s (Ver Figura N° 69), que se registro el día 16 de Junio de 2007 y el máximo medio diario 49,105 m<sup>3</sup>/s perteneciente al día 12 de Agosto de 2007, lo que nos puede indicar que existe una rápida respuesta a la precipitación es decir un tiempo de concentración menor a un día y un coeficiente de escorrentía muy alto; esto se puede deber también a un evento de lluvia muy intenso y de poca duración en gran parte de la cuenca.

Con los valores de los caudales medios diarios del período de estudio se dibujo el hidrograma de caudales medios diarios Figuras N° 17 y 18, se puede observar que existen eventos de crecidas a lo largo de todo el período de estudio, pero los meses con caudales altos son **Junio, Agosto, Noviembre, Febrero y a finales de Abril**, siendo el mes de **Junio** donde se registran un mayor número de crecidas en todas las estaciones de aforo, mientras que los meses de **Octubre, Diciembre, Enero, Marzo son los más secos, especialmente Diciembre**. Con este gráfico también se puede decir que hay una clara distribución entre el período de lluvias, que generalmente se inicia en el mes de abril, y el período seco que se inicia el mes de octubre.

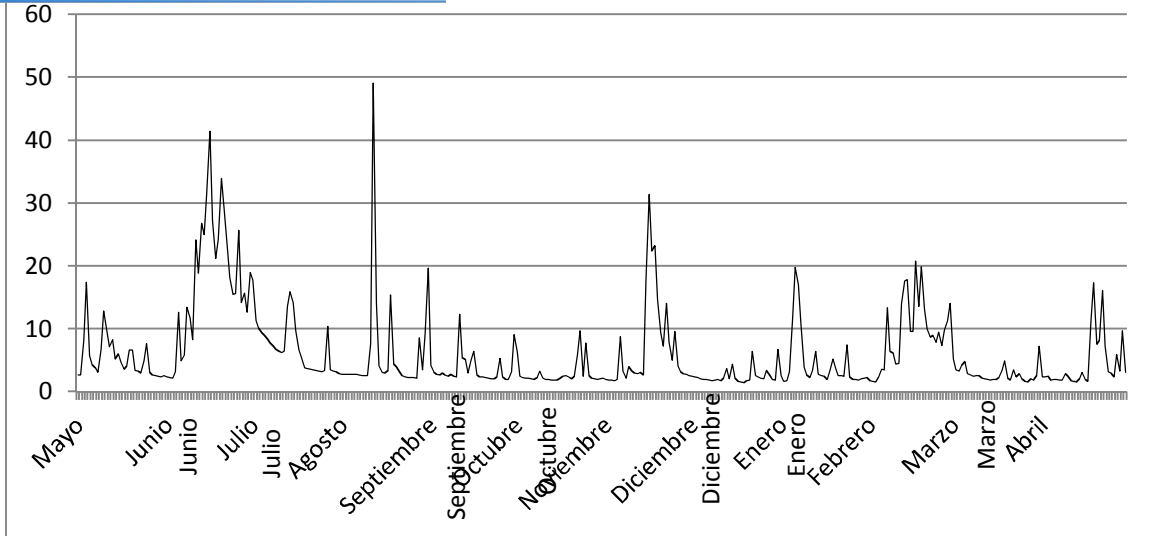


Figura N° 17. Hidrograma de Caudales Medios Diarios de la ECPL

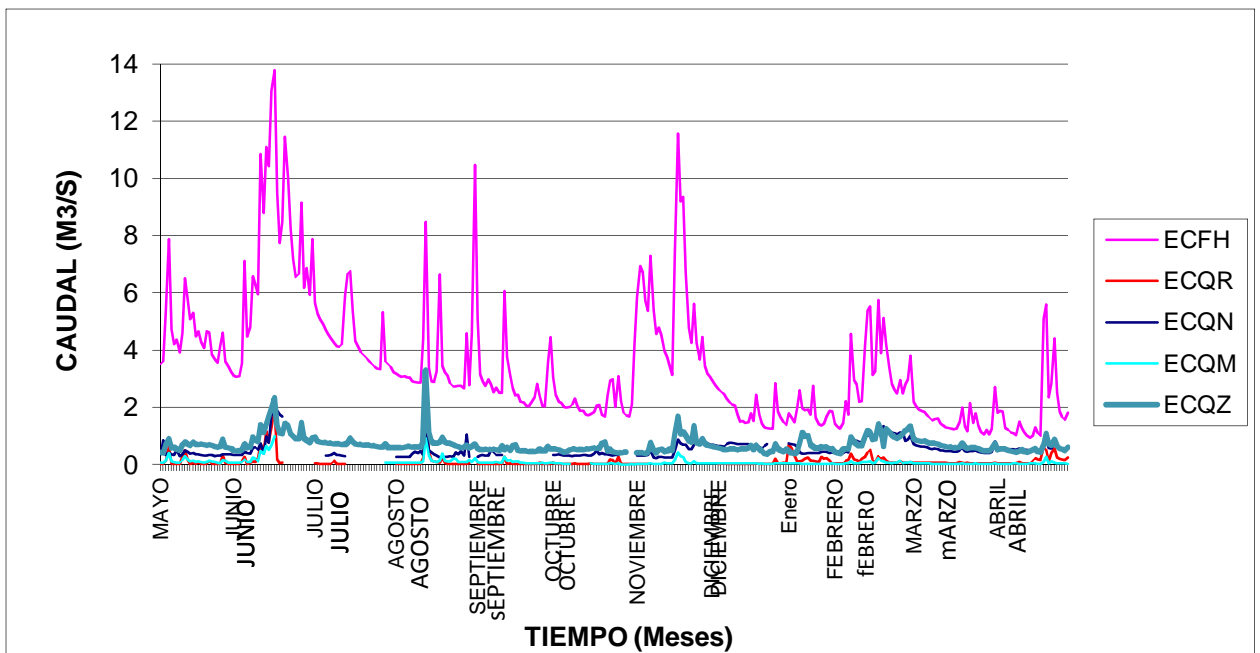


Figura N° 18. Hidrograma de Caudales Medios Diarios

- **Caudales e Hidrograma Medios Mensuales.**

Con los caudales medios diarios se calcularon los caudales medios mensuales que se muestra en el cuadro N° 4, generando una media anual de  $6,11 \text{ m}^3/\text{s}$

En la Figura N° 19 se muestra el hidrograma de caudales medios mensuales de todas las estaciones de aforo, donde se puede observar claramente tres picos altos en los meses de Junio, Noviembre y Febrero, pudiendo decir que en estos tres meses existe la mayor presencia de las precipitaciones, especialmente en el mes de **Junio** que es el más caudaloso dentro de la cuenca de estudio, mientras que también existen tres picos bajos en los meses de Octubre, Diciembre y Marzo siendo el mes de **Diciembre** el más seco en todas las estaciones de aforo .

**Cuadro N° 3.** Datos de caudales mensuales

Estac Meses	ECFH	ECQR	ECQN	ECQM	ECQZ	ECQP	ECPL
MAYO	4,51	0,1	0,367	0,124	0,659	0,123	5,661
JUNIO	7,61	0,41	0,851	0,309	1,056	0,13	17,675
JULIO	4,41	0,04	0,338	0,07	0,717	0,141	6,330
AGOSTO	3,70	0,15	0,404	0,153	0,781	0,144	6,231
SEPTIEMBRE	2,89	0,04	0,356	0,086	0,53		3,588
OCTUBRE	2,20	0,05	0,344	0,032	0,524	0,147	2,882
NOVIEMBRE	5,28	0,026	0,513	0,071	0,717	0,165	7,352
DICIEMBRE	1,82	0,051	0,691	0,043	0,533	0,168	2,482
ENERO	1,84	0,17	0,487	0,038	0,646	0,134	4,462
FEBRERO	3,14	0,16	0,889	0,079	0,902		9,400
MARZO	1,57	0,066	0,527	0,039	0,661		2,846
ABRIL	1,90	0,18	0,57	0,054	0,566	0,178	4,462
<b>Promedio</b>	<b>3,41</b>	<b>0,12</b>	<b>0,53</b>	<b>0,09</b>	<b>0,69</b>	<b>0,148</b>	<b>6,11</b>

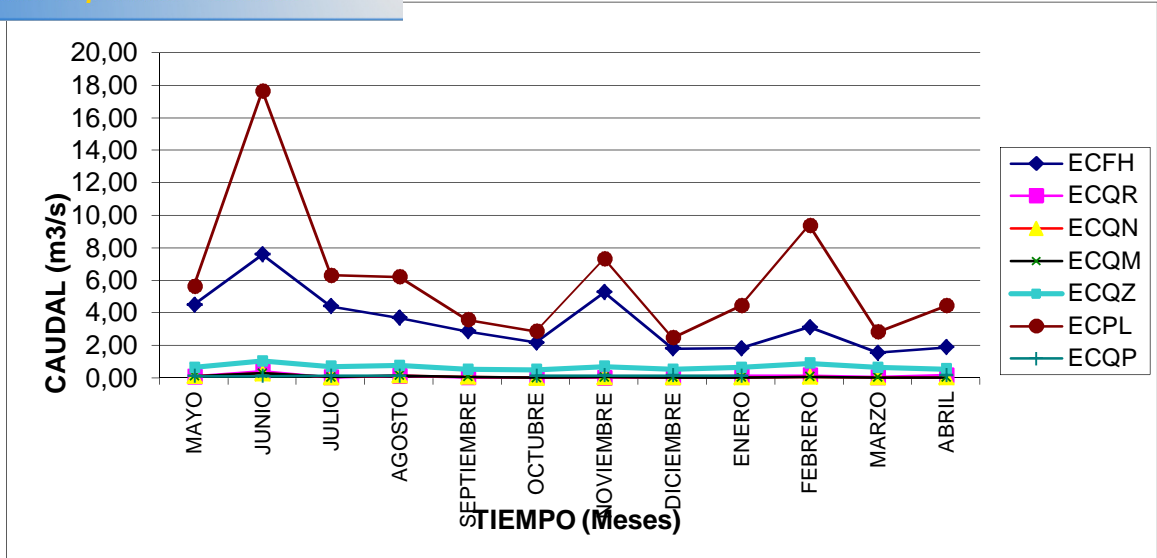


Figura N° 19. Hidrograma de caudales medios mensuales

#### 4.1.1.3 Obtención de la Información para la Calidad de agua

- Calidad vs. Cantidad



#### ESTACIÓN DE AFORO QUEBRADA ZURITA (ECQZ)

En la estación de aforo Q. Zurita, no todos los elementos químicos que se determinaron para este estudio tienen variación bien definida de aumento o disminución de su concentración frente al incremento del caudal.

Los elementos químicos en los cuales se puede evidenciar una tendencia al aumento del caudal son: **Al** Æ **Co** (Figura N° 20), **Mn** Æ **Ni** (Figura N° 21), **Ce** Æ **Fe** (Figura N° 22) en donde la concentración aumentan a medida que el caudal también aumenta, mientras que los elementos químicos **Mg** Æ **As** (Figura N° 23), **Sr** Æ **Ca** (Figura N° 24), **Na** (Figura N° 25) disminuye su concentración a medida que el caudal aumenta.

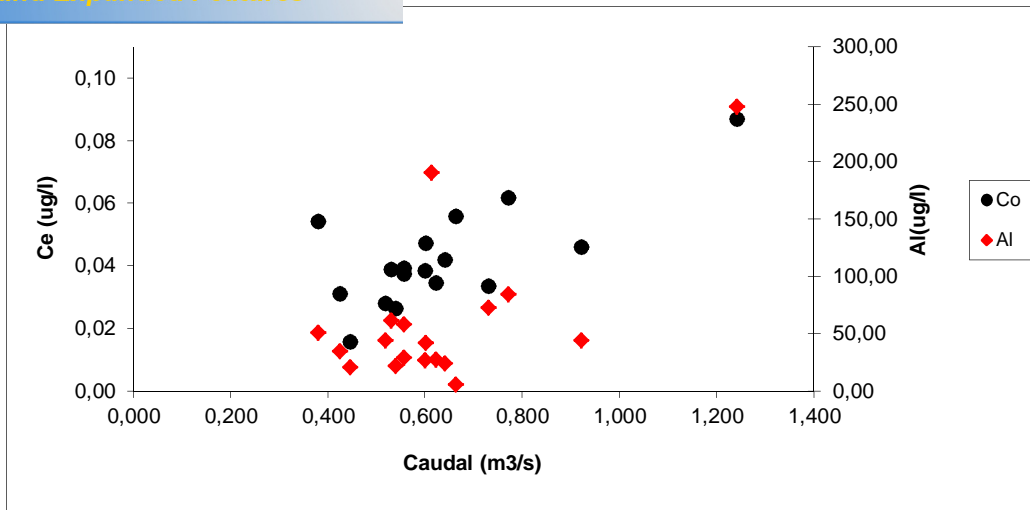


Figura N° 20. Elementos Co y Al frente al caudal.

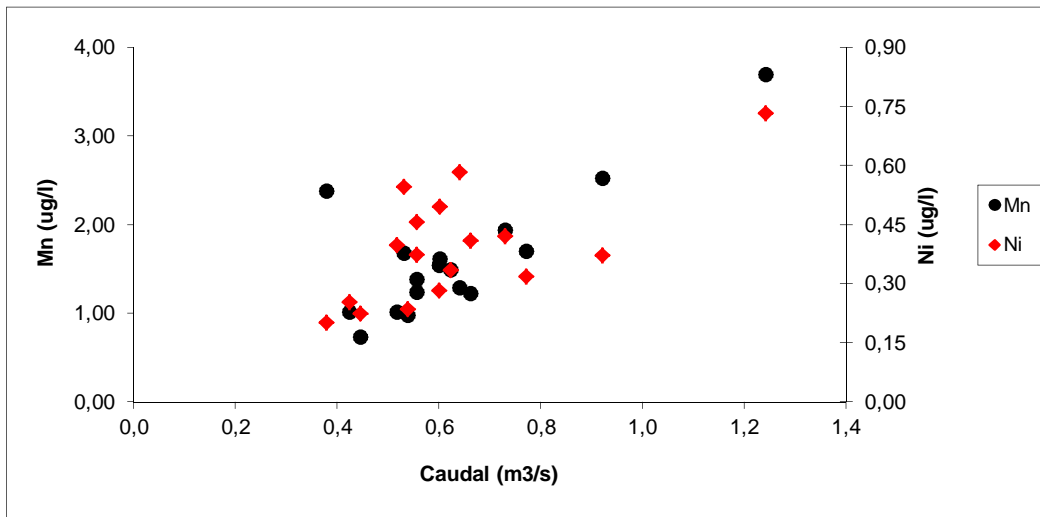


Figura N° 21. Elementos Mn y Ni frente al caudal.

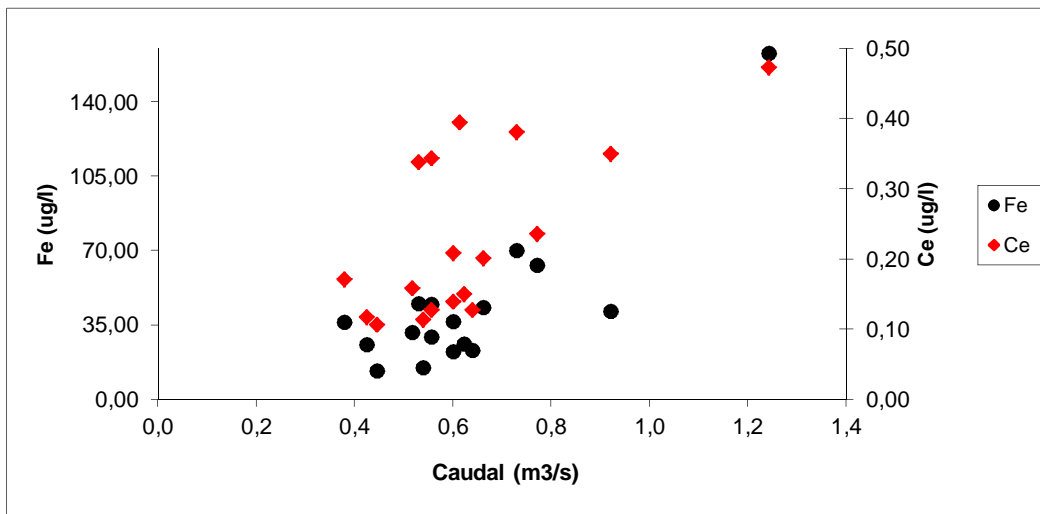


Figura N° 22. Elementos Fe y Ce frente al caudal.

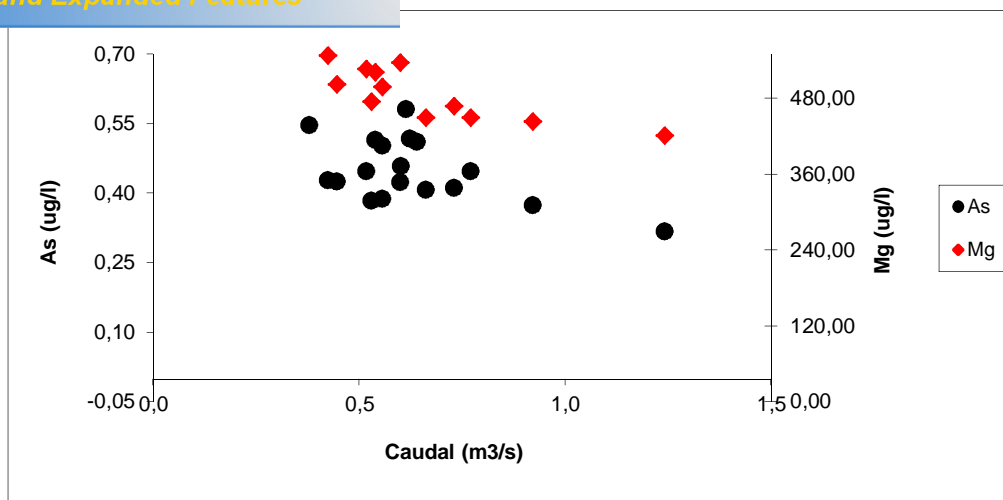


Figura Nº 23. Elementos As y Mg frente al caudal.

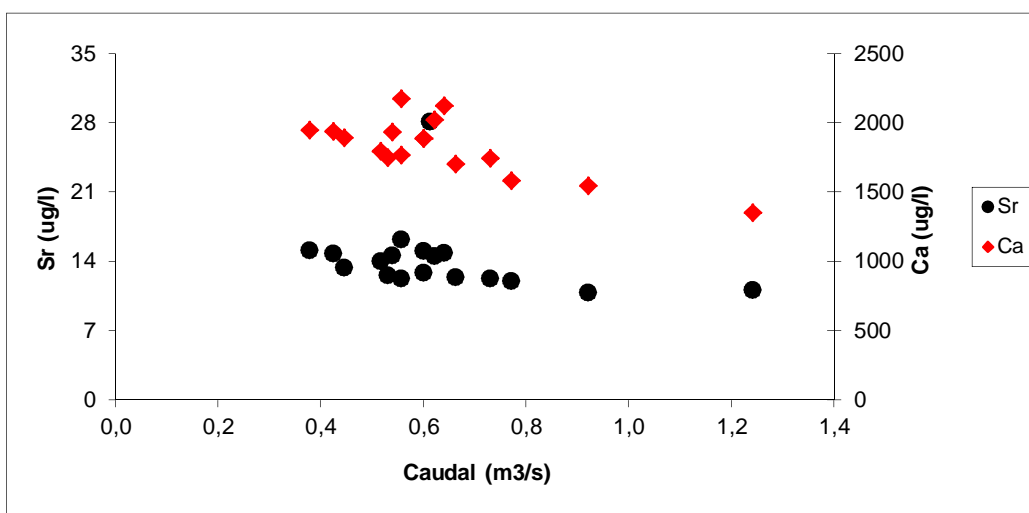


Figura Nº 24. Elementos Sr y Ca frente al caudal

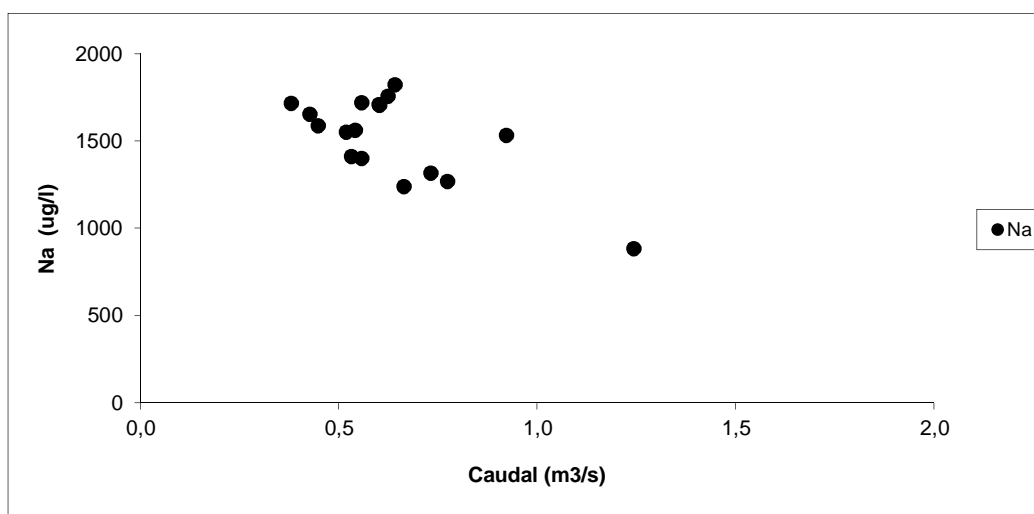
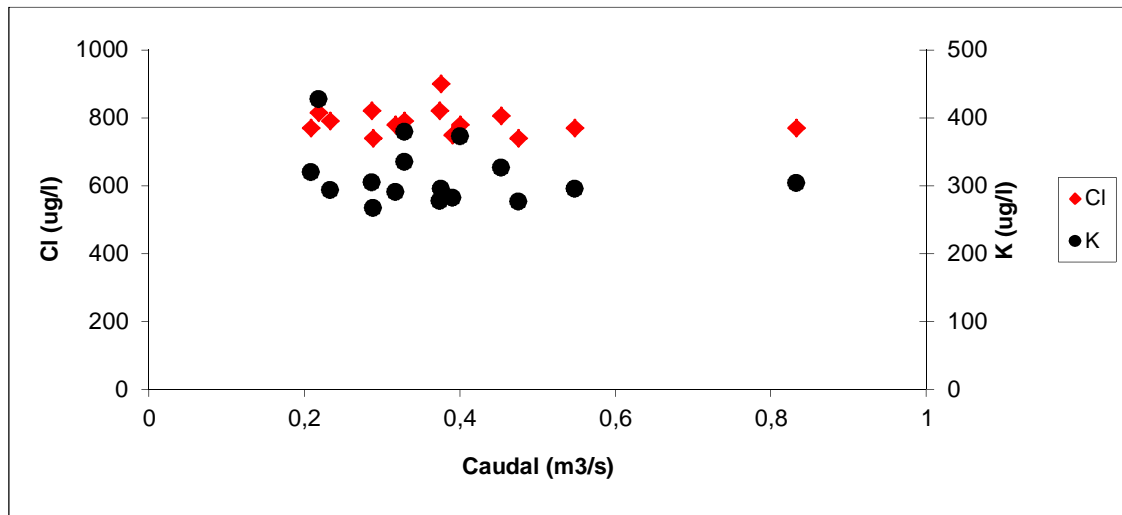


Figura Nº 25. Elemento Na frente al caudal

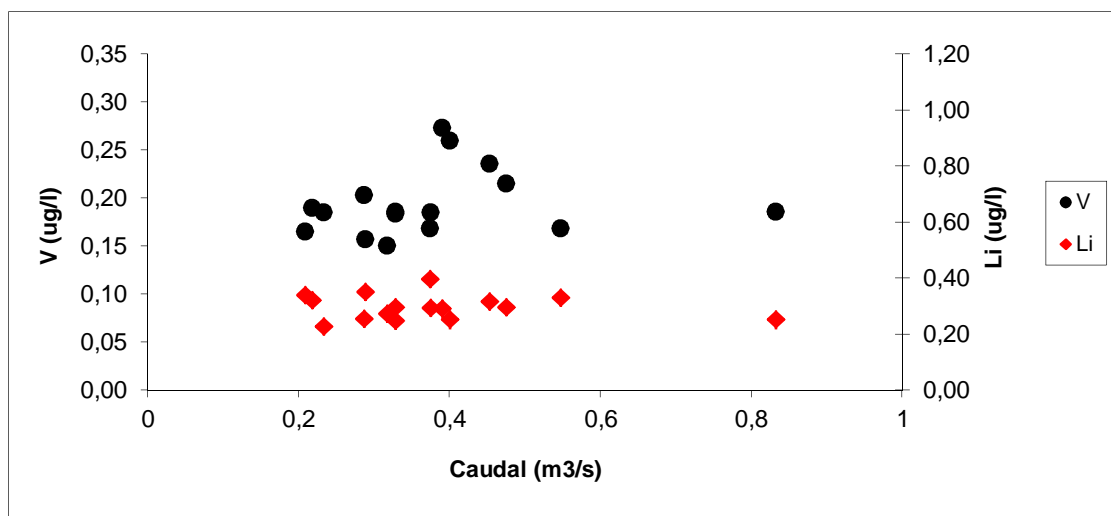
**ESTACION DE AFORO QUEBRADA NAVIDAD (ECQN)**

En esta estación de aforo no existe una variación bien definida de los elementos químicos frente al aumento del caudal, más bien existe un equilibrio o falta de variabilidad de los mismos, es decir, la dinámica de concentración de los elementos no depende del caudal.

Este equilibrio o falta de variación del elemento químico frente al aumento del caudal, se lo puede apreciar en elementos como **Cl** y **K** (Figura N° 26), **V** y **Li** (Figura N° 27), **Ca** y **Mg** (Figura N° 28), **Zn** y **Sr** (Figura N° 29)



**Figura N° 26** Elementos Cl y K frente al caudal.



**Figura N° 27.** Elementos V y Li frente al caudal.



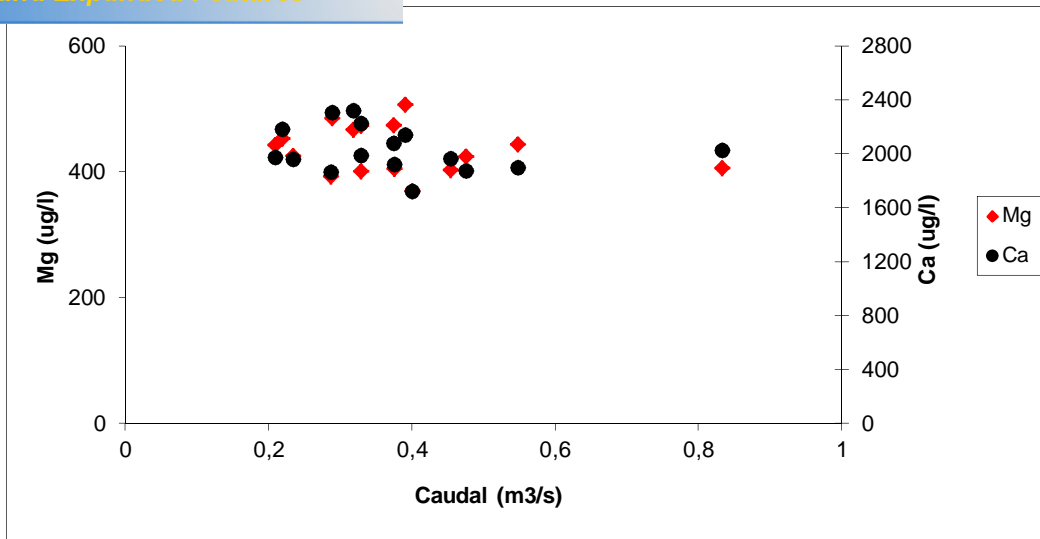


Figura N° 28. Elementos Mg y Ca frente al caudal.

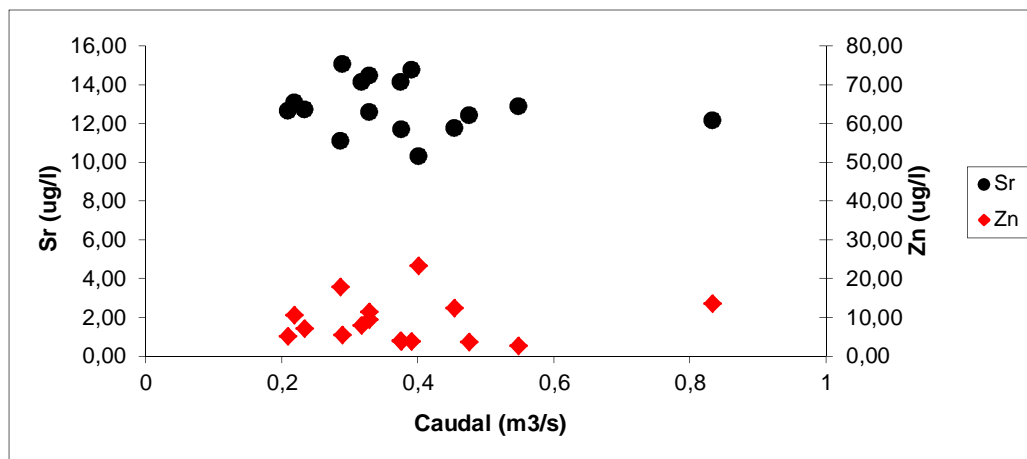


Figura N° 29. Elementos Sr y Zn frente al caudal.



### ESTACIÓN DE AFORO COMPUERTA (ECFH)

En esta estación de aforo a diferencia de la anterior, no todos los elementos químicos que se determinaron para este estudio tienen variación bien definida de aumento o disminución de su concentración frente al aumento del caudal.

Los elementos químicos que sufren una tendencia al aumento del caudal son: **Al** Æ **Ba** (Figura N° 30), **Li** Æ **Ce** (Figura N° 31), **Co** (Figura N° 32) en donde la concentración aumentan a medida que el caudal también

aumenta, mientras que los elementos químicos **Na** y **As** (Figura N° 33) disminuye su concentración a medida que el caudal aumenta.

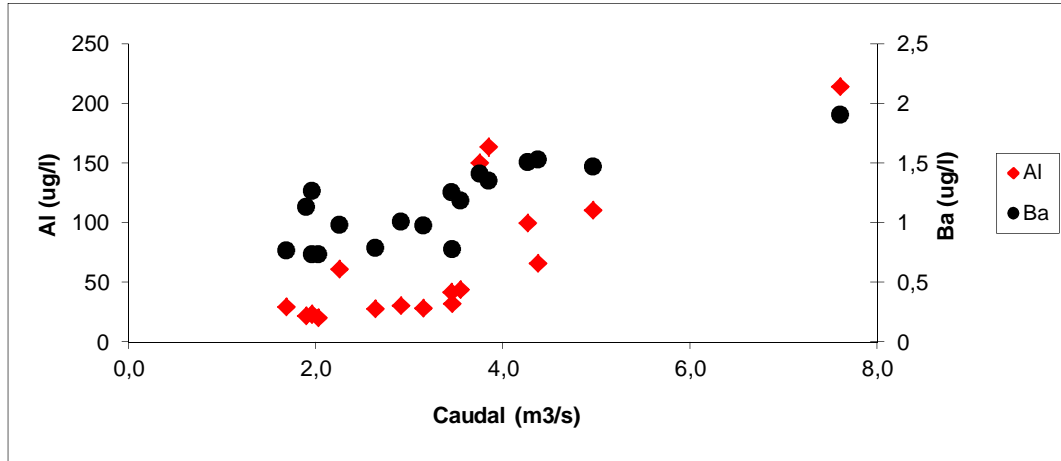


Figura N° 30. Elementos Al y Ba frente al caudal.

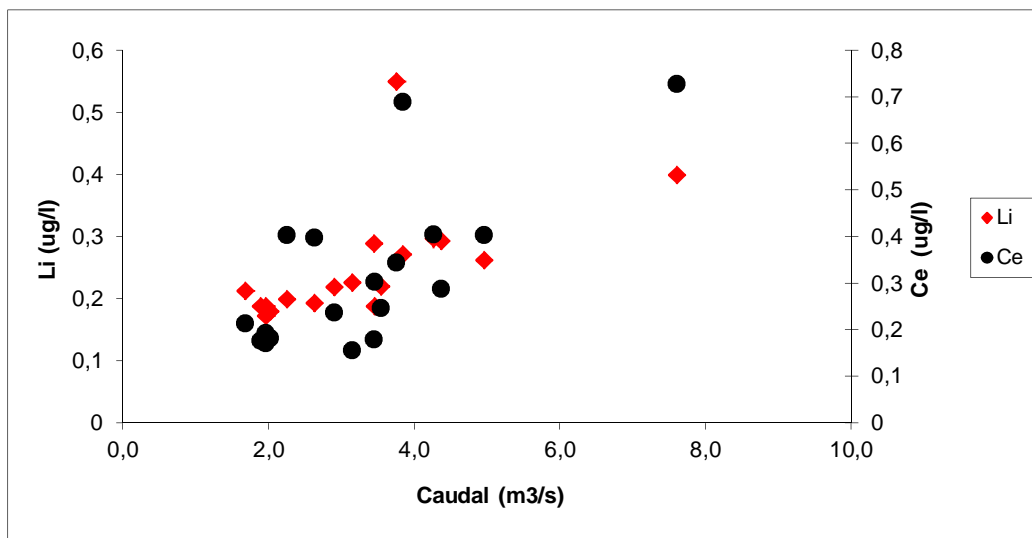


Figura N° 31. Elementos Li y Ce frente al caudal.

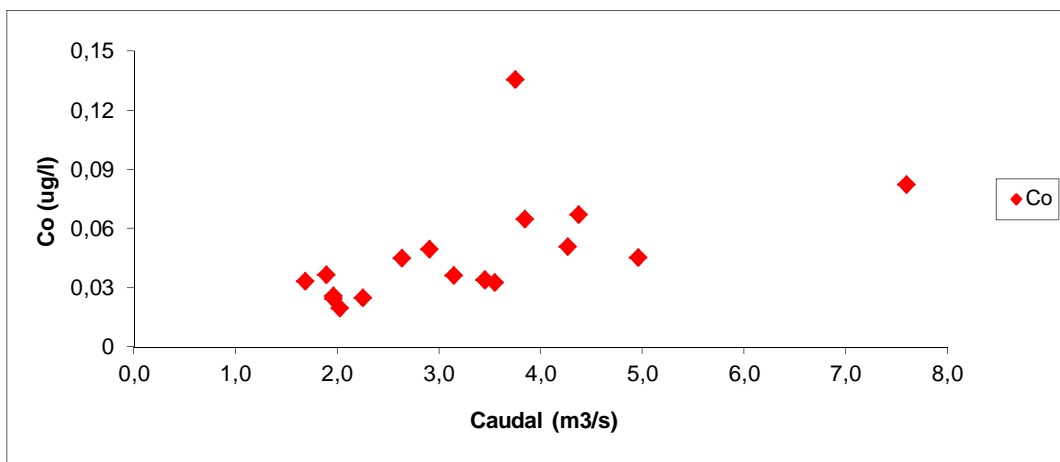


Figura N° 32. Elemento Co frente al caudal.

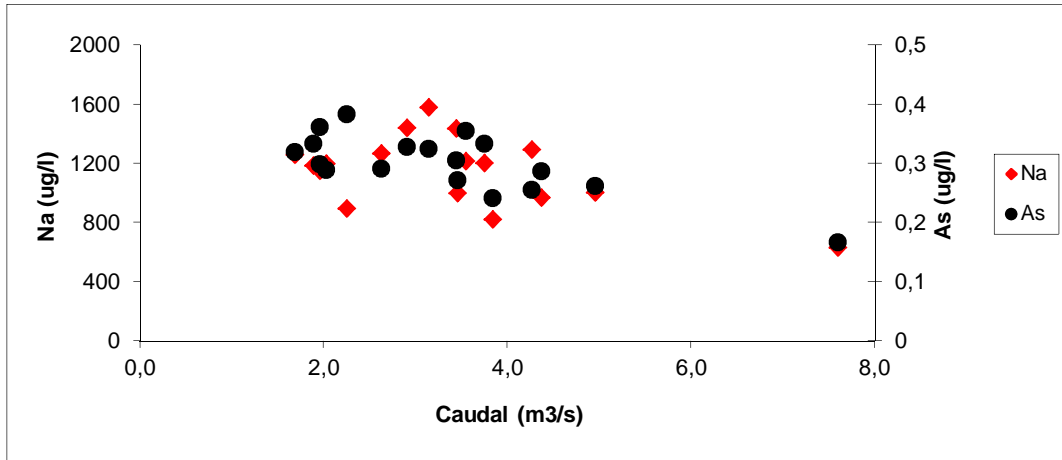


Figura N° 33. Elementos Na y As frente al caudal.



### ESTACIÓN DE AFORO QUEBRADA PASTO (ECQP)

La estación de aforo Q. Pasto presenta una particularidad que hasta los 0,15 m<sup>3</sup>/s la concentración de los elementos no varía en función del aumento del caudal, es decir, hasta 0,15 m<sup>3</sup>/s de caudal el elemento químico puede aumentar como puede disminuir, pero en caudales mayores a 0,15 m<sup>3</sup>/s el elemento puede sufrir una sola variación (aumentar o disminuir).

Esta variación del elemento químico frente a caudales altos se puede apreciar con los elementos **Al Æ V, Fe Æ Pr, La Æ Ce, Ba Æ Nd** en las Figuras N° 36 - 40 respectivamente, en donde en caudales mayores a 0,15 m<sup>3</sup>/s el elemento aumenta, mientras que los elementos **Na Æ Cl, Mg - Zn** Figuras N° 34 y 35 respectivamente, en caudales mayores a 0,15 m<sup>3</sup>/s, estos elementos químicos disminuyen su concentración.

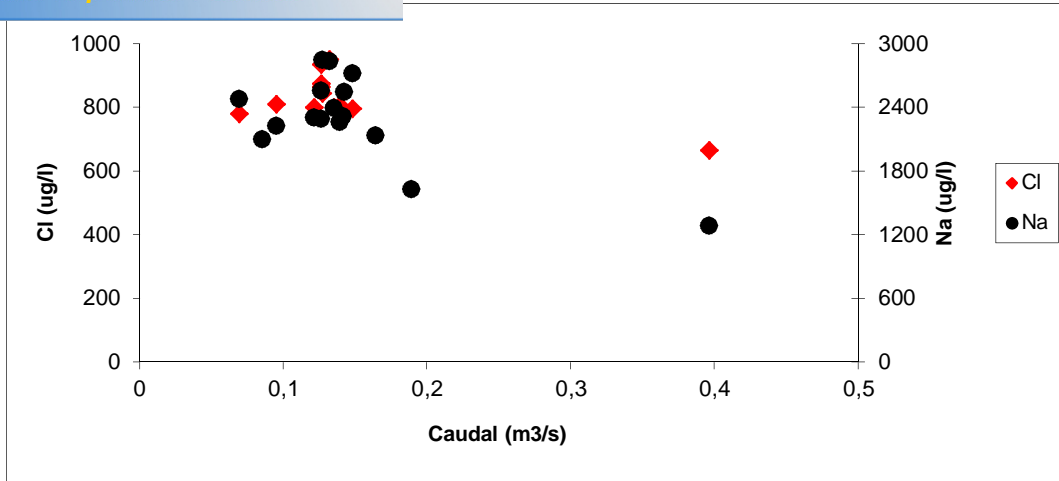


Figura N° 34. Elementos Cl y Na frente al caudal.

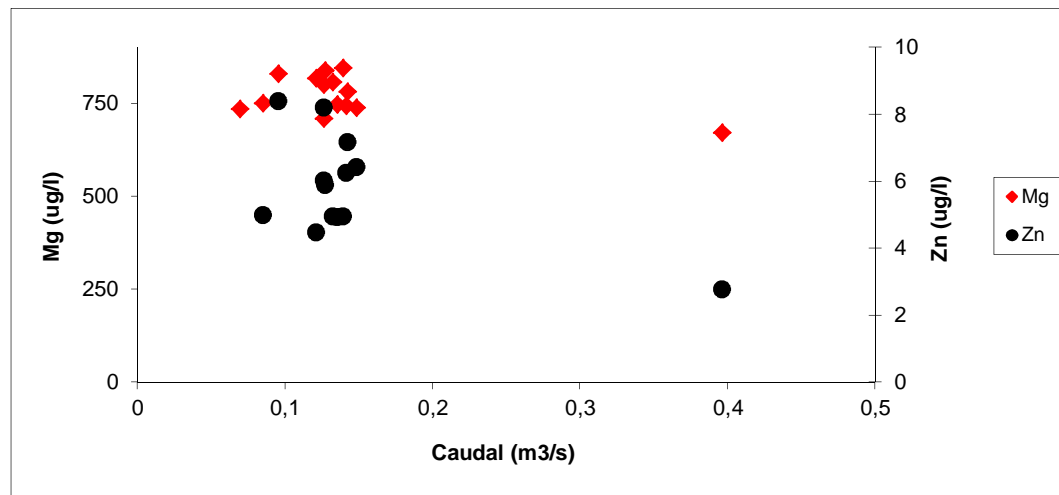


Figura N° 35. Elementos Mg y Zn frente al caudal.

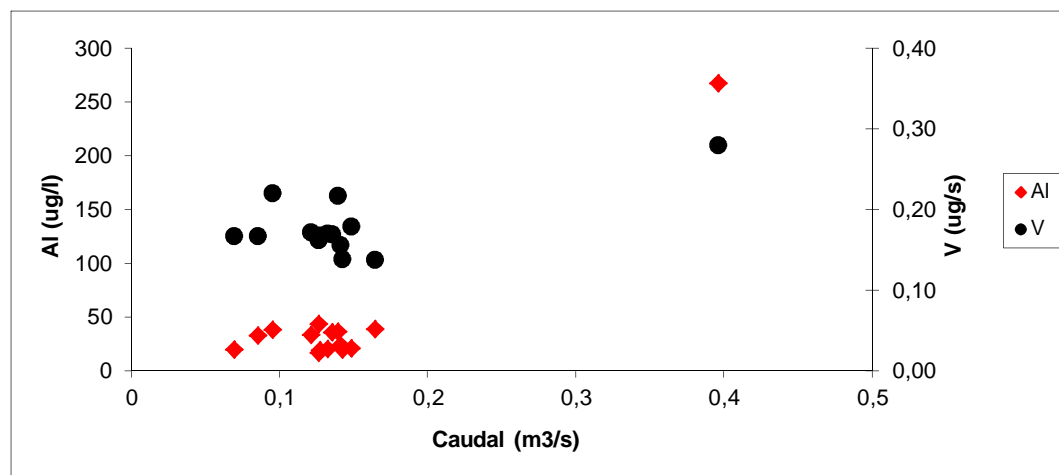


Figura N° 36. Elementos Al y V frente al caudal.

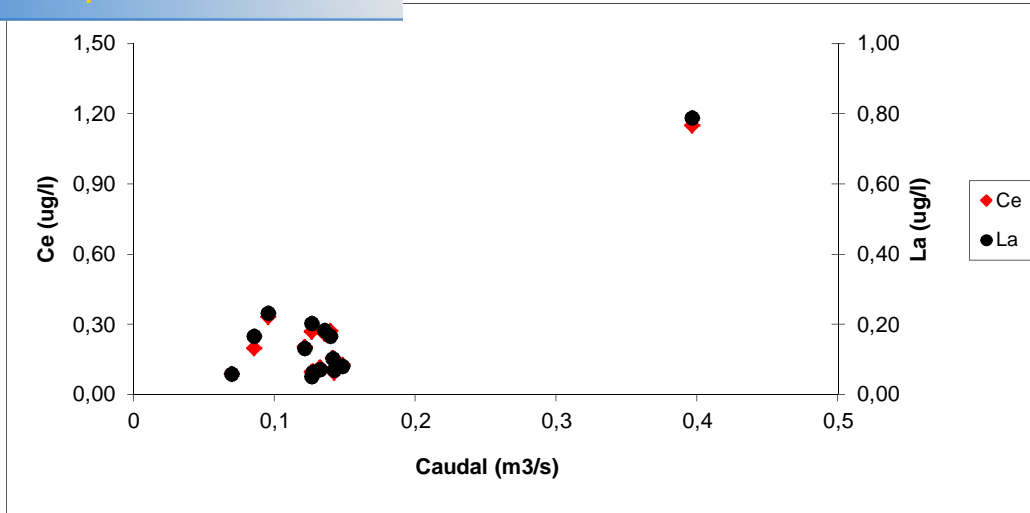


Figura N° 37. Elementos Ce y La frente al caudal.

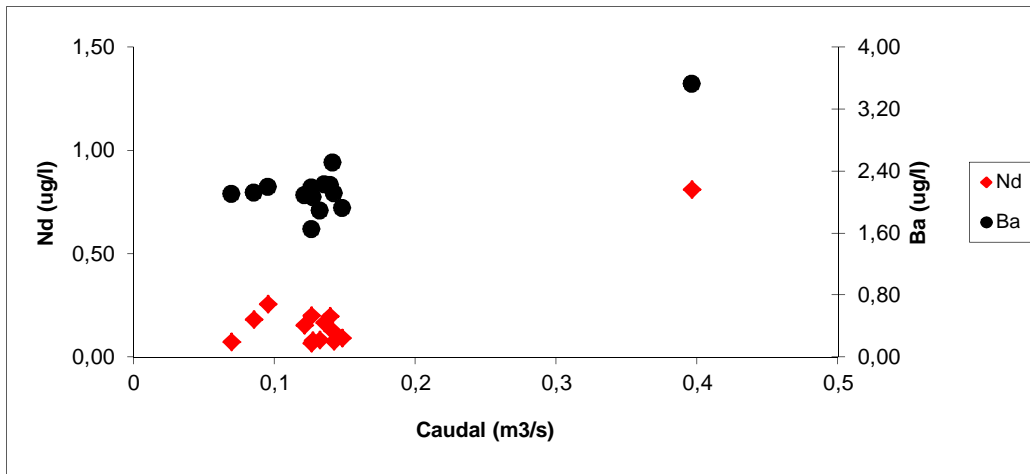


Figura N° 38. Elementos Nd y Ba frente al caudal.

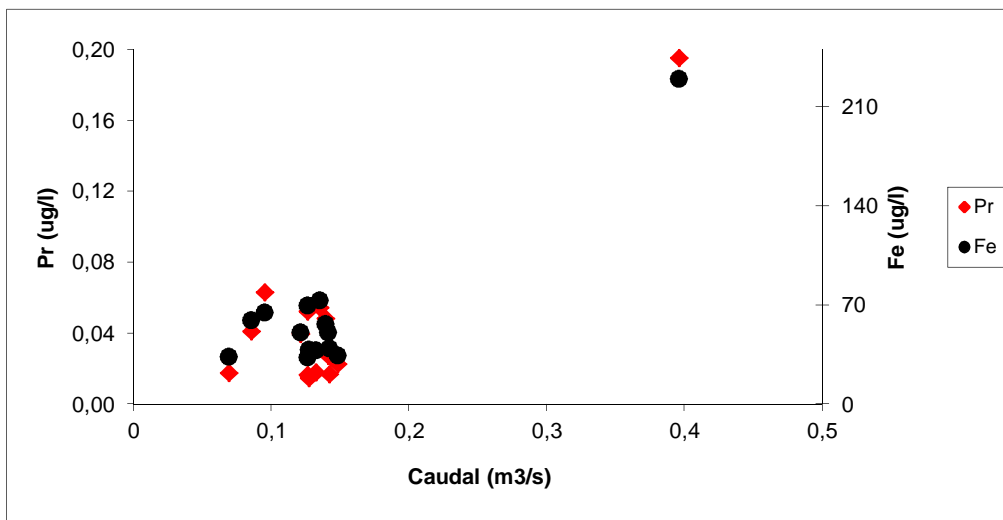


Figura N° 39. Elementos Pr y Fe frente al caudal.

### ESTACION DE AFORO PLANTA ELECTRICA (ECPL)

En esta estación de aforo presenta una particularidad que hasta los 5 m<sup>3</sup>/s la concentración de los elementos no varía en función del aumento del caudal, es decir, hasta 5 m<sup>3</sup>/s de caudal el elemento químico puede aumentar como disminuir, pero en caudales mayores a 5 m<sup>3</sup>/s el elemento puede sufrir una sola variación (aumentar o disminuir).

Esta variación del elemento químico frente a caudales altos se puede apreciar con los elementos **Al** (Figura N° 40 ), **Fe** (Figura N° 41), en donde en caudales mayores a 5 m<sup>3</sup>/s el elemento aumenta, mientras que los elementos **Mg, Ca Æ Cl**, Figuras N° 41 y 42 respectivamente, disminuyen su concentración en caudales mayores a 5 m<sup>3</sup>/s.

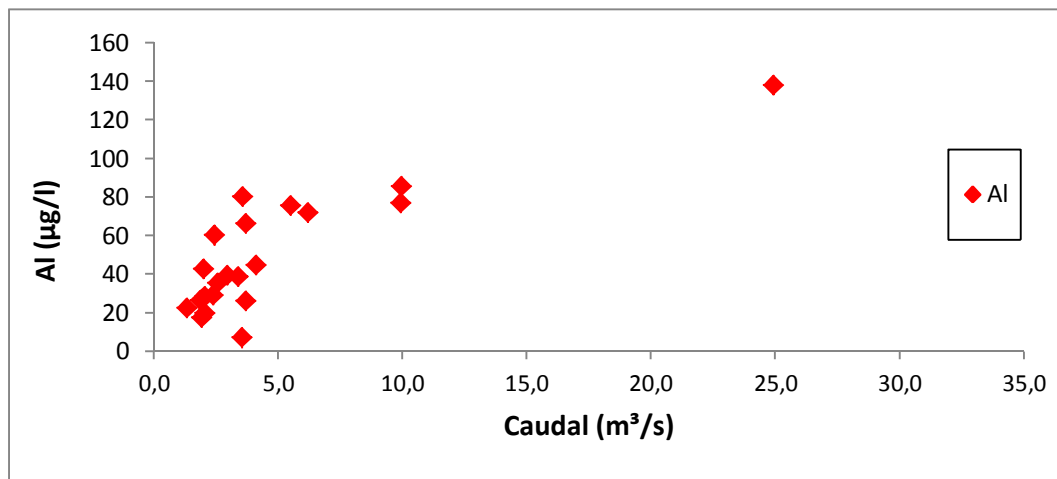


Figura N° 40. Elemento Al frente al caudal.

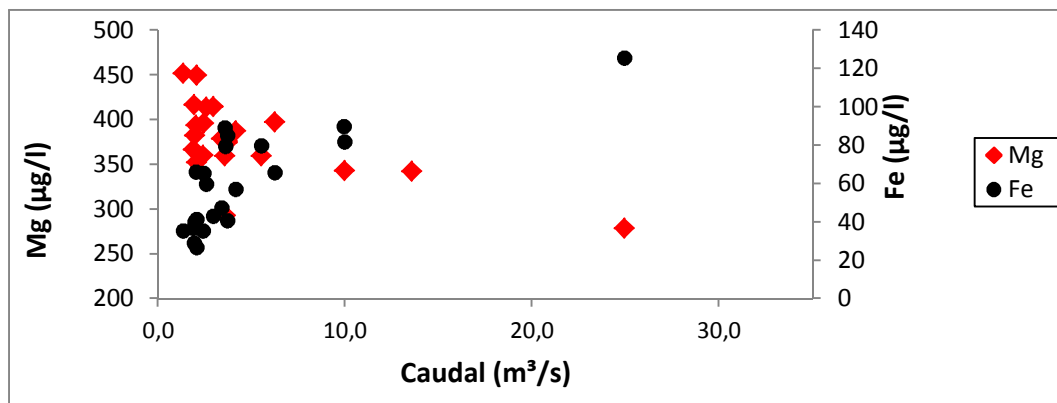


Figura N° 41. Elementos Mg y Fe frente al caudal.

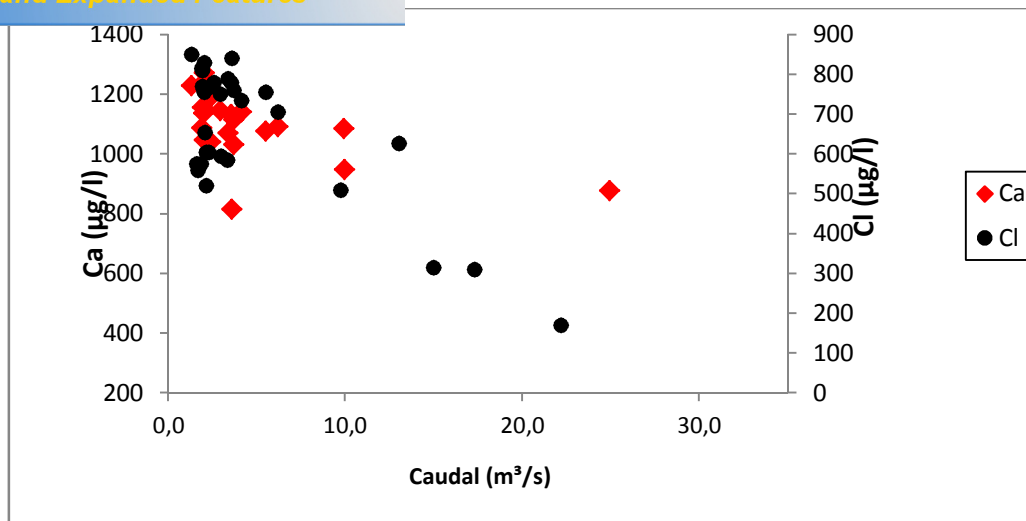


Figura N° 42. Elementos Ca y Cl frente al caudal.



### ESTACIÓN DE AFORO QUEBRADA RAMON (ECQR)

En esta estación de aforo no existe una clara tendencia de los elementos químicos frente a caudales menores  $0,05 \text{ m}^3/\text{s}$ , es a partir de caudales mayores a  $0,05 \text{ m}^3/\text{s}$  que la concentración de elementos químicos empieza a generar una sola variación (aumentar o disminuir)

Los elementos que mostraron una tendencia en caudales mayores  $0,05 \text{ m}^3/\text{s}$  son **Li Æ Al** (Figura N° 43), **Co Æ Ni** (Figura N° 44), **Ce Æ Ba** (Figura N° 45), **Nd Æ Fe** (Figura N° 46), estos elementos antes mencionados tienen la tendencia de incrementar sus concentraciones en caudales altos.

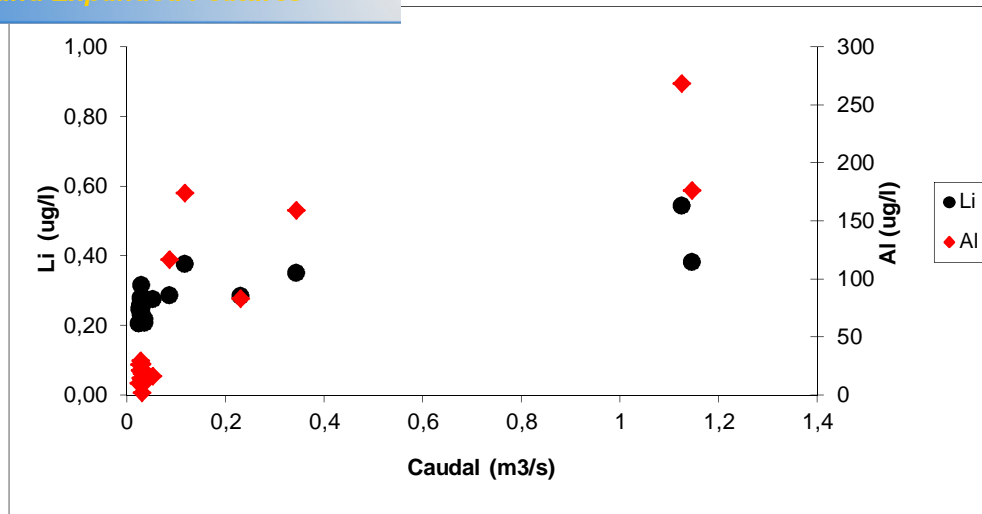


Figura N° 43. Elementos Li y Al frente al caudal.

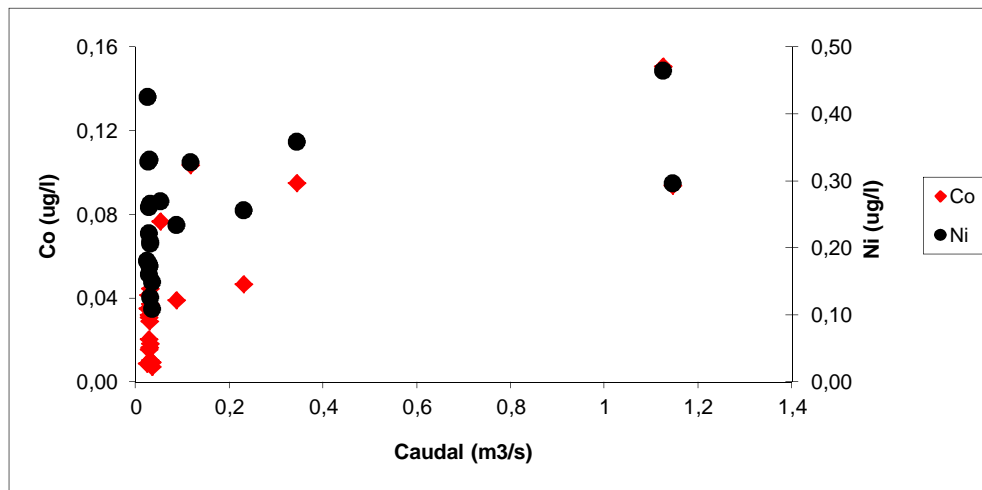


Figura N° 44. Elementos Co y Ni frente al caudal.

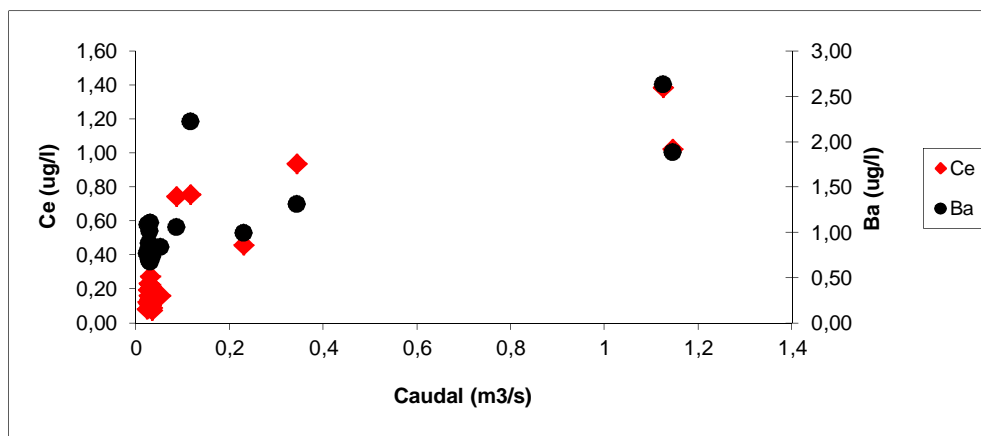


Figura N° 45. Elementos Ce y Ba frente al caudal.



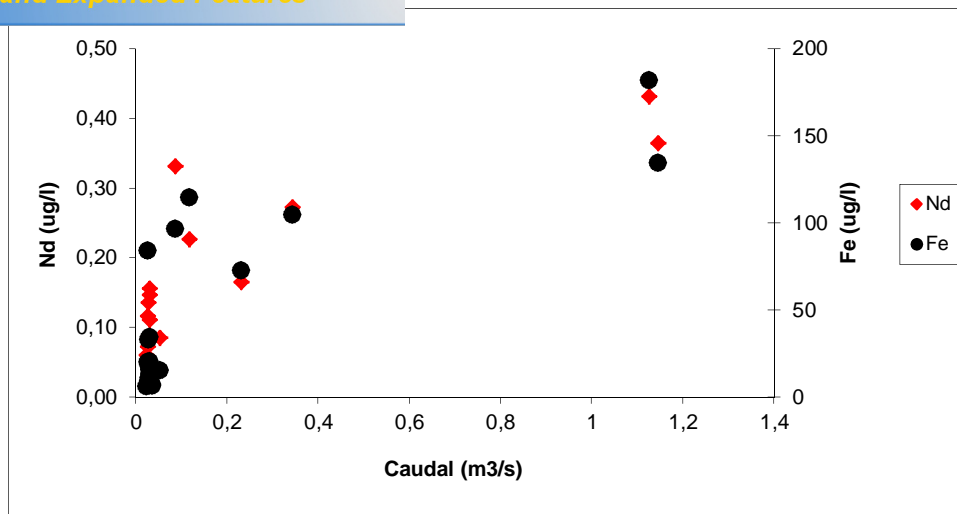


Figura N° 46. Elementos Nd y Fe frente al caudal.



### ESTACIÓN DE AFORO QUEBADA MILAGRO (ECQM)

En esta estación de aforo, no todos los elementos químicos que se determinaron para este estudio tienen variación bien definida de aumento o disminución de su concentración frente al aumento del caudal.

Los elementos químicos que sufren una tendencia al aumento del caudal son: **Al Æ V** (Figura N° 47), **K - Rb** (Figura N° 48), **La Æ Ce** (Figura N° 49), **Pr Æ Mn** (Figura N° 50) donde la concentración aumentan a medida que el caudal también aumenta, mientras que el elemento químico **Na** (Figura N° 51) disminuye su concentración a medida que el caudal aumenta.

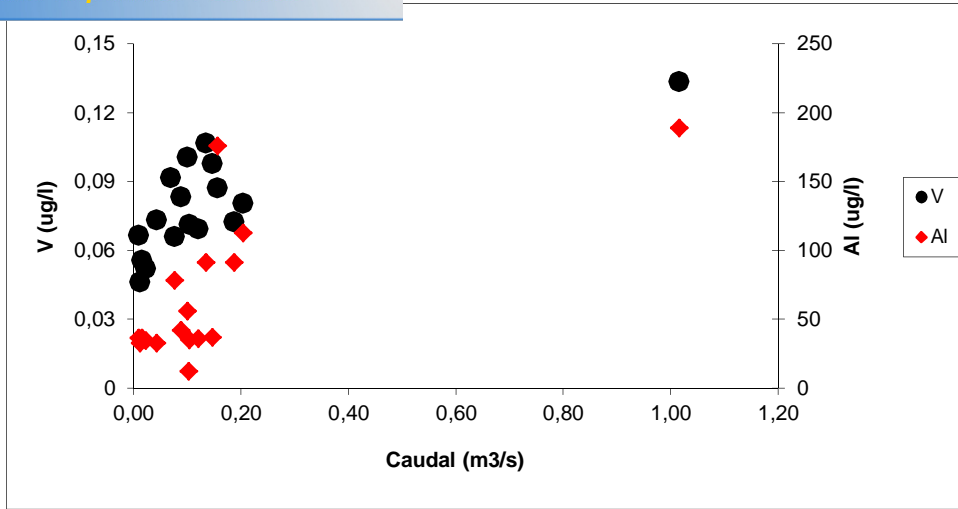


Figura N° 47. Elementos V y Al frente al caudal.

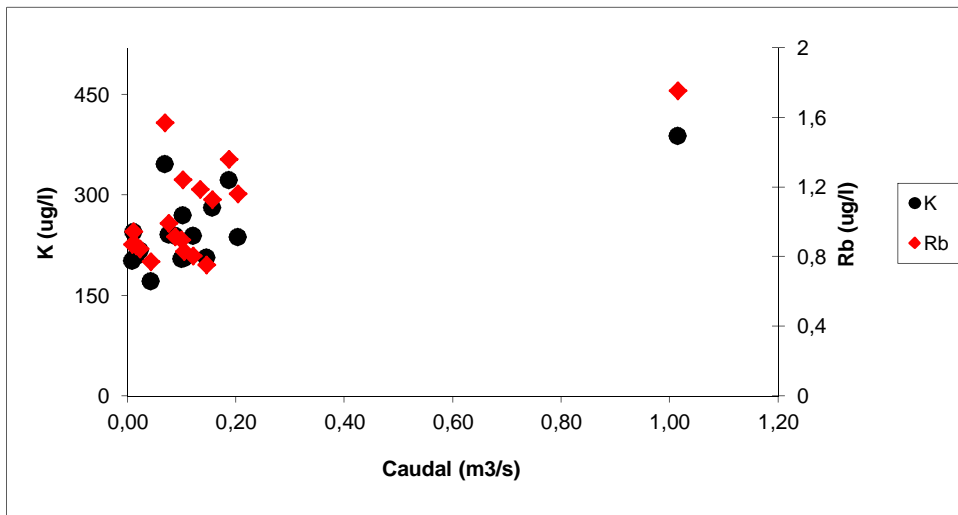


Figura N° 48. Elementos K y Rb frente al caudal.

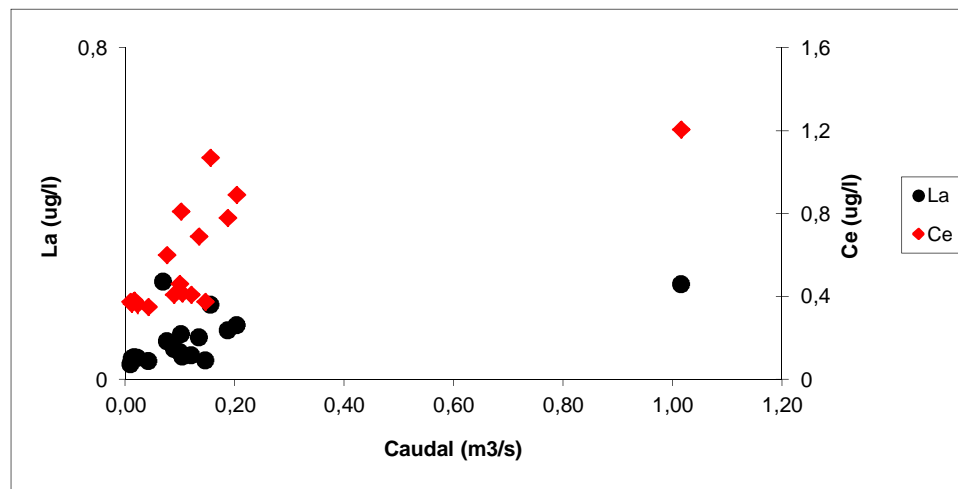


Figura N° 49. Elementos La y Ce frente al caudal.

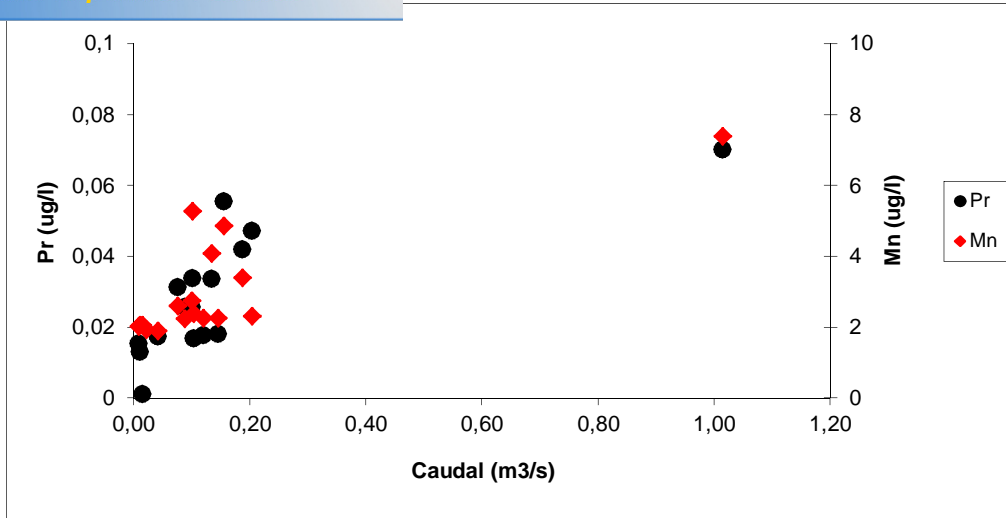


Figura N° 50. Elementos Pr y Mn frente al caudal.

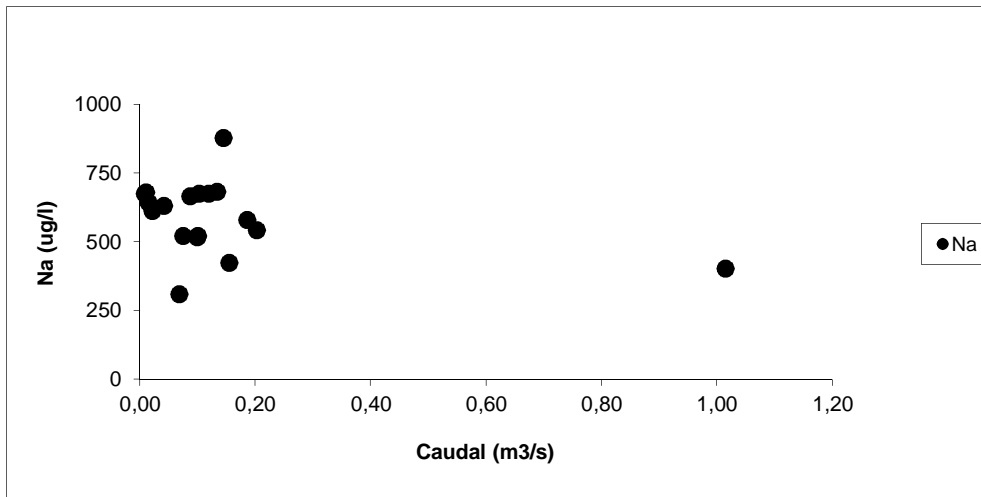


Figura N° 51. Elemento Na frente al caudal.

#### 4.1.2 Resultados del segundo objetivo

Los resultados para el cumplimiento de este objetivo se muestran a continuación:

##### 4.1.2.1 Variabilidad Temporal

Las correlaciones que se hicieron para saber el cambio y el valor de correlación que existe entra el caudal - estacionalidad y la calidad con la estacionalidad en cada una de las estaciones de aforo (subcuencas), se muestran a continuación:

##### 4.1.2.1.1 Correlaciones

###### ▪ Caudal Æ Estacionalidad (Verano Æ Invierno)

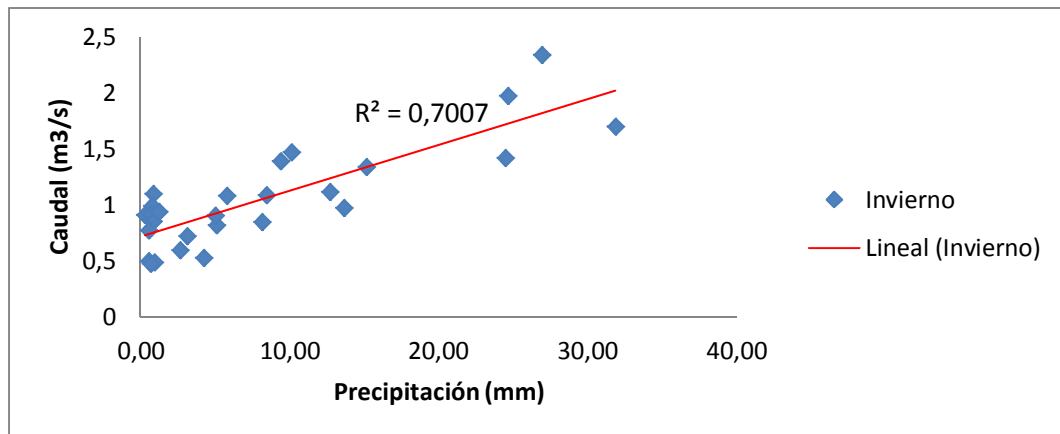


Figura Nº 52. Correlación Caudal . Estacionalidad (Invierno)de la estación de aforo Quebrada Zurita (ECQZ)

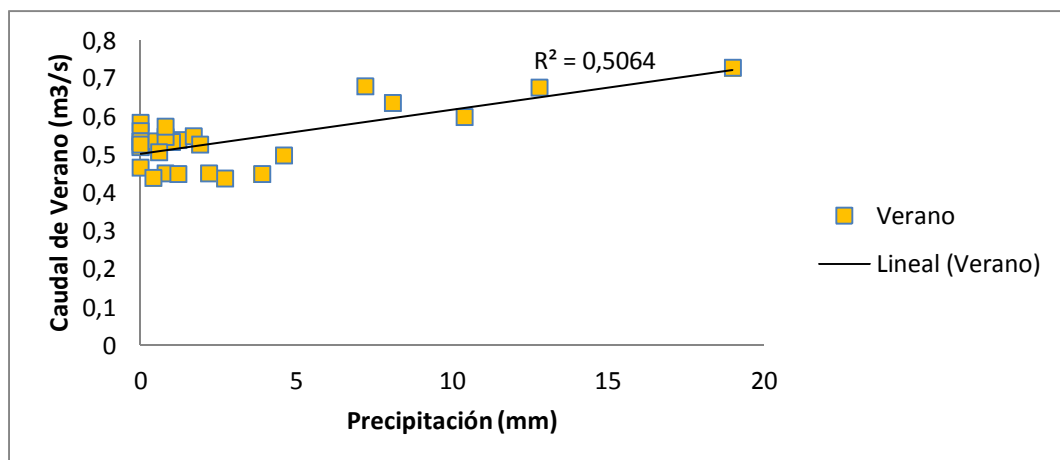


Figura Nº 53. Correlación Caudal . Estacionalidad (verano) de la estación de aforo quebrada Zurita (ECQZ)

**Correlación Caudal - Estacionalidad**

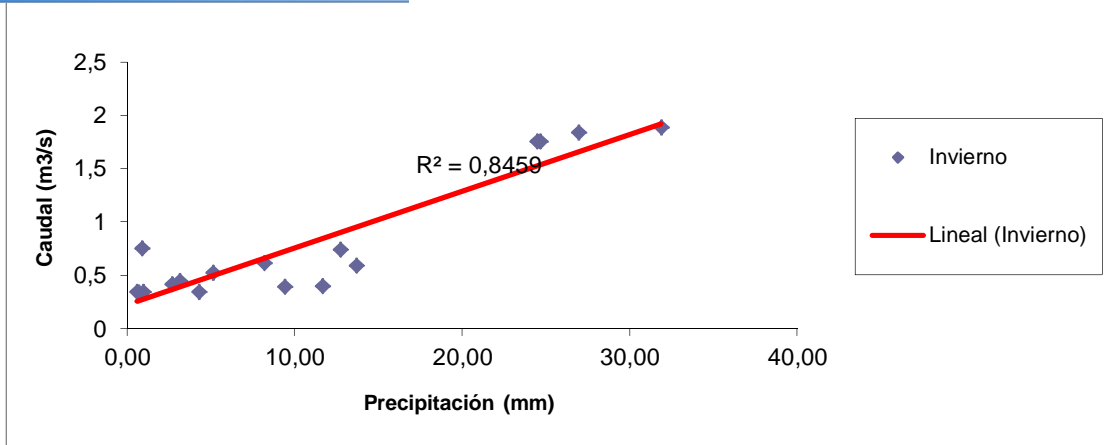


Figura Nº 54. Correlación Caudal . Estacionalidad (invierno) de la estación de aforo Quebrada Navidad (ECQN)

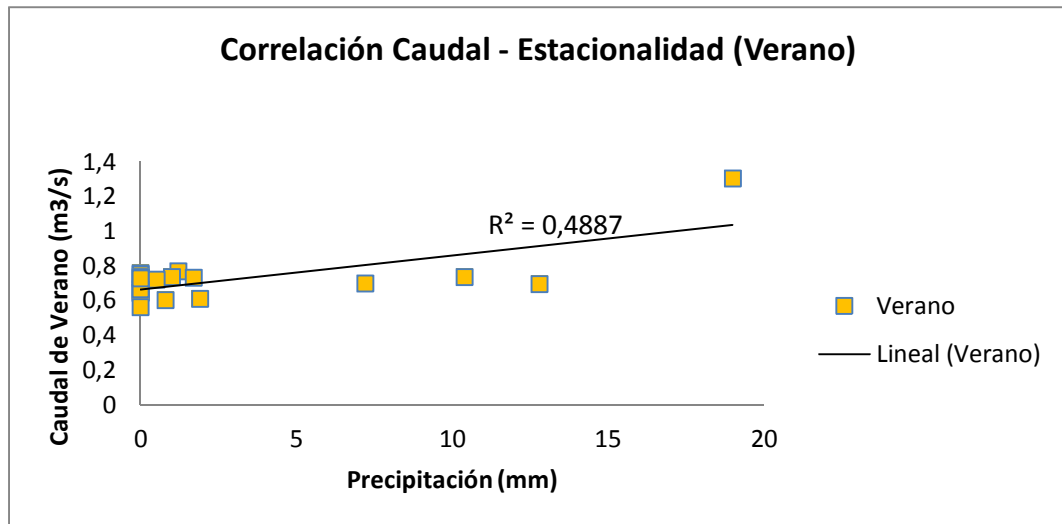


Figura Nº 55. Correlación Caudal . Estacionalidad (Verano) de la estación de aforo Quebrada Navidad (ECQN)

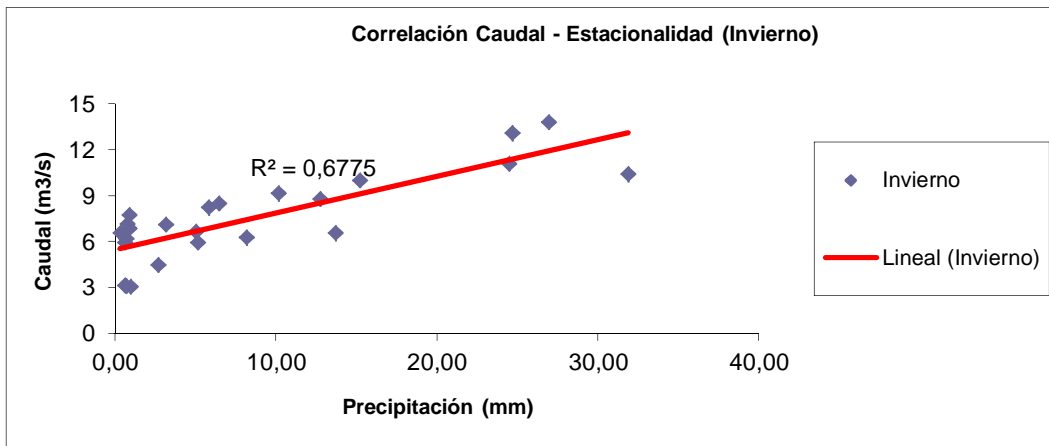


Figura Nº 56. Correlación Caudal . Estacionalidad (invierno) de la estación de aforo Compuerta (ECFH).

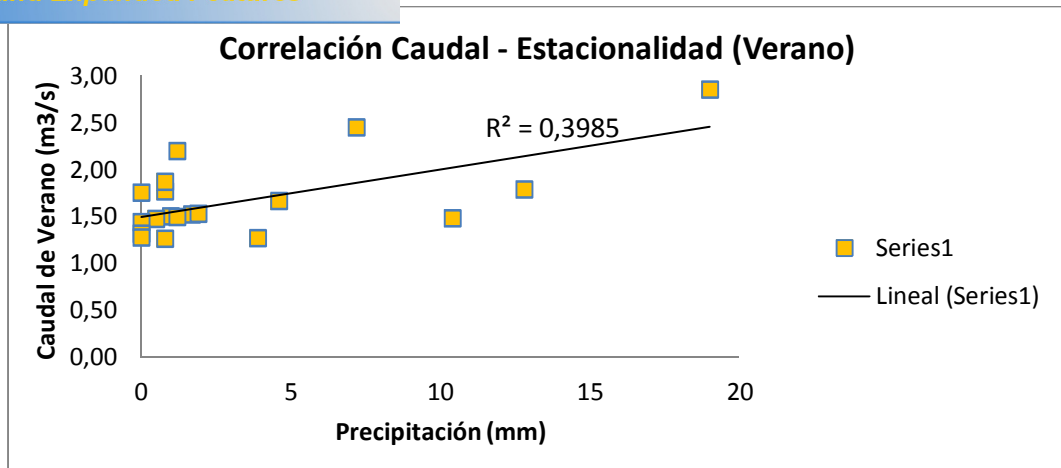


Figura Nº 57. Correlación Caudal . Estacionalidad (verano) de la estación de aforo Compuerta (ECFH).

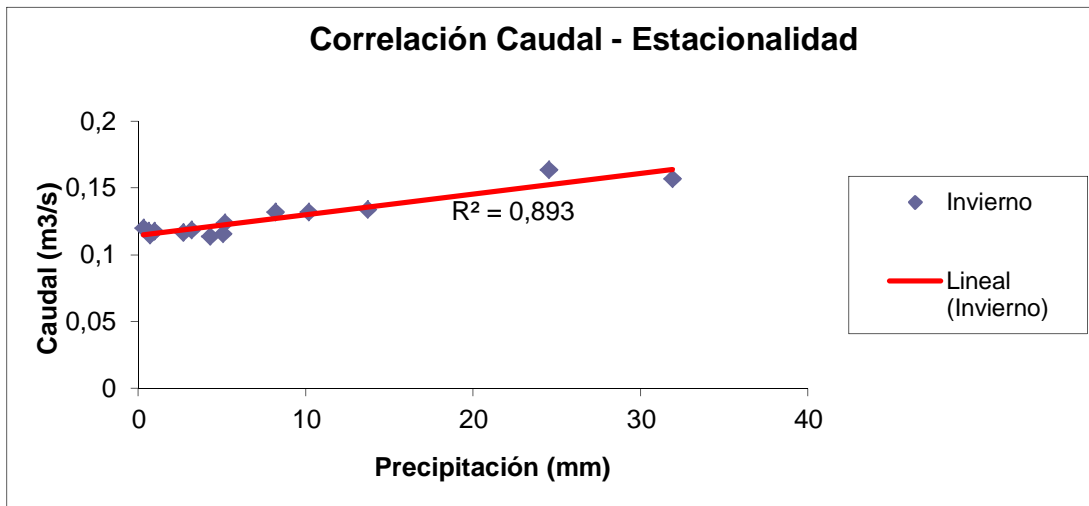


Figura Nº 58. Correlación Caudal . Estacionalidad (Invierno) de la estación de aforo Quebrada Pasto (ECQP).

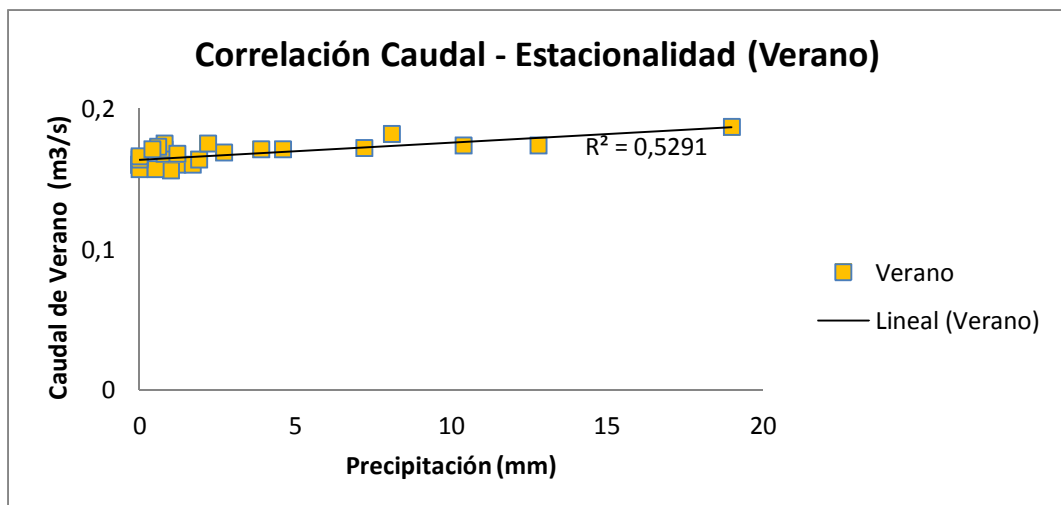


Figura Nº 59. Correlación Caudal . Estacionalidad (Verano) de la estación de aforo Quebrada Pasto (ECQP).

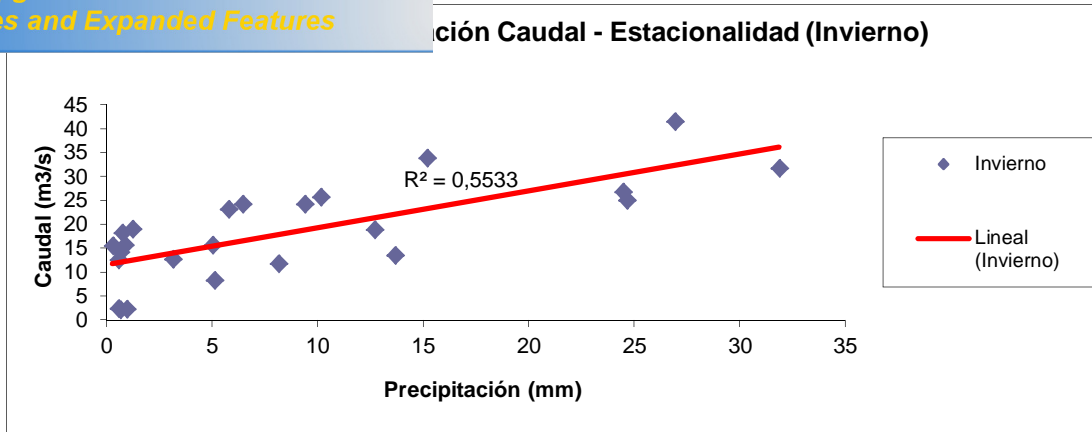


Figura Nº 60. Correlación Caudal . Estacionalidad (Invierno) de la estación de aforo Planta Eléctrica (ECPL)

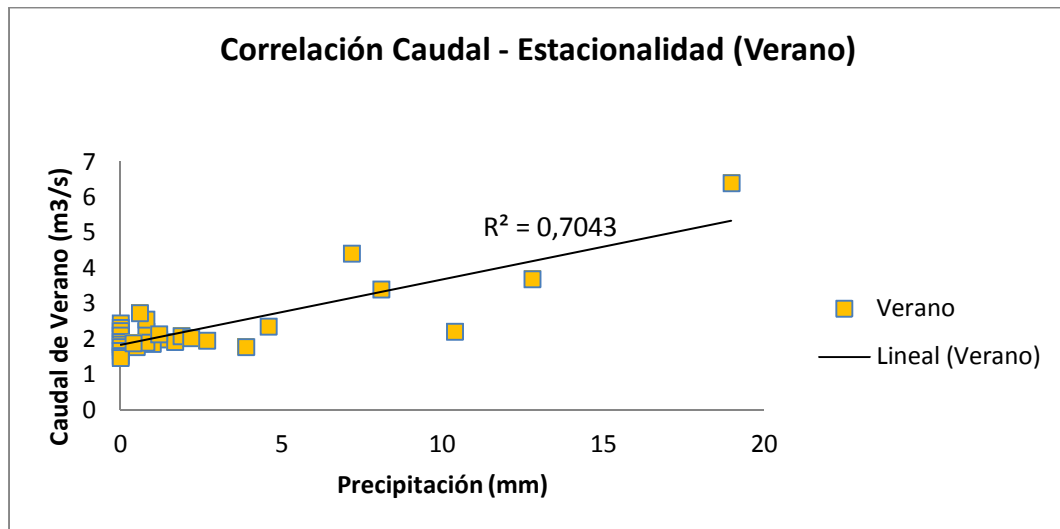


Figura Nº 61. Correlación Caudal . Estacionalidad (Verano) de la estación de aforo Planta Eléctrica (ECPL)

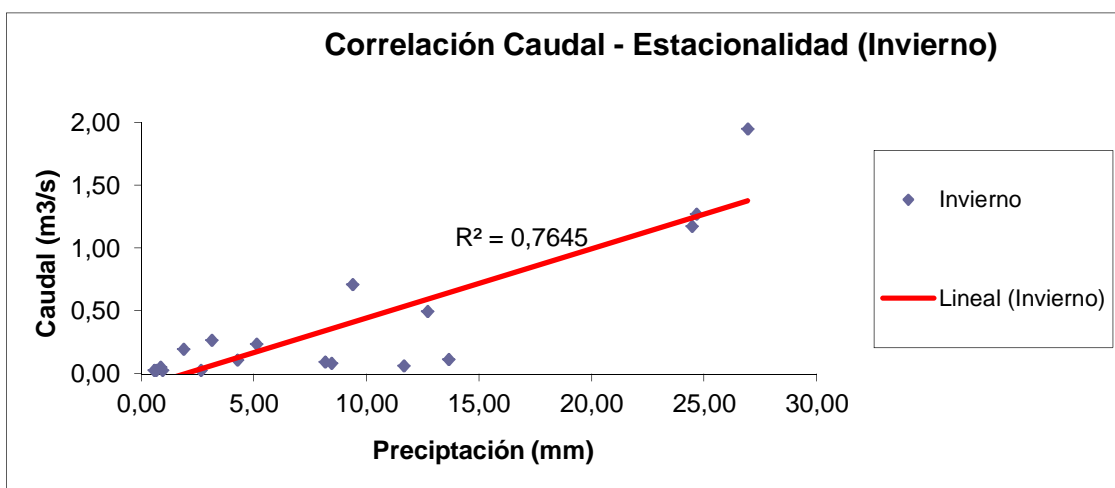


Figura Nº 62. Correlación Caudal . Estacionalidad (Invierno) de la estación de aforo Quebrada Ramón (ECQR)

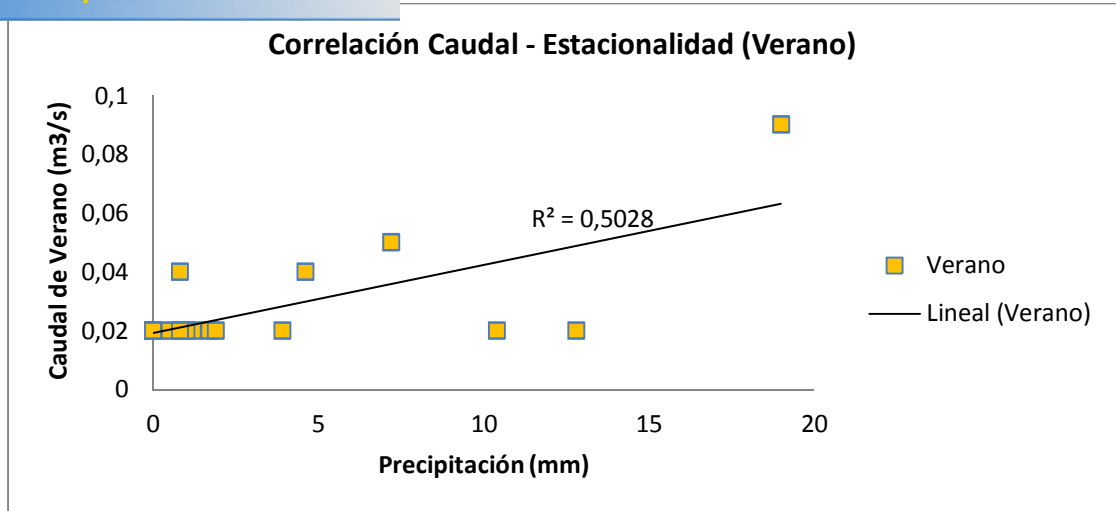


Figura Nº 63. Correlación Caudal . Estacionalidad (Verano) de la estación de aforo Quebrada Ramón (ECQR)

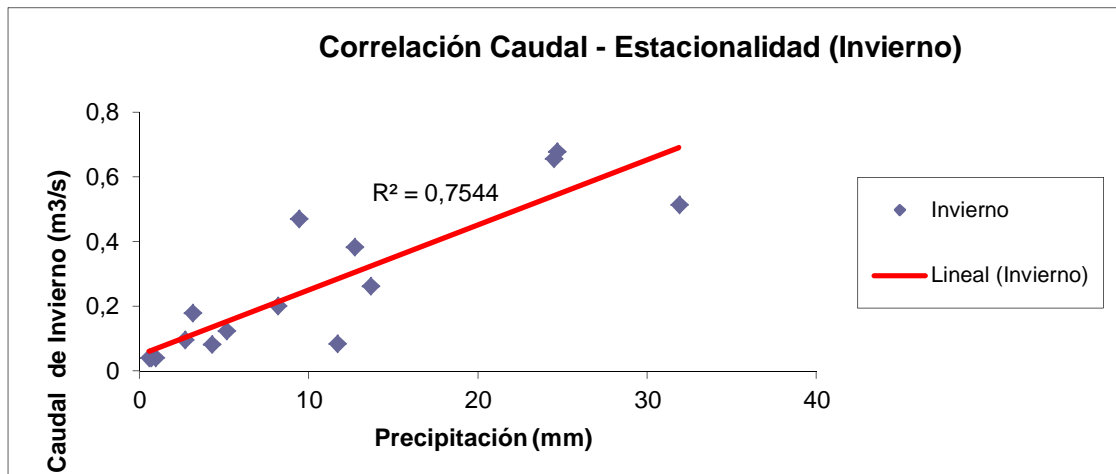


Figura Nº 64. Correlación Caudal . Estacionalidad (Invierno) de la estación de aforo Quebrada Milagro (ECQM)

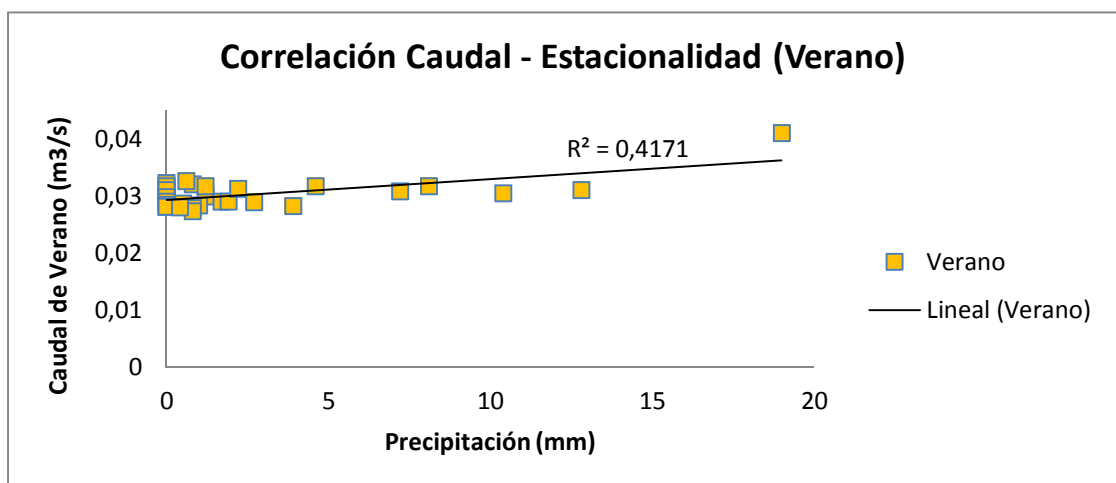


Figura Nº 65. Correlación Caudal . Estacionalidad (Invierno) de la estación de aforo Quebrada Milagro (ECQM)



Como se puede observar en desde la figura N° 52 hasta la figura N° 65, son figuras que representan la relación que existe en los caudales del mes de Junio que representa el tiempo de Invierno y con los caudales del mes de Diciembre que representa el tiempo de Verano.

Los valores de las correlaciones del caudal . estacionalidad de cada una de las estaciones de aforo se presentan en el cuadro N°4:

**Cuadro N° 4.** Valor de las correlaciones caudal . estacionalidad

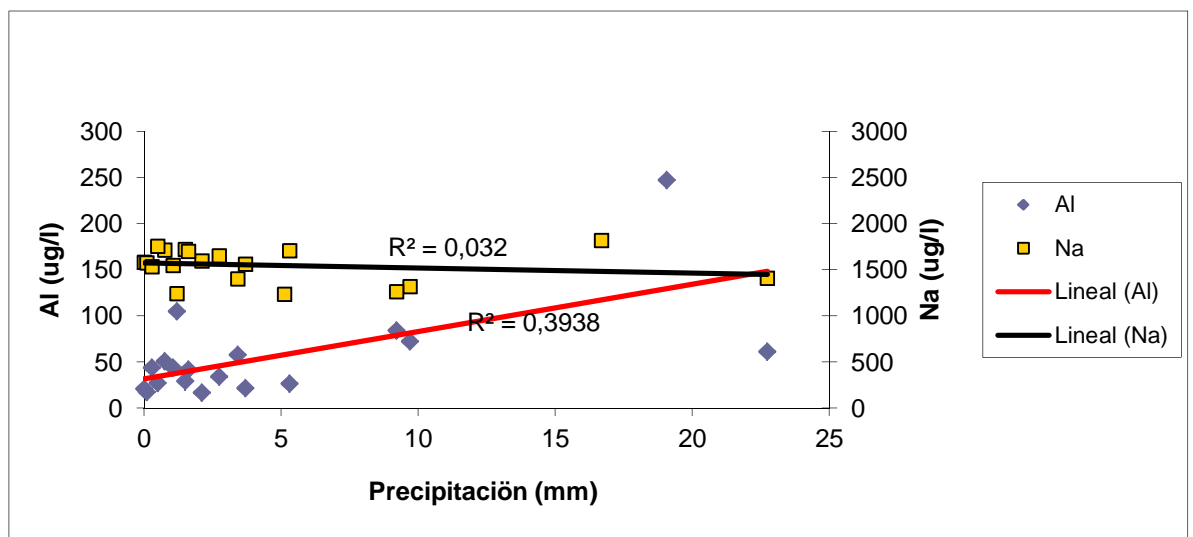
Estaciones De Aforo	Valor de correlación en Invierno	Valor de correlación en Verano
ECQN	0,92	0,7
ECQZ	0,84	0,72
ECFH	0.82	0,63
ECQP	0,9	0,73
ECPL	0,74	0,84
ECQR	0,87	0,5
ECQM	0,92	0,7

Se puede observar en el cuadro N° 4 que el valor máximo de correlación en invierno es el de la estación de aforo Quebrada Navidad (ECQN), con un valor de 0,92 y un mínimo de 0,74 cuyo valor pertenece a la estación de aforo Planta Eléctrica (ECPL), lo que significa que probablemente por las precipitaciones los suelos se saturan rápidamente, lo que hace que la escorrentía superficial fluya directamente hacia el cauce principal, provocando crecidas muy violentas.

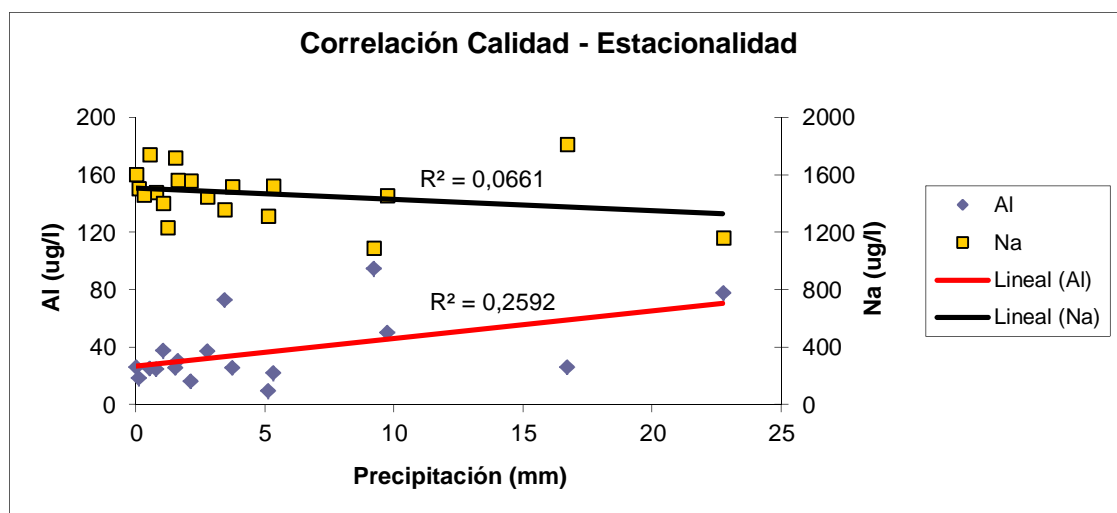
En los que tiene que ver con los valores de correlación de verano, se tienen un máximo de 0,84 que pertenece a la estación de aforo Planta Eléctrico (ECPL) y un mínimo de 0,5 cuyo valor pertenece a la estación de aforo Quebrada Ramón (ECQR), lo que quiere decir que el agua proveniente de la precipitación se infiltra hacia el suelo, generando que la

escorrentía superficial sea baja, lo que provoca que las subcuencas de estudio mantengan su caudal base durante los meses de verano y gran parte de este caudal es generado por la escorrentía subterránea.

▪ **Calidad Æ Estacionalidad (Verano Æ Invierno )**



**Figura Nº 66.** Correlación Calidad . Estacionalidad de la estación de aforo Quebrada Zurita (ECQZ)



**Figura Nº 67.** Correlación Calidad . Estacionalidad de la estación de aforo Quebrada Navidad (ECQN)

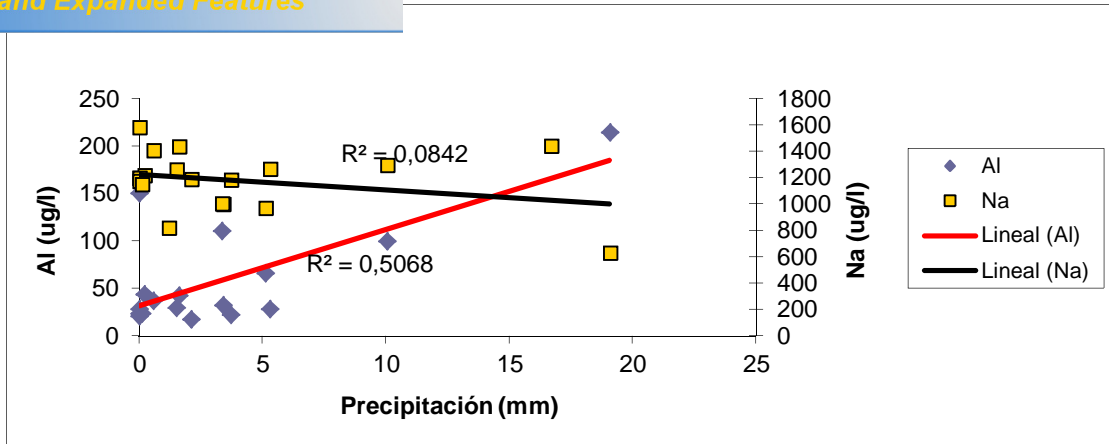


Figura Nº 68. Correlación Calidad . Estacionalidad de la estación de aforo Compuerta (ECFH)

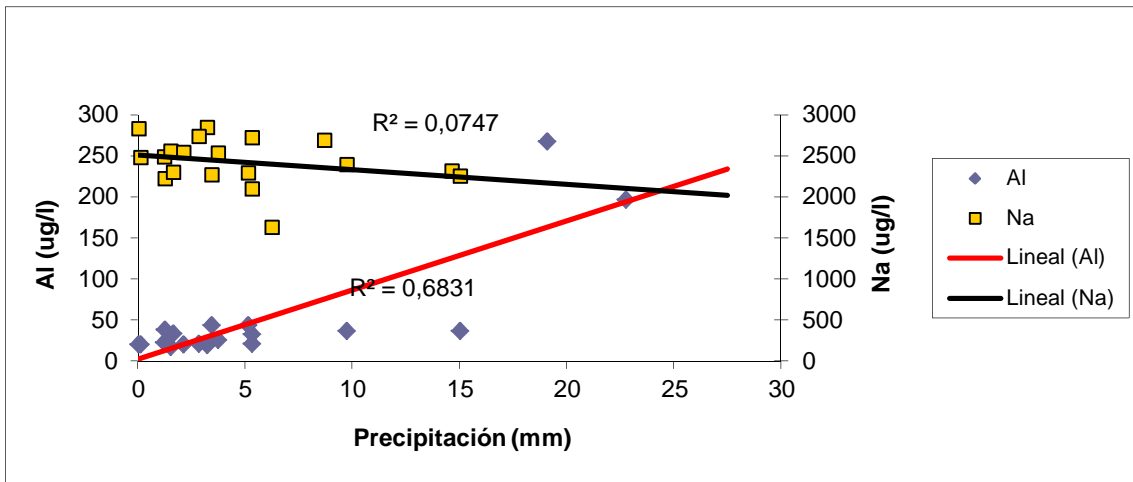


Figura Nº 69. Correlación Calidad . Estacionalidad de la estación de aforo Quebrada Pastos (ECQP)

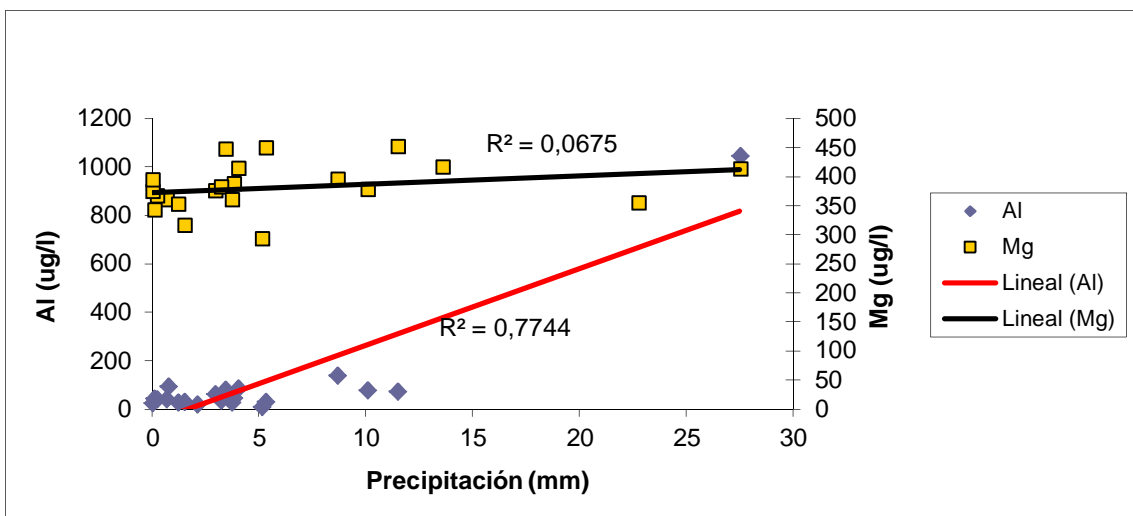
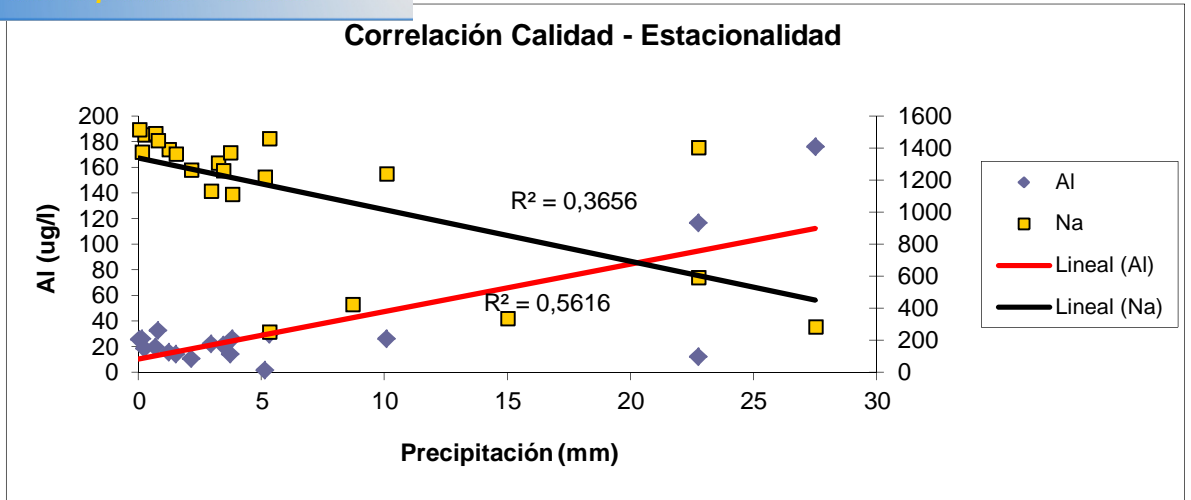
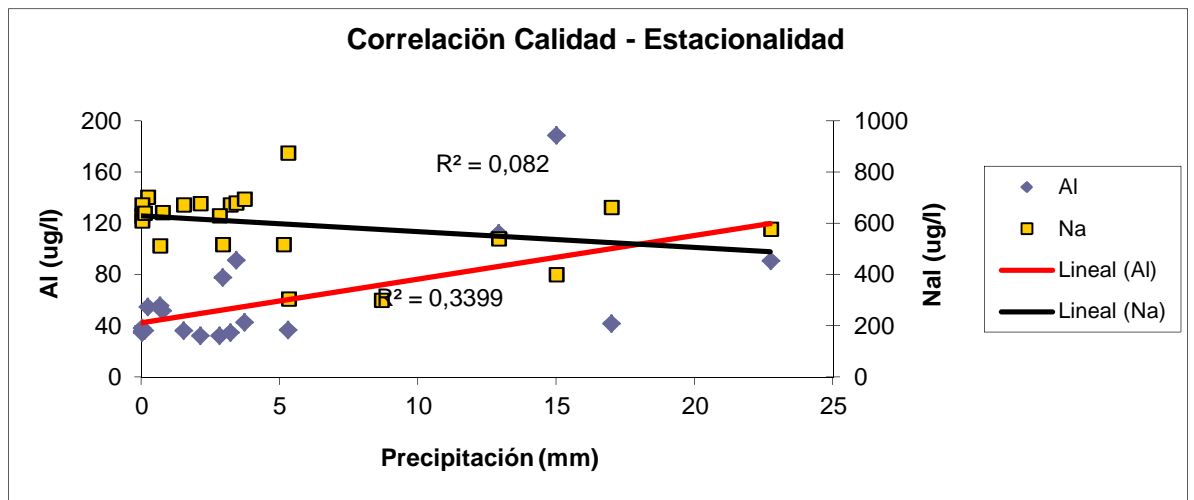


Figura Nº 70. Correlación Calidad . estacionalidad de la estación de aforo planta eléctrica (ECPL)



**Figura N° 71.** Correlación Calidad . Estacionalidad de la estación de aforo Quebrada Ramón (ECQR)



**Figura N° 72.** Correlación Calidad . Estacionalidad de la estación de aforo Quebrada Milagro (ECQM)

Desde la figura N° 66 hasta la figura N° 72, se observa la correlación que existe entre la calidad del agua con dos elementos químicos (Na y Al) con respecto al incremento o presencia de precipitaciones.

En el tiempo de invierno, es el aluminio (Al) que representa a todos los elementos químicos de las estaciones de aforo que aumentan su concentración con el incremento del caudal y como se puede evidenciar en estas figuras existe un alto valor de correlación entre este elemento

químico con respecto al incremento de las precipitaciones, lo que significa que los elementos químicos Co, Al, Mn, Ni, Fe, Ce, Ba, Li, V, La, Nd, Pr, Fe, tienen una alta probabilidad de aumentar su concentración en el tiempo de invierno.

En lo que respecta a la estacionalidad de verano que en este caso en todas estaciones de aforo y de los elementos químicos que no aumenta su concentración con el incremento de las precipitaciones, esta representada por el elemento químico Sodio (Na), como se puede evidenciar desde la figura N° 59 hasta la figura N° 65 no existe una buena relación entre este elemento con respecto a la presencia de precipitaciones o tiempo de invierno, ya que el valor de las correlaciones están muy por debajo de un valor aceptable, con lo que se puede decir que el tiempo de invierno no influye directamente para que todos los elementos químicos aumenten su concentración, es decir que existen elementos químicos como As, Mg, Sr, Ca, Na, Cl, Zn que no aumentan su concentración en el tiempo de invierno.

#### **4.1.2.2 Variabilidad Espacial**

- **CALIDAD (Análisis de Cluster)**

Como se puede observar en la Figura N° 81 (Anexo 2), en el análisis de Cluster (se trata de agrupar a los sujetos originales en grupos, centrandolo en esos grupos, y no en cada uno de los individuos.), se puede evidenciar claramente la división de dos grupos, uno que va desde el 10 de Agosto de 2007 y pertenece a la estación de aforo Quebrada Milagro (ECQM) hasta el 29 de septiembre de 2007 y que pertenece a la estación de aforo Quebrada Zurita (ECQZ), y el otro grupo que va desde el 1 de Mayo de 2007 y que pertenece a la estación de aforo Quebrada Pasto (ECQP), hasta el 10 de Agosto de 2007 y que pertenece a la estación de aforo Quebrada Ramón (ECQR).

Hay que recalcar que las estaciones en el análisis de cluster (dendrograma), tiene una distancia mínima, es decir, los grupos se unen

considerando la menor de las distancias existentes entre los miembros más cercanos de distintos grupos.

En el primer grupo está formado por 4 de las 7 estaciones de aforo, estas 4 estaciones son: Quebrada Milagro (ECQM), Compuerta (ECFH), Planta Eléctrica (ECPL) y Quebrada Ramón (ECQR), lo que quiere decir que la calidad del agua de estas estaciones son similares, y un factor muy importante para que exista esta similitud es la presencia de vegetación natural y bosque secundario en todas estas y que estas estaciones de aforo se encuentran muy cercanas entre si.

En el otro grupo están el resto de estaciones las cuales son:, Quebrada Navidad (ECQN) y Quebrada Zurita (ECQZ), estas tienen calidad de agua similar, lo cual se debe a que en estos dos lugares existe la extracción de materiales pétreos.

### • CANTIDAD

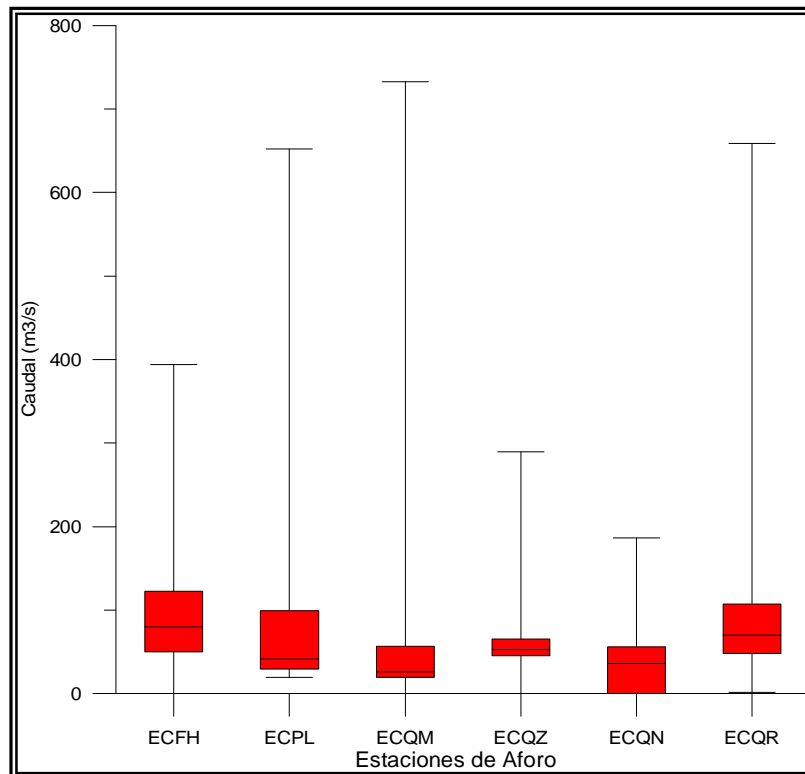


Figura N° 73. Análisis de Cajas de todas las estaciones de aforo

Como se puede observar en la Figura N° 73 las estaciones **ECFH**, **ECQZ**, **ECQR** presentan un flujo de agua constante o caudales bien regulados lo que quiere decir que las Condiciones de Regulación Ambiental en estas subcuencas es muy buena, en la **ECPL** existe la presencia de caudales picos pero el 75% de los caudales presenta una distribución dispersa.

La **ECQM** es la estación de aforo donde existe la mayor presencia de caudales constantes y con mayor frecuencia, mientras que **ECQN** el 75% de los caudales no presenta una distribución normal y los caudales constantes son muy bajos.

#### 4.1.3 Resultados del tercer objetivo

La matriz que se utilizó para encontrar los resultados del presente objetivo se muestra a continuación:

**Matriz N°1.** Factores Biológicos de la cuenca del Río San Francisco

<b>MATRIZ DE LOS FACTORES BIOLÓGICOS</b>									
Factores Puntos De Muestreo	Vegetación			Prácticas de Manejo		Actividades Antrópicas e Infraestructura		Vía Loja Ë Zamora (Parte Alta)	Caudal Especifico litros/s/km <sup>2</sup>
	Vegetación Natural	Pastizal	Bosque Secundario	Pastoreo	Práct de Cultivo	Extracción de Mat. Petreo	Infraestructura		
<b>ECFH</b>	X (17%)		X (73%)				X		94,6
<b>ECQZ</b>	X (10%)		X (90%)			X			59,6
<b>ECQN</b>	X (10%)		X (90%)			X	X	X	40
<b>ECQP</b>	X(10%)	X(70%)	X (20%)	X					22,6
<b>ECQM</b>			X(100%)				X		50
<b>ECQR</b>	X (10%)		X (90%)				X		90,3
<b>ECPL</b>			X (100%)				X		81,4

Como se puede evidenciar en la matriz N° 1, existen factores físicos que pueden influenciar en la cantidad y calidad del agua de una microcuenca a otra.

Las estaciones de aforo **ECQZ** y **ECQN**, espacialmente se encuentran muy cerca (ver figura N° 6), y temporalmente recibieron las mismas condiciones climáticas (lluvia . sol), pero en lo que respecta a la cantidad o producción de agua la ECQZ tubo mayor cantidad de agua con respecto a la otra estación de aforo, esto se debe posiblemente a la influencia de la vía Loja - Zamora especialmente en la parte alta de la microcuenca quebrada Navidad, esto hace que el flujo natural del agua proveniente de pequeñas quebradas formadas en la parte alta no forme parte rápidamente del cauce principal.

Las estaciones de aforo **ECFH** y **ECQP**, espacialmente se encuentran cerca (ver figura N° 6), y temporalmente recibieron las mismas condiciones climáticas (lluvia . sol), pero en lo que respecta a la cantidad o producción de agua la ECFH tubo mayor cantidad de agua con respecto a la otra estación de aforo, esto se debe a un factor muy importante que es la influencia de la vegetación, ya que en la estación ECQP existe la presencia en un 70% de esta microcuenca con cobertura vegetal **Pasto**, mientras que en la estación ECFH existe **Vegetación Natural y Bosque Secundario**, esto hace que en tiempo de invierno en la microcuenca de Pasto exista una rápida respuesta a los eventos de lluvia, mientras que en época de verano el flujo base sea mayor en la estación de aforo que tiene Vegetación Natural y Bosque Secundario.

Las estaciones de aforo **ECQM** y **ECQR**, espacialmente se encuentran muy cerca (ver figura N° 6), y temporalmente recibieron las mismas condiciones climáticas (lluvia - sol), hay que tomar en cuenta que ambas estaciones tienen las mismas condiciones físicas como se muestra en la matriz N° 1, pero la estación ECQR tubo mayor cantidad de agua por el área que abarca esta microcuenca ya que esta tiene una superficie de 4,46 km<sup>2</sup>, y la estación ECQM tiene un área de 1,27 km<sup>2</sup>, esto también es



corroborado por el caudal específico en la estación ECQR se obtuvo un valor de 90,3 litros/s/km<sup>2</sup>, mientras que en la estación ECQM se obtuvo un valor de 50 litros/s/km<sup>2</sup>.

La estación de aforo **ECPL**, espacialmente se encuentra en la parte final del río San Francisco (ver figura N° 6), temporalmente recibió las mismas condiciones climáticas (lluvia - sol) que las otras estaciones de aforo, esta estación es la que tubo la mayor cantidad de agua, ya que se encuentra en la parte final de la cuenca esto se debe a que recibió toda el agua provenientes de las otras quebradas

La variabilidad espacial de la calidad del agua en la cuenca del río San Francisco es el reflejo de la interacción de las precipitaciones con el contexto geológico del terreno. Otros factores que también influyen son el tipo de uso del territorio y los aportes que pueda causar directamente la actividad antrópica.

Los suelos de montaña tienen en común, que son mayoritariamente ácidos (valores de pH menores a 7). Esto significa que los elementos químicos de fácil disolución como el calcio (Ca) y Magnesio (Mg), no abundan en el suelo, porque ya fueron lavados por la lluvia (Katalin Kiss, 2008), es decir, estos elementos al aumentar el caudal tienen la tendencia de disminuir y esto es corroborado por las Figuras N° 41 y 42.

Los factores antrópicos como la extracción de pétreos posiblemente influyen mucho en calidad de agua, ya que en las estaciones de aforo Quebrada Zurita (**ECQZ**) y Quebrada Navidad (**ECQN**), donde realizan esta actividad hace que estas dos subcuencas espacialmente tengan en muchos de los casos semejanzas dentro de la calidad del agua, esto es corroborado por el dendrograma (Figura N°80) que se realizó en este estudio.

Mientras que en lugares donde no existen factores antrópicos como las estaciones de aforo Quebrada Milagro (**ECQM**) y Quebrada Ramón (**ECQR**), Compuerta (**ECFH**) y planta eléctrica (**ECPL**), existe una

similitud de la cantidad del agua posiblemente por la presencia de vegetación natural y bosque secundario en todas estas y que estas estaciones de aforo se encuentran muy cercanas entre sí.

calidad del agua propia del sitio, esto es corroborado por el dendrograma (Figura N° 80) que se realizó en este estudio.

Un factor muy importante para que exista el aumento o disminución de los elementos químicos es la presencia de hojarasca que en muchos de los casos los elementos existen en grandes cantidades, pero cuando existe la presencia de las precipitaciones estos fluyen a través de la capa orgánica y a su vez son absorbidos ciertos elementos esenciales para la vida vegetal, que incluso disminuyen bruscamente su concentración y no dejan que este elemento pase a formar parte del río o quebradas como es el caso del elemento potasio, pero también existen elementos químicos que no son tan esenciales para la vegetación, estos son captados en pocas concentraciones y por lo tanto estos elementos en presencia de las precipitaciones pasan a formar parte de ríos y quebradas.

## 5 CONCLUSIONES

- Con los datos de caudal específico obtenidos en cada una de las estaciones de aforo presentes en la matriz de los factores biológicos se puede decir que, las estaciones que tienen como cobertura vegetal **Bosque**, producen mayor cantidad de agua que la estación que tienen cobertura vegetal **Pasto**.
- Los elementos químicos Co, Al, Mn, Ni, Fe, Ce, Ba, Li, V, La, Nd, Pr, aumentan su concentración a mayor caudal, debido al lavado de la hojarasca por parte de la precipitación, mientras que los elementos As, Mg, Sr, Ca, Na, Cl, Zn, disminuyen su concentración a mayor caudal, por la absorción en parte de estos elementos por las raíces.
- El aluminio (Al) en todas las estaciones de aforo tiene la clara tendencia de incrementar su concentración frente al aumento del caudal.
- La morfología de los ríos de montaña cambia continuamente debido a la acción erosiva de la corriente que desprende y transporta el material del lecho así como el material sólido proveniente de las laderas y terrenos de la cuenca que ha sido erosionado y acarreado por la escorrentía superficial producto de las precipitaciones.
- El *Método Velocidad . Superficie* para la determinación de los caudales líquidos da buenos resultados especialmente mientras mayor es el número de verticales y puntos de medición de la velocidad de la corriente sobre cada vertical.
- La variación del nivel del agua, que fue registrada cada 5 minutos por el sensor, demuestra que la cantidad de agua aumenta o disminuye rápidamente en un corto lapso de tiempo.

- La ecuación obtenida por la curva de descarga en cada una de las estaciones de aforo, poseen valores de correlación aceptables, por ende los caudales encontrados por estas, van a presentar un alto grado de confiabilidad.
- Del minucioso análisis de la información de niveles y aforos, así como del resultado, luego de ser procesada esta información, se desprende que se cuenta con datos de caudales bastante confiables, sobre todo porque la determinación de las curvas de descarga se hizo empleando criterios ajustados al cono cimiento de nuestro medio hidrológico.
- El mayor caudal instantáneo registrado dentro de la cuenca de estudio durante el periodo Mayo 2007 . Abril 2008 fue de 114,4 m<sup>3</sup>/s, lo que nos indica que esta meso cuenca en tiempo de invierno es muy peligrosa, y la respuesta a la precipitación es muy rápida.
- Las ecuaciones encontradas para la determinación de caudales en cada una de las estaciones de aforo del presente trabajo, no pueden ser utilizadas para otras ubicaciones ya que las mismas representan únicamente las características particulares de la zona, para otras ubicaciones deberá repetirse el trabajo realizado.
- La extracción de material pétreo, que se da en las estaciones de aforo ECQN y ECQZ, es posiblemente un factor determinante para que la calidad de agua entre estas dos estaciones, tenga una similitud.
- La calidad de agua de las estaciones de aforo ECFH, ECQR, ECPL, ECQM, poseen una similitud, la cual puede deberse a la presencia de vegetación natural y secundaria.
- Los instrumentos que se utilizaron para el desarrollo de esta investigación (molinete y sensores de nivel), son de última tecnología, por lo que los resultados obtenidos con los mismos son

contables, en comparación con los métodos tradicionales utilizados para este tipo de estudios.

- El tipo de flujo que caracteriza a este río de montaña es supercrítico (número de froude = 1,16), este tipo de flujo especialmente es notorio durante las crecidas que generalmente se dan en las épocas invernales.

## **6 RECOMENDACIONES**

- Disponer de los conocimientos básicos sobre los temas relacionados con la investigación, los mismos que son necesarios para iniciar con el trabajo, con el objeto de definir los objetivos que se pretenden lograr con la realización de los estudios.
- Planificar cuidadosamente todas y cada una de las etapas que comprenden la investigación, llevando continuamente un control del avance y de los objetivos alcanzados.
- Realizar inspecciones mas seguidas a los sensores de nivel en las estaciones de aforo para que estos funcionen correctamente.
- Realizar la mayor cantidad de aforos para establecer una curva de descarga bien calibrada, y obtener información cercana a la realidad.
- Realizar limpieza de materiales de varia índole y mantenimiento periódico en los lugares donde se encuentren los sensores de nivel para asegurar el adecuado funcionamiento.
- Aplicar en la medida de lo posible otras técnicas de aforo mediante el empleo de trazadores o aparatos ultrasónicos que facilitan notablemente los trabajos de campo para la estimación de caudales por su facilidad de aplicación y por los tiempos relativamente cortos que se requieren para las mediciones en comparación con los métodos tradicionales.
- Deberán preverse medidas de seguridad necesarias para las personas que realizan los aforos ya sea dentro del agua o con ayuda de la grúa.
- Realizar temas de tesis referente al cambio hidrológico por el cambio del uso del suelo.

- Programar el procesamiento correcto oportuno de la información otorgada por los sensores de nivel, con el fin de mantener la base de datos de caudales actualizada.
- Seguir realizando los aforos para incrementar o para comprobar los datos existentes.
- Para el establecimiento de una sección de control se deberá analizar a fondo todas las características morfológicas, hidrológicas e hidráulicas del sitio escogido con el fin de prever cualquier problema que no permita establecer una correcta relación entre niveles y caudales de agua. Además se deberán considerar todos los fenómenos y circunstancias que pudieran influir negativamente en la determinación de una curva de descarga líquida.
- Para una misma sección de control o estación de aforo es factible la determinar varias curvas de descarga líquida de tal forma que las funciones que las definen se ajusten de forma adecuada a los datos experimentales, permitiendo estimar acertadamente los caudales líquidos en función de los niveles de agua.

- APARICIO, F. 1997. Fundamentos de hidrología de superficie. México, Editorial LIMUSA. p. 27,28.
- GOLLER, R. 2004. Biogeochemical Consequences of Hydrologic Conditions in a Tropical Montane Rain Forest in Ecuador. Alemania. pág: 11-12.
- GONZÁLEZ Aníbal. Fundamentos de Hidrología de Superficies. Loja Ecuador 1999
- HENAO SARMIENTO, J. E. 1998. Introducción al manejo de cuencas hidrográficas. Bogotá, Col., Editorial Universidad Santo Tomás . Uta. p. 31, 57-69,79.
- LINSLEY; Hidrología para ingenieros; Segunda edición; Editorial Mc. Graw Hill ; 1975
- Microsoft ® Encarta ® 2006. © 1993-2004 Microsoft Corporation Reservados todos los derechos
- MONSALVE SAENZ, G. 1999. Hidrología en la ingeniería. 2 ed. México, Méx., Alfa Omega Grupo Editorial. 358 p.
- RIVAS MIJARES, G. 1963. Tratamientos de potabilización de las aguas. Madrid, Esp., NUEVAS GRAFICAS. p. 1-9, 11, 14, 15, 26, 27, 37.
- FERRER GARCIA, C. 1992. Recursos Hidráulicos Planeación y Administración. México, Méx., Editorial Limusa. p: 103-114, 175-198.
- VASQUEZ VILLANUEVA, A. 2000. Manejo de Cuencas Altoandinas. Lima, Perú., p: 82 -84, 124-194
- VILLON BÉJAR, M. 2002. Hidrología. Segunda Edición. Lima, Perú. Editorial Villón. p: 15.





Your complimentary  
use period has ended.  
Thank you for using  
PDF Complete.

*“Espacial de la Cantidad y Calidad de Agua en la Cuenca del Río San Francisco”*

Tesis de Grado previa a la Obtención de título de Ingeniero Ambiental

[Click Here to upgrade to  
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

ardo. Nociones de Hidrología. Loja Ecuador.

Publicaciones de la Universidad Nacional de Loja. 1993.

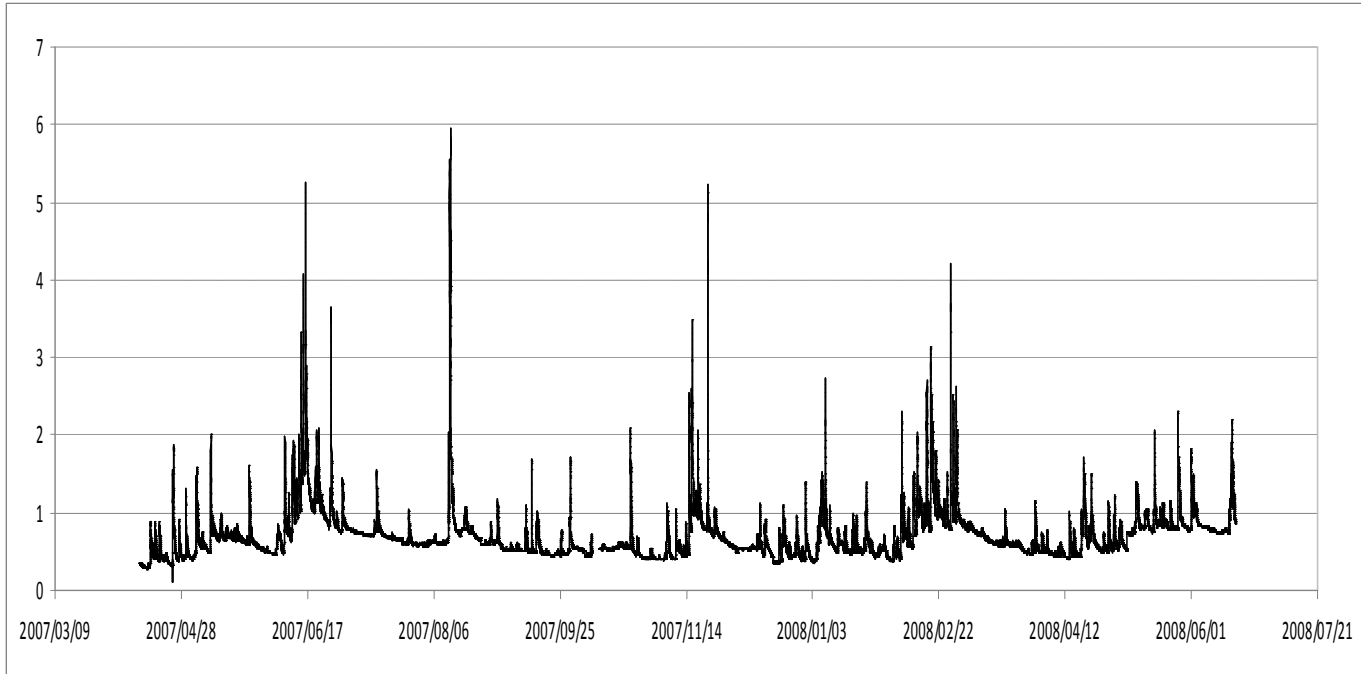
Vaes, G., Willems, P. y Berlamont, J., 2001. Rainfall input requeriments for hydrological calculations, Urban Water. 3, 107-112

Woods, R., 2004. The impact of spatial scale on spatial variability in hydrologic response: Experiments and ideas, Hydrol. Sci. J. 287, 153-167.

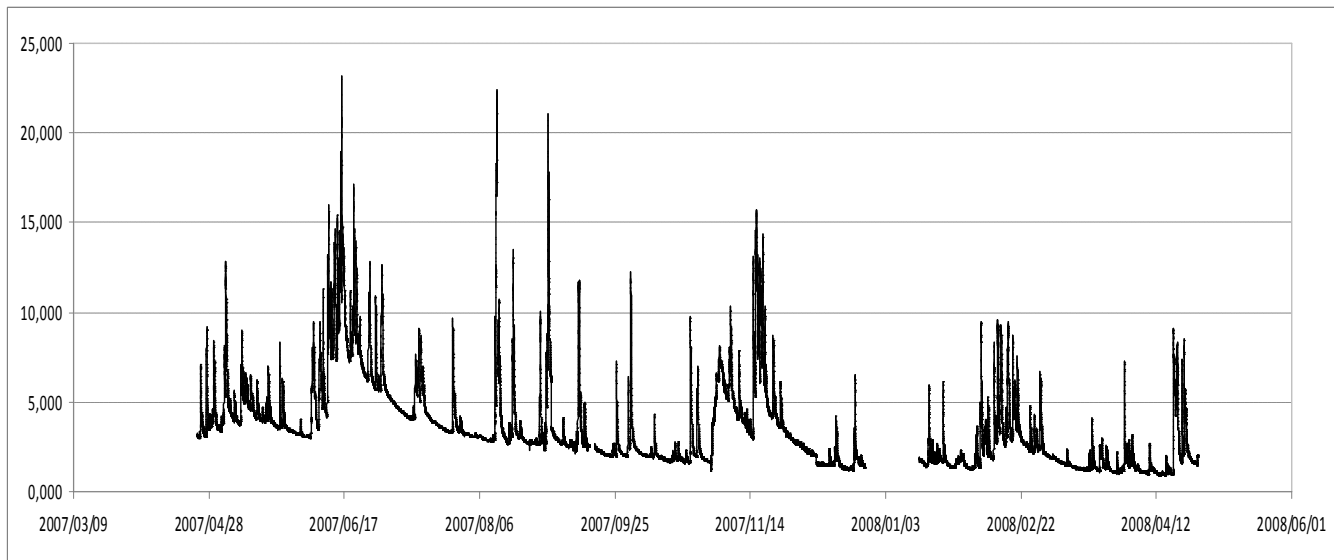
<http://www.fao.org/docrep/T0848S/t0848s06.htm#medicióndecaudales>.

<http://www.uniamazonia.edu.com>

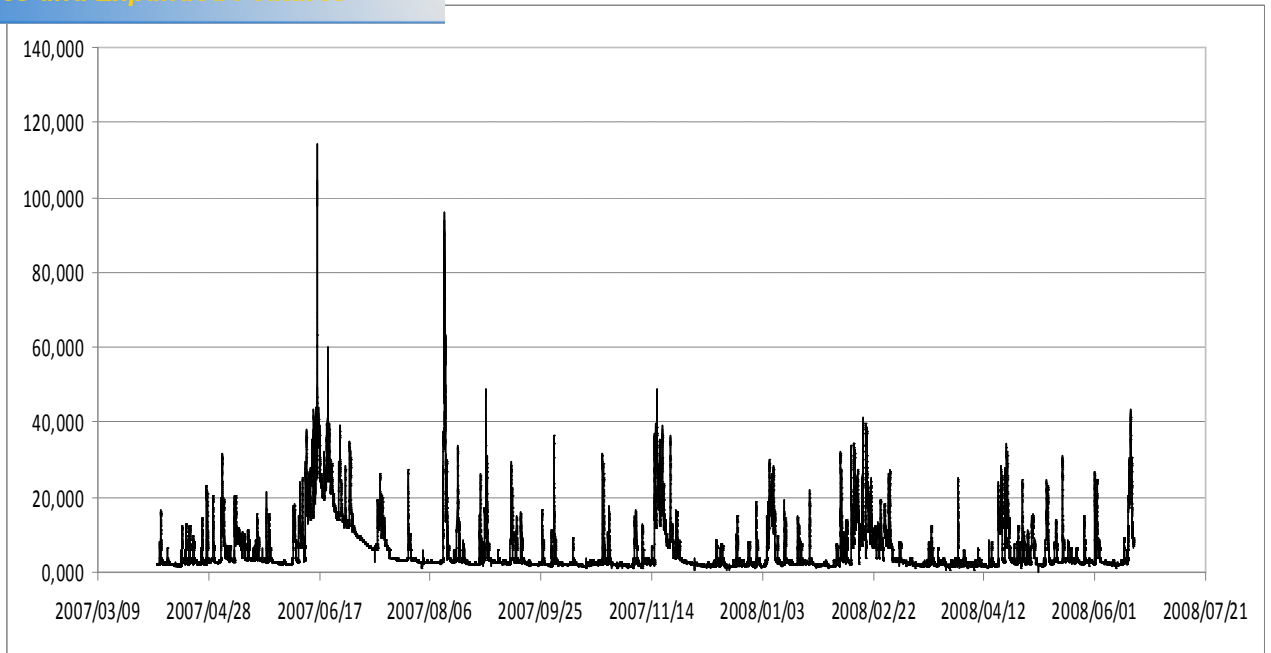
### Anexo 1. Hidrograma de Caudales instantáneos de las estaciones de aforo.



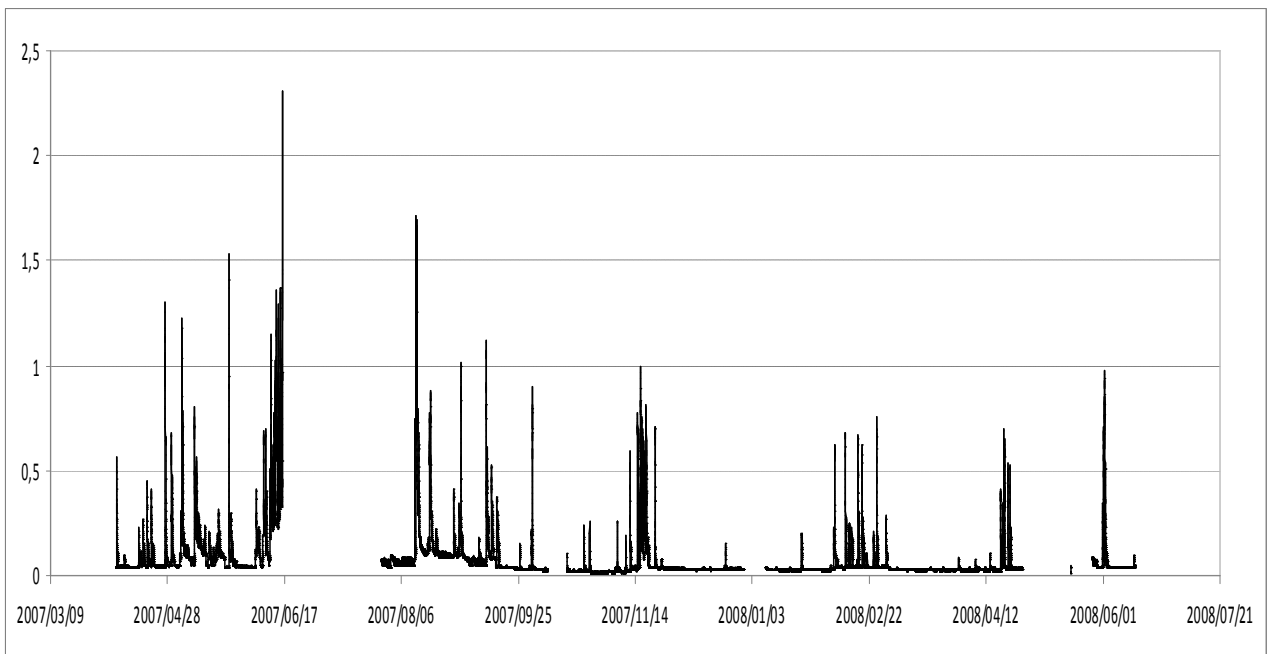
**Figura Nº 74. Hidrograma instantáneo de la estación de aforo quebrada Zurita (ECQZ)**



**Figura Nº 75 Hidrograma instantáneo de la estación de aforo Compuerta (ECFH)**

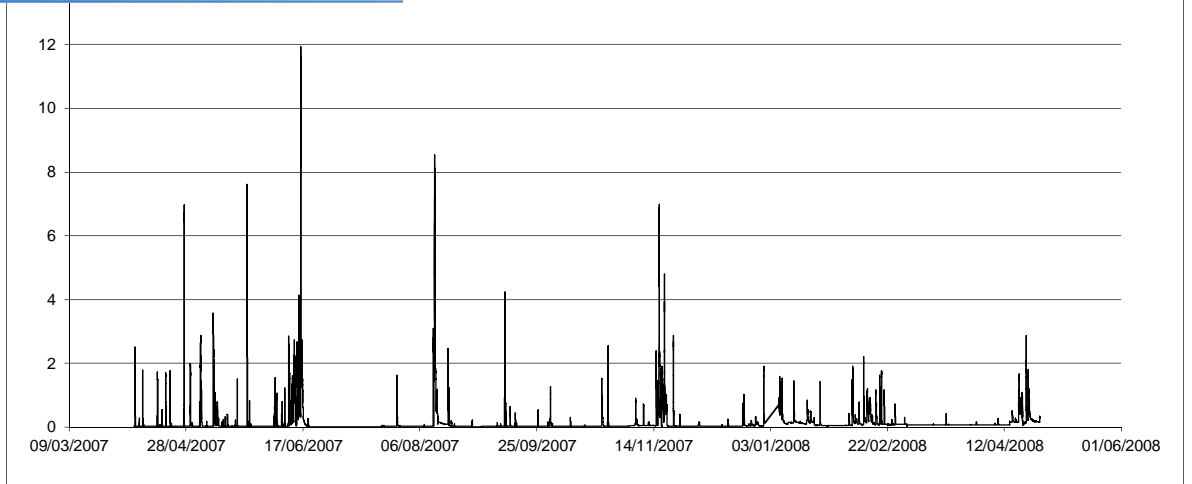


**Figura N° 76. Hidrograma instantáneo de la estación de aforo Planta Eléctrica (ECPL)**

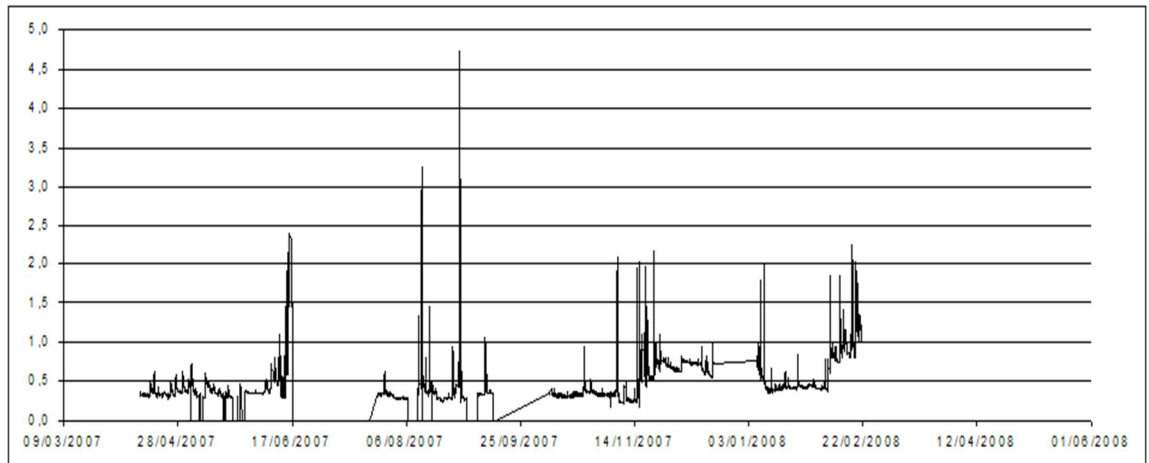


**Figura N° 77. Hidrograma instantáneo de la estación de aforo Quebrada Milagro (ECQM)**

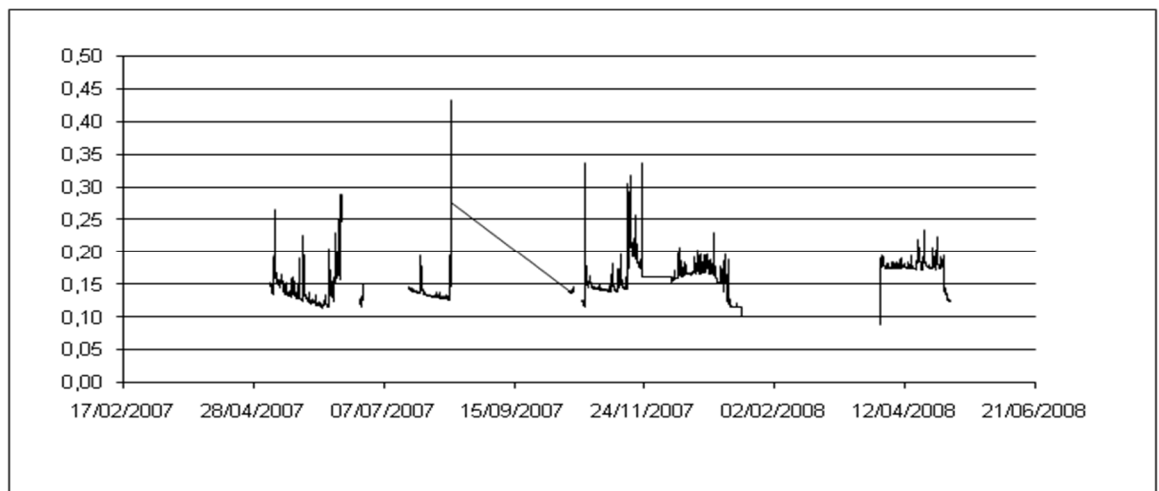
[Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features](#)



**Figura Nº 78.** Hidrograma instantáneo de la estación de aforo Quebrada Ramón (ECQR)



**Figura Nº 79.** Hidrograma instantáneo de la estación de aforo Quebrada Navidad (ECQN)



**Figura Nº 80.** Hidrograma instantáneo de la estación de aforo Quebrada Navidad (ECQP)



Your complimentary  
use period has ended.  
Thank you for using  
PDF Complete.

[Click Here to upgrade to  
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

*...Espacial de la Cantidad y Calidad de Agua en la Cuenca del Río San Francisco”*

Tesis de Grado previa a la Obtención de título de Ingeniero Ambiental

**...a variabilidad espacial de la calidad de agua de  
la cuenca del río San Francisco**

**os aforos realizados durante la fase de campo.**

	ECFH	ECPL	ECQM	ECQN	ECQP	ECQR	ECQZ
		4,270	0,116	0,390	0,095	0,220	0,470
		2,833	0,189	0,547	0,100	0,019	0,577
		2,576	0,024	0,479	0,396	0,027	0,589
		2,240	0,754	0,335	0,198	0,029	0,457
		2,344	0,087	0,256	0,139	0,035	0,330
		2,205	0,078	0,375	0,169	0,017	0,594
		1,943	0,059	0,222	0,176	0,025	0,273
		2,589	0,030	0,208	0,153	0,013	0,232
	1,587	2,149	0,019	0,218	0,132	0,011	0,224
		2,51	0,028	0,400	0,150	0,086	0,402
	3,890	2,914	0,199	0,266	0,100	0,177	0,358
	1,562	2,422	0,016	0,246	0,106	0,031	0,313
	1,445	4,077	0,018	0,832	0,121	1,145	0,698
	2,268	5,222	0,183	0,233	0,107	0,055	0,246
		4,493	0,139	0,223	0,135	0,045	0,846
		3,462	0,047	0,785	0,081	0,047	0,495
	2,835	3,78	0,143	0,346	0,091	0,023	0,392
	3,145	2,997	0,041	0,326	0,069	0,045	1,125
	1,988	2,532	0,053	0,694	0,141	0,470	0,705
		2,166	0,028	0,407	0,090	0,042	0,757
	1,196	2,742	0,075	0,626	0,085	0,036	0,742
	1,197	5,754	0,057	0,783	0,128	0,285	0,841
		2,876	0,040	0,998	0,205	0,032	1,138
	1,44	16,36	0,035	0,824	0,154	0,025	0,793
		26,27	0,033	0,824	0,156	0,024	0,407
		40,47	0,041	0,554	0,110	0,025	0,315
			0,039	0,335	0,070	1,716	0,358
			0,513	0,231	0,065	0,028	1,247
			0,047	0,259	0,315		
				1,141			
<b>Promedio</b>	1,981	5,93	0,108	0,456	0,139	0,169	0,569
<b>Caudal Max.</b>	3,89	40,47	0,754	1,141	0,396	1,716	1,247
<b>Caudal Min.</b>	0,923	1,943	0,016	0,208	0,065	0,011	0,224
<b>Desviación Estan.</b>	0,829	1,036	0,158	0,265	0,071	0,378	0,286
<b>Nº de Aforos</b>	11	26	29	30	29	28	28

Cuadro 5. Parámetros del análisis morfométrico de la cuenca San Francisco.

FACTOR	UNIDAD	DESCRIPCIÓN DE CÁLCULO
<b>MORFOLOGÍA DE LA MICROCUENCA</b>		
Área	km <sup>2</sup>	La superficie de la microcuenca se determinó digitalmente a través de SIG
Perímetro	km	Se determinó con programas de SIG.
Longitud axial	km	Se determinó a través de los programas SIG, tomando en cuenta la distancia entre los puntos más lejanos con respecto a la garganta de la microcuenca.
Ancho promedio	km	Se determinó en formato digital con la ayuda de los sistemas de información geográfica (SIG)
Coeficiente de compacidad		Método de Gravelius, relaciona el perímetro y la superficie de la microcuenca: $K = P/2\sqrt{A}$ * $A = 0,28$ $K = 0,28 \times P / \sqrt{A}$ Donde: P= perímetro      A = área de la cuenca Valores: 1,25 cesil redonda a oval oblonga 1,25 a 1,5 oval redonda a oval oblonga 1,5 a 1,75 oval oblonga a rectangular oblonga
<b>FISIOGRAFÍA</b>		
Altura media	m	Se determinó con programas de SIG. y se aplicó la siguiente fórmula $H_m = (H-h)/2$ Donde: H = Altura del punto más alto H = Altura del punto más bajo
<b>MORFOLOGÍA DE DRENAJE</b>		
Clasificación corrientes		<b>Método de Sistema de Strahler</b> <b>Perenne:</b> transportan agua todo el año y siempre están alimentadas totalmente o en parte. <b>Intermitente:</b> Transporta agua durante la época de lluvias de cada año, en época de sequía no transporta agua. <b>Efímera influente:</b> transporta agua inmediatamente después de una tormenta y en este caso alimenta a los almacenamientos de agua subterránea.
Densidad de Drenaje	Km/km <sup>2</sup>	Se determino se utilizando la siguiente fórmula: $D_d = L / A$ Donde: D = Longitud total de todas la corrientes perennes en km A = Área total de la cuanca, en km <sup>2</sup>

### Coeficiente de compacidad

$$K = P/2\sqrt{A} \quad * A = 0,28$$

A = área de la cuenca

$$K = 0,28 \times P / \sqrt{A}$$

$$k = 0,28 \times 40 \text{ km} / \sqrt{85,39 \text{ km}^2}$$

P = perímetro

$$k = 1,21$$

 **PDF Complete**  
Your complimentary use period has ended.  
Thank you for using PDF Complete.  
[Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features](#)

lad

$$tg^{-1} = Hm/S$$

Hm = altura media

$$tg^{-1} = 2,451 \text{ km} / 85,39 \text{ km}^2$$

S = superficie

$$tg^{-1} = 0,029 \text{ km}$$

✓ **Densidad de Drenaje**

$$D_d = L / A$$

L = Longitud total de las corrientes

$$D_d = 104,18 \text{ km} / 85,39 \text{ km}^2$$

A = Área total de la cuenca

$$D_d = 1,22 \text{ km} / \text{km}^2$$





*Your complimentary  
use period has ended.  
Thank you for using  
PDF Complete.*

[Click Here to upgrade to  
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

*“Espacial de la Cantidad y Calidad de Agua en la Cuenca del Río San Francisco”*

Tesis de Grado previa a la Obtención de título de Ingeniero Ambiental

le la realización de los análisis de agua.

## El programa Grapher 6.0

Grapher 6.0, es fácil su uso generando gráficos técnicos para científicos, ingenieros, los profesionales comerciales, o cualquiera que necesita generar los gráficos rápidamente y fácilmente. Con Grapher 6.0, se puede crear los tipos siguientes de gráficos:

2D Gráficos

Line/Scatter

La función

El histograma

Polar

El Mapa de la Barra polar

El Mapa del viento

La Parcela del caja-pelo del bigote

La Parcela de la burbuja

Con Grapher, crear un gráfico es tan fácil como escogiendo el tipo del gráfico, seleccionando los datos archivan, y pulsando el botón del gráfico a realizar. Grapher selecciona las escenas predefinidas razonables automáticamente para cada nuevo gráfico, aunque todas las escenas del gráfico pueden modificarse. Por ejemplo, usted puede cambiar el espacio de marca de tictac, las etiquetas del tictac, que el eje etiqueta, la longitud del eje, que la reja línea, los colores de la línea, que el símbolo llama, y más. Usted puede agregar las leyendas, bitmaps, las curvas de límites de confianza, y atrayendo los objetos al gráfico. Para aplicar las mismas escenas personalizadas a varios gráficos, usted puede crear una plantilla de Grapher que contiene los estilos preferidos. Automatización avanzada que usa el Scriptor™ de Software Dorado puede incorporarse programe o cualquier X automatización programa Activo. Una vez el gráfico está completo, usted puede exportarlo en una variedad de formatos por el uso en las presentaciones y publicaciones.

