

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE AGRONOMÍA  
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRONÓMICAS**

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE TRES ESTRUCTURAS DE AFORO, PARA EL ANÁLISIS HIDROLÓGICO DE LOS RÍOS MONGOY, COMETA, Y CANTIL, EN LA UNIDAD DOCENTE PRODUCTIVA FINCA SABANA GRANDE, EL RODEO, ESCUINTLA, GUATEMALA, C.A.**



**GUATEMALA, OCTUBRE 2014**

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE AGRONOMÍA  
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRONÓMICAS

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE TRES ESTRUCTURAS DE AFORO, PARA EL ANÁLISIS  
HIDROLÓGICO DE LOS RÍOS MONGOY, COMETA, Y CANTIL, EN LA UNIDAD  
DOCENTE PRODUCTIVA FINCA SABANA GRANDE, EL RODEO, ESCUINTLA,  
GUATEMALA, C.A.

TESIS

PRESENTADA A LA HONORABLE JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE  
AGRNOMIA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

POR

RODOLFO PATZÀN YOC

EN EL ACTO DE INVESTIDURA COMO

INGENIERO AGRÓNOMO

EN

SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA  
EN EL GRADO ACADÉMICO DE LICENCIADO

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2014

## UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

Rector Magnífico

Dr. Carlos Guillermo **Alvarado** Cerezo

## JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Dr. Lauriano Figueroa Quiñonez
VOCAL PRIMERO	Dr. Ariel Abderramám Ortiz López
VOCAL SEGUNDO	Ing. Agr. M.Sc. Marino Barrientos García
VOCAL TERCERO	Ing. Agr. Erberto Raúl Alfaro Ortiz
VOCAL CUARTO	P.For. Sindi Benita Simón Mendoza
VOCAL QUINTO	Br. Sergio Alexander Soto Estrada
SECRETARIO	Dr. Mynor Raúl Otzoy Rosales

Guatemala, octubre de 2014

Honorable Junta Directiva  
Honorable Tribunal Examinador  
Facultad de Agronomía  
Universidad de San Carlos de Guatemala.

Señores representantes:

De conformidad con las normas establecidas por la ley orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a vuestra consideración, el trabajo de tesis titulado:

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE TRES ESTRUCTURAS DE AFORO, PARA EL ANÁLISIS HIDROLÓGICO DE LOS RÍOS MONGOY, COMETA, Y CANTIL, EN LA UNIDAD DOCENTE PRODUCTIVA FINCA SABANA GRANDE, EL RODEO, ESCUINTLA, GUATEMALA, C.A., SEPTIEMBRE 2014

Como requisito previo a optar el título de Ingeniero Agrónomo en Sistemas de Producción Agrícola, en el grado académico de Licenciado.

Atentamente,

Rodolfo Patzan Yoc.

## ACTO QUE DEDICO

A.

- DIOS Por iluminarme y permitirme culminar mi carrera.
- MIS PADRES Ricardo Patzán Sabán, y María Josefa Yoc de Patzan, gracias, por todos sus esfuerzos, sacrificios y apoyo en bienestar de sus hijos.
- MI ESPOSA Bherta Viviana Velasquez Chen de Patzan, con mucho amor y cariño, gracias por el apoyo recibido durante estos años de vida que has compartido con migo.
- MIS HIJOS Lucy Viviana Patzán Velasquez, Rodolfo Emmanuel Patzan Velasquez, Linda Rocio Patzan Velasquez, que sus vidas futuras este llena de bendiciones y éxitos.
- MIS HERMANOS Damián, Carlos Alberto, Ricardo, Luis Alfredo; Edgar Enrique, Oscar Benjamin y José Raúl, con mucho aprecio, gracias por el apoyo recibido.
- A MIS ABUELITAS Jacinta Cotzajay Sabán (Q.E.P.D), y Paula Yoc, con cariño.
- A MI FAMILIA EN GENERAL Como muestra de aprecio y cariño.
- A LA FAMILIA Velásquez, Chen, en particular a mi suegra, Gloria Concepción Chen de Velasquez, a mis cuñados Linda Melissa, Mario Rolando y Alma Lorena, por el apoyo recibido.
- A MIS COMPAÑEROS Y AMIGOS En particular a, Hugo Rene Estrada, Byron Alfredo Quiroz Salvatierra, Jorge Donado, Pedro Francisco Donado, y a otros muchos amigos y compañeros por los buenos recuerdos y experiencias.

## TESIS QUE DEDICO

**A:**

Guatemala

Mis padres

Mis centros de Estudio, Escuela Mixta No 75, Mariano Rossell Arellano, Instituto Básico Carolingia, Instituto Teórico Practico de Agricultura "ITPA", y en especial a la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos.

Mis asesores, Ing Agr. Isaac Herrera Ibañez, e Ing Agr. Henry España.

A mis Amigos, profesor Antonio Verduc, Ing. Agr. Víctor Sandoval, Ing. Agr. Julio Barrios Alejos, e Ing. Agr. Luis Estrada Ligorria.

## CONTENIDO

## Página

1. INTRODUCCIÓN	01
2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	02
3. JUSTIFICACIÓN	03
4. MARCO TEÓRICO	04
4.1 MARCO CONCEPTUAL	04
4.1.1 Principio de Dublín	04
4.1.2 El ciclo hidrológico	04
4.1.3 Sistema hidrológico regional	04
4.1.4 Escurrimiento superficial	04
4.1.4.1 Factores que influyen en la escorrentía superficial	05
4.1.4.2 Variables que caracterizan la escorrentía superficial	06
4.1.4.3 Hidrógramas y curvas de duración de caudales	07
4.1.4.4 Medición de caudales	09
4.1.4.5 Establecimiento de estaciones hidrométricas	16
4.1.4.6 Curva de calibración de caudales	17
4.1.4.7 Ríos efluentes e influentes	19
4.1.4.8 Relación agua superficial y agua subterránea	20
4.1.5. Estructuras de aforo	21
4.1.5.1 Vertederos	21
4.1.5.2 Medidor Parshall	23
4.1.5.3 Canal rectangular	24
4.1.5.4 Resalto hidráulico	25
4.1.6 Diseño de estructuras de aforo	25
4.1.7 Calibración de estructuras	26

4.1.8 Curva de calibración de caudales	26
4.2 MARCO REFERENCIAL	27
4.2.1 Ubicación y localización geográfica	27
4.2.2 Antecedentes de la finca	27
4.2.3 Límites, extensión y vías de acceso	27
4.2.4 Relieve y fisiografía	27
4.2.5 Zonas de vida	27
4.2.6 Geología y suelos	28
4.2.7 Hidrografía	28
4.2.8 Uso actual de la tierra	28
5. OBJETIVOS	30
5.1 General	30
5.2 Específicos	30
6. METODOLOGIA	31
7. RESULTADOS Y DISCUSIONES	40
8. CONCLUSIONES	92
9. RECOMENDACIONES	93
10. BIBLIOGRAFÍA	94
11. APÉNDICES	96



## INDICE DE ECUACIONES

Ecuación		Página
1	Fórmula para obtener el coeficiente de escorrentía superficial.	06
2	Fórmula para determinar la probabilidad (p) para caudales.	09
3	Fórmula general para determinar un caudal.	09
4	Fórmula general para determinar el caudal a través de vertederos y orificios.	09
5	Fórmula para determinar el caudal con el método sección-velocidad.	10
6	Fórmula para estimar la velocidad media.	12
11	Fórmula que representa la relación molinete vrs velocidad del agua.	12
12	Fórmula para determinar la velocidad calculada.	13
13	Fórmula de Mannming, para determinar velocidad.	14
14	Fórmula para determinar el caudal a través de la velocidad media de la corriente por área hidráulica.	15
15	Fórmula general para determinar el caudal con un vertedero de pared gruesa.	15
16	Fórmula general para determinar el caudal a través de una caída libre.	15
17	Formula para determinar el caudal en un vertedero rectangular	15
18	Fórmula para determinar el caudal en un vertedero triangular.	16
19	Fórmula normal para determinar una curva de calibración.	17
20	Fórmula modificada para determinar una curva de calibración.	17
21	Fórmula linealizada para determinar la curva de calibración de caudales.	17
22	Ecuación general que representa los vertederos de pared delgada.	22
23	Fórmula general del gasto para un vertedero de pared delgada	22
25	Fórmula general del gasto para un vertedero rectangular.	23
27	Fórmula general del gasto para un vertedero triangular.	23
28	Ecuaciones para el cálculo del gasto de un medidor Parshall.	24

## INDICE DE FIGURAS

Figura	Página	
1	Análisis de hidrógramas de crecientes.	08
2	Flotador de corcho	11
3	Tipos de molinetes	14
4	Curva de calibración de caudales en una estación hidrométrica, utilizando Valores logarítmicos sobre papel aritmético.	18
5	Curva de calibración de caudales utilizando valores aritméticos, sobre papel aritmético.	18
6	Sección transversal de ríos Efluentes e Influentes	20
7	Vista lateral de las partes de un vertedero	22
8	Vertederos de pared delgada	23
9	Medidor tipo Parshall	24
10	Mapa de ubicación Finca Sabana Grande	29
11	Mapa ubicación estaciones hidrométricas	41
12	Curva de calibración de caudales para el canal rectangular en el río Cometa obtenida con Microsoft Excel.	50
13	Determinación del mejor ajuste de “b”, utilizando el método logarítmico, en el canal rectangular, Río cometa.	56
14.1	Determinación de “b” para el canal rectangular río Cometa, Método Running	58
15	Gráfica relación H-Q, para determinar “b”, Método de Johnson.	59
16	Curva de calibración de caudales para el medidor Parshall en el río Mongoy obtenida con Microsoft Excel.	60
17.1	Determinación de “b”, para el vertedero tipo Parshall, río Mongoy, método Log	63
18	Curva de calibración de caudales para el vertedero triangular en el río Cantil obtenida con Microsoft Excel.	64
19.1	Determinación de “b”, para el vertedero triangular, río Cantil, Método Log	67
20	Curva de calibración de caudales para el vertedero rectangular en el río Cantil obtenida con Microsoft Excel.	68

20.1	Determinación de “ <b>b</b> ”, para el vertedero rectangular, río Cantil, Método Log	71
21	Curva de duración de caudales, para el canal rectangular, río Cometa	76
22	Curva de duración de caudales, para el medidor Parshall, río Mongoy	77
23	Curva de duración de caudales, para el vertedero rectangular, río Cantil	78
24	Curva de duración de caudales, para el vertedero triangular, río Cantil	79
25	Curvas características de caudales según métodos de aforo, para el canal rectangular, en la estación río Cometa.	83
26	Curvas características de caudales según métodos de aforo, para el medidor Parshall, en la estación río Mongoy.	84
27	Curvas características de caudales según métodos de aforo para el vertedero rectangular, en la estación río Cantil.	84
28	Curvas características de caudales según métodos de aforo para el vertedero triangular, en la estación río Cantil.	85
29	Hidrógrama, para la estación río Cometa, según método de aforo	88
30	Hidrógrama, para la estación río Mongoy, según método de aforo	89
31	Hidrógrama, para la estación río Cantil, según método de aforo vertedero rectangular.	89
32	Hidrógrama, para la estación río Cantil, según método de aforo vertedero triangular.	89

## INDICE DE CUADROS Y TABLAS

Tabla	Página
1 Espaciamientos de acuerdo al ancho del río para tomar mediciones con Molinete.	14
 Cuadro	
1 Uso actual de la tierra en la micro cuenca del río Cantil.	28
2 Coordenadas y Altitud de las estaciones hidrométricas	40
3 Área de las estaciones hidrométricas y distancia del casco de la finca hacia las estaciones.	40
4 Aforos de terminados con el método sección -velocidad utilizados como referencia y/o comparador.	44
5 Cálculos para determinar los parámetros “a” y “n” Método Analítico para el canal rectangular, estación río Cometa.	45
6 Datos logarítmicos para determinar los parámetros “a” y “n” río Cometa	47
6.1 Cálculos para determinar los parámetros “a”, “n” utilizando Microsoft Excel para el canal rectangular, en la estación río Cometa.	48
6.3 Linealización de una ecuación potencial	51
6.4 Valores obtenidos para los parámetros “a” y “n”, según método utilizado para el canal rectangular, río cometa .	53
7 Determinación del valor de “b”, Método Log canal rectangular, río cometa	55
8 Determinación del valor de “b”, Método Running canal rectangular río cometa	57
9 Determinación del valor de “b”, Método Johnson canal rectangular río cometa	59
10 Datos logarítmicos, para determinar los parámetros “a” y “n” rio Mongoy vertedero tipo Parshall.	60
11 Determinación de los parámetros “a” y “n” vertedero tipo Parshall, río Mongoy utilizando Microsoft Excel.	61
11.1 Valores para determinar “b”, método logarítmico, vertedero tipo Parshall	62
12 Datos para determinar los parámetros “a” y “n”, rio Cantil, vertedero triangular	64

13	Determinación de los parámetros “a” y “n”, vertedero triangular, río cantil utilizando Microsoft Excel.	65
13.1	Valores para determinar “b” método logarítmico, vertedero triangular río Cantil	66
14	Datos para determinar los parámetros “a y n”, rio Cantil, vertedero rectangular	68
15	Determinación de los parámetros “a” y “n”, vertedero rectangular, río Cantil utilizando Microsoft Excel.	69
15.1	Valores para determinar “b”, método Log, vertedero rectangular, río Cantil	70
16	Modelos generados para predecir los gastos, según la relación Altura- Caudal en las estaciones hidrométricas, ubicadas en la Finca Sabana Grande	72
17	Análisis de datos para determinar la curva de duración de caudales en el canal rectangular, Medir Parshall, y los Vertederos triangular y rectangular utilizando el método de aforo Sección Velocidad.	75
18	Caudales característicos, para el canal rectangular, río Cometa	76
19	Caudales característicos, para el medidor Parshall, río Mongoy	77
20	Caudales característicos, para el vertedero rectangular, río Cantil	78
21	Caudales característicos, para el vertedero triangular, río Cantil	79
22	Caudales determinados con diferentes métodos de aforo, para cada estación Hidrométrica.	80
23	Análisis de datos para determinar la curva de duración de caudales para el canal Rectangular, Medir Parshall, y los Vertederos triangular y rectangular utilizando el método de aforo relación H-Q o curva de calibración de caudales	81
24	Análisis de datos para determinar la curva de duración de caudales para el canal Rectangular, Medir Parshall, y los Vertederos triangular y rectangular utilizando el método de aforo Sección-Control.	82
25	Caudales característicos, para las diferentes estaciones hidrométricas	86
26	Costos de construcción para el canal rectangular, río Cometa	90
27	Costos de construcción medidor Parshall, río Mongoy	91
28	Costos de construcción vertederos, río Cantil	91

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE TRES ESTRUCTURAS DE AFORO, PARA EL ANALISIS HIDROLÓGICO DE LOS RÍOS MONGOY, COMETA, Y CANTIL, EN LA UNIDAD DOCENTE-PRODUCTIVA FINCA SABANA GRANDE, EL RODEO, ESCUINTLA, GUATEMALA, C.A,

DESIGN AND CONSTRUCTION OF THREE STRUCTURES OF CAPACITY FOR HYDROLOGICAL ANALYSIS OF THE RIVERS, MONGOY, COMETA AND CANTIL, AT THE PRODUCTION TEACHING UNIT SABANA GRANDE FARM, EL RODEO ESCUINTLA, GUATEMALA, C.A

## RESUMEN

La presente investigación, se realizó con el objetivo de determinar el potencial hídrico superficial, de la Unidad Docente Productiva Finca Sabana Grande, en la aldea El Rodeo, Escuintla, el cual se concentra en tres ríos, Cometa, Mongoy y Cantil. Para determinar el potencial hídrico, nos auxiliamos de tres métodos de aforo, sección-velocidad, sección control, y relación altura-caudal o curva de calibración de caudales. El primer método es el más utilizado en aforos de ríos, consiste en seccionar el ancho del río, medir el tirante; área y velocidad del río en cada sección, con ayuda de un molinete se mide la velocidad, el caudal está dado por el modelo  $Q = \text{Área (m}^2) \times \text{Velocidad (m/s)} = \text{m}^3/\text{s}$ . El segundo método consiste en estructuras de aforo, que ayudan a medir el caudal de un río, canal rectangular ubicado en el río Cometa, medidor tipo Parshall ubicado en el río Mongoy, y una presa con un vertedero triangular y otro rectangular ubicados en el río Cantil. Estas estructuras tienen definidos los modelos para determinar el caudal, en el caso de canal rectangular el  $Q = 1.838(L-2H)H^{3/2}$ , donde L; ancho del cauce en m, H; altura de la lámina de agua o tirante del río en m, el caudal está dado en  $\text{m}^3/\text{s}$ , para el medidor tipo Parshall el  $Q = 1.7BH^{3/2}$ , B; ancho del cauce en m, H; altura o tirante del río en m, el caudal está dado, en  $\text{m}^3/\text{s}$ , Para el vertedero triangular  $Q = 1.49H^{2.48}$ , y para el vertedero rectangular el  $Q = 1.9LH^{3/2}$ , en ambos casos H es la altura o tirante del río en m, L ancho del canal en m., el caudal está dado en  $\text{m}^3/\text{s}$ , para el tercer método, nos auxiliamos del método sección-velocidad, para relacionar el caudal determinado con este método y la altura o tirante del río medida con una regla limnimétrica, para determinar la curva de calibración de caudales, la curva está definida por el modelo  $Q = a(h \pm b)^n$ , en donde Q está dado en  $\text{m}^3/\text{s}$ , h es la altura medida con el limnómetro, “a”, “n” y “b” son constantes. Las constantes “a” y “n”, se determinan a través de tres métodos, Analítico, Gráfico, y con la hoja de Cálculo Excel de Microsoft, la constante “b”, se determina a través de tres métodos, Logarítmico, Running, y Johnson. En la estación Río Cometa se utilizaron los tres métodos para determinar las constantes “a”, “n” y “b”, para ejemplificar dichos métodos, para las estaciones, Río Mongoy y Río Cantil, se utilizó para determinar “a” y “n”, la hoja de cálculo

Excel de Microsoft, y para determinar “b”, el método logarítmico. Los modelos obtenidos para determinar los caudales son, estación río Cometa,  $Q=12.613(h-0.45)^{1.16}$ , estación río Mongoy, medidor Parshall el  $Q = 18.975(h-0.6)^{0.98}$ , estación río Cantil, vertedero triangular  $Q=0.2544 (h-0.40)^{1.39}$ , para el vertedero rectangular  $Q=0.368(h-0.2)^{1.20}$ , para todos los casos h, es la altura del río. Se calcularon las curvas de duración de caudales o curva de caudales característica, con el objetivo de conocer el comportamiento de los caudales, durante el año. Las curvas características de caudales en la microcuenca del río cantil, reportan un caudal mínimo o estiaje de 251.37 L/s, para el 100 % del tiempo, caudal medio de 466.58 L/s para el 50% del tiempo. La mayor disponibilidad del recurso hídrico o caudal máximo es de 1,375.95 L/s y se da durante el 3 % del tiempo. El mayor tributario de la microcuenca es el río Cantil con un caudal de estiaje de 140.87 L/s, caudal medio de 231.71 L/s y un caudal máximo de 615.54 L/s ,seguido del río Mongoy con un estiaje de 65.84 L/s, un caudal medio de 107.59 L/s y un caudal máximo de 283.99 L/s y por último el río Cometa el menor tributario con un estiaje de 44.66 L/s, un caudal medio de 127.28 L/s y un caudal máximo de 476.42 L/s, por último se realizaron los Hidrógramas con el objetivo de representar gráficamente el comportamiento de los caudales en relación al tiempo, se realizaron por cada una de las estructuras, el intervalo de tiempo utilizado fue mensual, los hidrógramas reportaron, en la estación Río Cometa los mayores caudales ocurrieron en Septiembre, el caudal pico en Julio, para la estación Río Mongoy, los mayores caudales se dieron en Agosto, Mayo, Junio y Julio, teniéndose el pico en Mayo. La estación Río Cantil, presenta sus mayores caudales en Mayo-Junio, y Septiembre-Octubre, teniéndose el caudal pico en Mayo y Junio. Se recomienda darle mantenimiento anualmente a las estaciones hidrométricas, de igual manera los modelos obtenidos con la curva de calibración de caudales se deben verificar dos veces al año en verano e invierno.





## 1- INTRODUCCIÓN

La república de Guatemala abarca una amplia zona de extensión de cordilleras, con una extensión territorial en más de 108.9 mil kilómetros cuadrados, con una población que sobre pasa los 11 millones de habitantes, con más del 60 % se encuentran en áreas rurales, ubicados principalmente en el altiplano volcánico. Estas poblaciones en los últimos años han estado ejerciendo una gran presión sobre el recurso hídrico de la zona, de lo cual se desprende la importancia de realizar estudios del recurso hídrico de la zona volcánica del país. La unidad docente productiva Finca Sabana Grande, administrada por la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala, cuenta con un potencial del recurso hídrico superficial, el cual se cuantifica en 17 manantiales con un caudal de 84 L/s y de tres ríos (Cantil, Cometa, y Mongoy) que conducen conjuntamente, aproximadamente 1.86 m<sup>3</sup>/s, constituyendo estos una salida natural de agua subterránea que se recarga al norte de los volcanes de Fuego y Agua.

El presente estudio se realizó en la Finca Sabana Grande, en los meses de Agosto de 2003 a Julio del 2004, en el cual se diseñaron y construyeron tres estructuras de aforos en tres diferentes estaciones hidrométricas, para obtener caudales diarios y determinar el comportamiento y el potencial real del recurso hídrico de los principales ríos (Cometa, Mongoy y Cantil), la construcción de las estructuras para cada río se basan en las condiciones bajo las cuales fueron diseñadas, principalmente el caudal o gasto. Se determinó la curva y ecuación de calibración de caudales para cada estación, estas curvas se determinaron con registros de caudales obtenidos con el método sección-velocidad el cual fue utilizado como comparador, por ser uno de los métodos más utilizados en el aforo de ríos. Se realizaron curvas de duración de caudales, con los registros de caudales obtenidos por cada método (Sección control o estructuras de aforo, Relación altura-caudal y el método sección-velocidad), con el fin de comparar la funcionalidad de las estructuras, calibrar las estructuras y el limnómetro, y corroborar los datos obtenidos con el método altura-caudal utilizando como comparador el método sección-velocidad, se consideraron otros aspectos como el costo de construcción de las estructuras de aforo, e hidrógramas para observar el comportamiento de los ríos durante los 12 meses. Las estaciones hidrométricas según la metodología, deben ser construidas en las partes bajas de los cauces, sin embargo por situaciones de linderos, las estructuras quedaron en las partes medias de las cuencas o bien dentro de los límites de la finca, considerando aspectos de accesibilidad, construcciones cercanas y homogeneidad de la corriente.

## 2.- DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

El agua es ya un recurso escaso en muchos países del mundo (FAO 1994) (9). En Guatemala el recurso agua ha sufrido un gran deterioro por varios factores, entre los cuales podemos mencionar tres como las principales: El primero de ellos: la variabilidad natural de las lluvias. Segundo: la degradación del medio, es decir la constante y creciente deforestación, la erosión de los suelos, y un excesivo pastoreo además del avance de la frontera agrícola. Tercero: la contaminación del agua, provocada tanto por los factores antes mencionados como la agricultura, pero además la incorporación de aguas negras provenientes de la industria y de los centros poblados, aunado a esto la gran demanda del agua para consumo humano, debido al crecimiento demográfico y desarrollo socioeconómico, todos estos factores han hecho del agua un recurso con cierto grado de afectación.

Dentro de la unidad docente-productiva Finca Sabana Grande se encuentran 4 ríos y aproximadamente 41 manantiales, según Yol Zamora (23), los cuales empiezan a ser aprovechados de una forma desordenada y sin conocer el potencial real del recurso superficial. La finca no cuenta con registros del comportamiento de este recurso, que permita determinar en qué momento se tiene el mayor o menor caudal o si existe alguna variación del caudal según la época del año y que magnitud tiene esta variación, con lo cual se tendría un mejor aprovechamiento de este recurso, tanto para fines agrícolas, pecuarios así como para el consumo humano.

Por otra parte la FAUSAC, como ente educadora, necesita de instalaciones e infraestructura necesaria para el proceso de aprendizaje-enseñanza, principalmente en los últimos años, donde se han incorporado nuevos niveles de educación en el tema del recurso hídrico, sumado a esto los acuerdos que se han firmado con otras instituciones nacionales e internacionales en aspectos de generación de tecnología, manejo y aprovechamiento sostenible de los recursos naturales.

### 3.- JUSTIFICACIÓN

Solo hay dos fuentes de agua a disposición del hombre, a saber: las de la superficie (lagos, ríos y embalses por captación de agua de lluvia), y las subterráneas, que incluyen la captación por medio de pozos, manantiales y galerías horizontales, que las aguas superficiales y subterráneas en realidad no están separadas, lo que en cierto lugar es agua superficial, en otro lugar se puede convertir en agua subterránea, pudiendo emerger de nuevo como agua superficial.

Guatemala es un país que tiene una extensión de 108,889 kilómetros cuadrados, de esta superficie el 88 % presenta un déficit de precipitación pluvial en grado variable, siendo 101,000 millones de metros cúbicos por año lo cual representa el escurrimiento superficial. Mientras que la disponibilidad de agua durante la época con una probabilidad de ocurrencia del 80% sin almacenamiento superficial, se estima en 800 metros cúbicos por segundo a nivel nacional. **(11)**

La unidad Docente-Productiva finca Sabana Grande cuenta con 17 manantiales que proporcionan un caudal de 84 L/s y tres ríos, Cometa y Mongoy, que atraviesan la finca de norte a sur, y Cantil cruza la finca de oeste a este. Dichos ríos conducen conjuntamente aproximadamente 1.86 m<sup>3</sup>/s, de esta disponibilidad de agua no se lleva ningún control, ya que es utilizado en cultivos agrícolas, consumo humano y recreación siendo estos los usos más importantes del agua y en este último año con la incorporación de un proyecto acuícola, aumentó el consumo del recurso, con lo cual se desconoce a un más, cual es el balance entre lo disponible y utilizado dentro de la finca. Según Bandes (3) en cualquier proyecto hídrico es importante realizar una evaluación y predicción en la disponibilidad de agua para que sea comparada con la demanda.

De lo anterior se desprende la importancia de conocer el potencial real del recurso hídrico dentro de la finca, dicho potencial se determina con la obtención de caudales o gastos diarios, a través de estructuras de aforo (vertederos, canal rectangular, medidor Parshall), de curvas de calibración de caudales las cuales se obtienen de relacionar, altura del tirante de agua, medido con un limnímetro y el gasto o caudal obtenido con el método sección-velocidad. Estos puntos de aforo se ubicaron en los tres ríos más importantes dentro de la finca, con lo cual se espera generar información que pueda ser utilizada para considerar futuros proyectos que tengan como objetivo el aprovechamiento del recurso hídrico, y que lo hagan de forma sostenible.

## 4.- MARCO TEORICO

### 4.1. Marco Conceptual

#### 4.1.1. Principio de Dublín (1,992)

- a. El agua dulce es un recurso finito y vulnerable, imprescindible para el mantenimiento de la vida, el desarrollo y el ambiente.
- b. El desarrollo y la ordenación de los recursos hídricos deberán basarse en un criterio participativo al que contribuyen todos los usuarios, planificadores y autoridades responsables.
- c. La mujer desempeña un papel central, en el aprovechamiento, administrativo y protección del agua.
- d. El agua tiene un valor económico. (23)

#### 4.1.2. El ciclo hidrológico

La cantidad de agua que existe en el mundo es finita, esta se recicla constantemente debido a la evaporación provocada por el sol. Cada año la energía solar transforma 500,000 Km<sup>3</sup> de agua de la tierra y del mar en vapor de agua, libre de contaminantes. Este vapor vuelve a la superficie en forma de lluvia o nieve pero no se deposita sobre la tierra y el mar en la misma proporción en la que se ha evaporado de ellos. Caen aproximadamente 40,000 Km<sup>3</sup> en la tierra más que la que se evapora de ella, y esta es el agua que genera energía en las centrales hidroeléctricas, llena los lagos y ríos, recarga los acuíferos subterráneos y contribuye a eliminar la contaminación del agua provocada por la población humana. Es en esta parte del ciclo hidrológico en que la población humana debe utilizar los recursos del agua dulce en forma sostenible. (9)

#### 4.1.3. Sistema hidrológico regional

El sistema hidrológico regional se aplica a toda la tierra. En algunos casos los intereses de estudio pueden estar en regiones menos extensas y con límites de división de una cuenca hidrográfica, políticos o de un área cultivada. El sistema hidrológico se basa en el principio de conservación de la masa, es decir que sus salidas dan cuenta de las cantidades de agua que constituyen sus entradas. Es decir que el sistema hidrológico local es un subsistema del sistema hidrológico regional. (12)

#### 4.1.4. Esguerrimiento superficial

Se entiende por esguerrimiento superficial, al flujo sobre el suelo, sub superficial (dentro del suelo) y al flujo subterráneo (en los estratos de rocas) provenientes de la precipitación pluvial, los cuales generalmente son captados por los cauces de los ríos. El esguerrimiento se define como el agua proveniente de la precipitación que circula sobre o bajo la superficie terrestre y que llega a una corriente para finalmente ser drenada hasta la salida de la cuenca. (2). La esguerrencia superficial consiste en la ocurrencia y el transporte de agua en la superficie terrestre, comprende el exceso de la precipitación que ocurre después de una lluvia intensa y se mueve libremente por

la superficie del terreno. La escorrentía de una corriente de agua, puede ser alimentada tanto por el exceso de precipitación como por las aguas subterráneas. La medición del escurrimiento de un río, es el dato básico empleado en la mayoría de los casos en que se van a planear y / o proyectar obras hidráulicas en el cauce de una cuenca, por lo tanto, es conveniente tener esta información disponible y en la cantidad adecuada, además de confiable.

#### **4.1.4.1. Factores que influyen en la escorrentía superficial.**

##### **A. Factores climáticos**

**Intensidad de precipitación.** Cuanto mayor es la intensidad de precipitación más rápido el suelo colma su capacidad de infiltración, y se provoca un exceso de precipitación que escurrirá superficialmente.

**Duración de la precipitación.** La duración de la precipitación es directamente proporcional a la escorrentía superficial: para lluvias de intensidad constante habrá mayor oportunidad de escorrentía superficial cuanto mayor haya sido su duración.

**Precipitación antecedente.** Una precipitación que ocurre cuando el suelo está húmedo debido a una lluvia anterior, tendrá mayor facilidad de convertirse en escorrentía superficial.

##### **B. Factores fisiográficos**

###### **Área de la cuenca hidrológica.**

La extensión del área está directamente relacionada con la mayor o menor cantidad de agua de escorrentía superficial que la cuenca puede generar. El área de la cuenca indica la superficie del área drenada, es decir, desde donde nace el cauce principal hasta el sitio donde se encuentra la estación medidora del caudal, que va a servir de base para el estudio hidrológico de la cuenca y cubre el perímetro de la cuenca, generalmente se indica en kilómetros cuadrados o hectáreas.

###### **Permeabilidad.**

Influye directamente en la capacidad de infiltración. Cuanto más permeable sea el suelo, mayor será la cantidad de agua que puede absorber, disminuyéndose así la ocurrencia de exceso de precipitación. La permeabilidad depende de la textura del suelo. La permeabilidad de una cuenca, indica su capacidad o facilidad que presenta la cuenca para evacuar las aguas provenientes de las precipitaciones.

##### **C. Factores humanos**

**Obras hidráulicas construidas.** Es el caso, por ejemplo, de una presa, que al acumular agua en un embalse reduce los caudales máximos de la escorrentía superficial y retarda su propagación.

**Rectificación de ríos.** Se puede rectificar un río y esto aumenta la velocidad de la escorrentía superficial en el tramo rectificado. (16)

#### 4.1.4.2. Variables que caracterizan la escorrentía superficial

##### A. Caudal o Gasto

Es el volumen de agua que pasa por una sección específica del cauce de un río, en un tiempo determinado; y al conjunto de operaciones que conducen a la valorización del gasto, se le denomina aforo. Como el caudal de una corriente no es constante durante todo el tiempo, hay que conocer sus fluctuaciones, mediante una serie de aforos, los que debidamente valorizados y compilados, nos conducen a encontrar las leyes que se rigen la corriente, esto es; el régimen mensual, anual y ciclo de una corriente; con lo que se puede relacionar el caudal con el tiempo para obtener el hidrógrama característico del río. (12). Otra definición de caudal (Q) es, el volumen de escorrentía superficial por unidad de tiempo,  $Q = V/t$ , y es la principal variable que caracteriza la escorrentía superficial. Se expresa en  $m^3/s$  o L/s. (16)

##### B. Caudal específico (q)

Se define como el caudal (Q) dividido por el área de drenaje (A) de la cuenca, se expresa en  $m^3/s/km^2$  o L/s/ $km^2$ , sirve como elemento comparativo entre cuencas. La fórmula es  $q = Q/A$ .

##### C. Caudales máximos, medios y mínimos

Es común tener como datos que caracterizan a una cuenca los caudales máximos, medios y mínimos en intervalos de tiempo determinados, como hora, día, mes y año.

##### D. Coeficiente de escorrentía superficial

Es la relación entre el volumen de agua de escorrentía superficial total y el volumen total de agua precipitada, en un intervalo de tiempo determinado.

$$C = [(V \text{ escorrentía superficial} / V \text{ precipitación}) \text{ Intervalo de tiempo}]$$

Formula No.1

V = Volumen

Este coeficiente se puede definir como relativo a una lluvia aislada o a un intervalo de tiempo en donde ocurren varias lluvias. Se debe aclarar que conociendo el coeficiente de escorrentía para una determinada lluvia con cierta intensidad y cierta duración en un área dada, se puede determinar la escorrentía superficial de otras precipitaciones de intensidades diferentes, desde que la duración de la lluvia sea la misma.

##### E. Tiempo de concentración.

Es el tiempo que la lluvia que cae en el punto más distante de la corriente de agua de una cuenca toma para llegar a una sección determinada de dicha corriente. El tiempo de concentración mide el tiempo necesario para que toda la cuenca contribuya con escorrentía superficial en una sección considerada. Se mide en minutos u horas.

##### F. Periodo de retorno.

Es el período de tiempo promedio, (en años), en que un determinado evento (en este caso caudal), es igualado o superado por lo menos una vez.

##### G. Nivel de agua.

Es una de las medidas más fáciles de determinar sobre una corriente de agua. Se expresa en metros o centímetros y se refiere a la altura alcanzada por el nivel del agua en relación con un

nivel de referencia. (16) El nivel de un río es la elevación del agua en una estación medida por encima de un cero arbitrario de referencia. Algunas veces, la referencia utilizada es el nivel medio del mar, pero más a menudo, se toma como referencia un punto ligeramente por debajo del nivel para el cual la descarga es cero. Dado que es muy difícil lograr una medición continua y directa del caudal en una corriente, mientras que es relativamente sencillo lograr un registro continuo del nivel del agua, la información primaria obtenida en una estación para medición del caudal es el nivel del río, ya que el caudal está en función del nivel o altura del río [ $Q = f(h)$ ], considerando el área de la sección transversal del cauce estable. (12)

#### 4.1.4.3. Hidrógramas y curvas de duración de caudales.

##### A. Hidrógramas.

Se denomina hidrógramas de caudal, la representación gráfica de la variación del caudal en relación con el tiempo, El intervalo de tiempo puede variar de horas a años. (16). Cuando se mide el gasto (que se define como el volumen de escurrimiento por unidad de tiempo) que pasa de manera continua durante todo un año por una determinada sección transversal de un río y se grafican los valores obtenidos contra el tiempo, se obtendría una gráfica la cual se denomina hidrograma, Pueden utilizarse para el cálculo de caudales diarios y mensuales. Un hidrograma está compuesto de varios puntos: (2)

**Punto A, aumento del caudal.** Una vez iniciada la precipitación, parte de ésta es interceptada por la vegetación y obstáculos, y retenida en las depresiones hasta llenarlas completamente. Otra parte se infiltra en el terreno, supliendo su deficiencia de humedad, esta parte corresponde al intervalo de tiempo  $t_0$  a  $t_a$  en el hidrograma. Una vez excedida la capacidad de infiltración se inicia la escorrentía superficial directa, la cual corresponde al punto A en el hidrograma. Si el área cubierta por la precipitación contiene la sección de registro del hidrograma, el aumento de caudal empieza a notarse en el mismo instante de iniciación de la lluvia debido al efecto del agua que cae directamente sobre el cauce. Si la lluvia cae sobre un área localizada aguas arriba de la sección de la corriente, deberá transcurrir un tiempo suficiente para que la escorrentía superficial llegue al sitio de registro.

**Punto A al punto B, curva de concentración.** El punto B marca el punto de inflexión; se determina gráficamente y señala el comienzo de la cresta de hidrograma. En el lapso de  $t_a$  a  $t_b$  solamente tres componentes del hidrograma están contribuyendo a la alimentación del caudal:

- ❖ Escorrentía superficial directa.
- ❖ Precipitación directa sobre la corriente.
- ❖ Agua subterránea (caudal base).

**Punto B al punto D, cresta del hidrograma.** El caudal continúa aumentando hasta alcanzar un máximo en el punto C, cuando toda la cuenca está contribuyendo. La duración de la lluvia neta o de exceso es menor o igual al intervalo de tiempo  $t_0$  a  $t_c$ . Se considera que desde el punto B hasta el punto D, además de las tres componentes del hidrograma que estaban contribuyendo antes del punto B, está contribuyendo el flujo sub superficial. La componente que menos contribuye en este intervalo es la precipitación directa sobre la corriente, la cual cesa antes del punto D.



**Punto D al punto E, curva de descenso.** El punto D es la inflexión que marca el comienzo de la curva de descenso del hidrograma. Este punto se localiza gráficamente y señala el momento en que cesa la escorrentía superficial directa. Desde el punto D hasta el punto E el caudal está compuesto exclusivamente por flujo sub-superficial y agua subterránea.

**Punto E curva de agotamiento.** Punto que indica la terminación de toda escorrentía superficial. A partir de este punto comienza la denominada curva de agotamiento, durante la cual los aportes al caudal de la corriente provienen únicamente de las reservas de agua subterránea. (16)

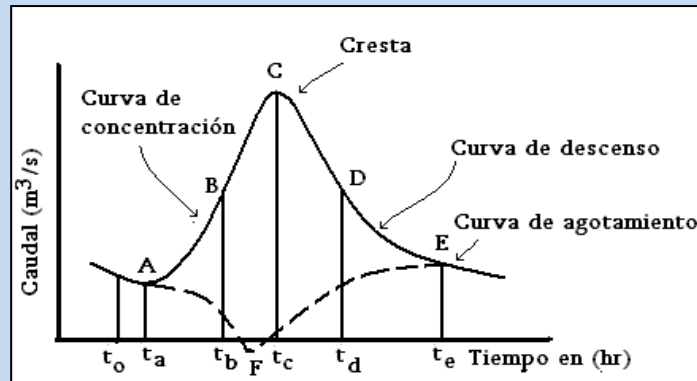


Figura 1 Análisis de hidrógramas de crecientes, para una tormenta en particular  
Fuente. Hidrología en la Ingeniería (1,999)

## B. Curvas de duración de caudales.

Para la predicción de la disponibilidad y variabilidad de agua, la hidrología hace uso de técnicas que se apoyan en las estadísticas matemáticas, basándose en los antecedentes hidrometeorológicos y se rigen por el principio de que lo que ha ocurrido en el pasado puede esperarse en el futuro, permaneciendo las condiciones iguales. Es muy frecuente que se desee tener un conocimiento de las magnitudes que pueden alcanzar los elementos hidrometeorológicos en conexión con la duración relativa o frecuencia de tales magnitudes.

Esta información puede ser obtenida mediante la elaboración de la curva de duración que indica el porcentaje de tiempo en que el elemento hidrometeorológico es igual o mayor que un determinado valor. La curva de duración generalmente se presenta en un gráfico con las magnitudes como ordenadas y los porcentajes de tiempo como abscisas. Entonces se puede definir una curva de duración como la curva que indica el valor de un atributo en función de la frecuencia de un determinado fenómeno. Estas curvas de duración de caudales se utilizan de preferencia para representar factores hidrometeorológicos como la precipitación o caudales. El gráfico proporciona información relativa a: volumen total ocurrido, caudales característicos y comportamiento de la cuenca. (12)

Normalmente estas curvas muestran el número de días del año o el porcentaje del tiempo en que un cierto caudal es excedido. El porcentaje del tiempo en que el caudal es excedido se denomina generalmente probabilidad. El empleo de escala logarítmica facilita la extrapolación de la curva, la que en ese caso se aproxima más a una recta. El trazo de una curva de duración se reduce a las siguientes etapas:

- Ordenación de los caudales ( $Q$ ) u otro atributo en forma descendente, es decir, de mayor a menor.
- Determinar para cada valor su probabilidad ( $p$ ) correspondiente, ver [formula No 2](#). Texto.



- c. En un gráfico logarítmico-probabilidad, llevar para cada mes los valores mensuales en la escala de probabilidad normal, y ajustar una línea a los puntos así obtenidos, de esta manera se obtiene una línea para cada mes.
- d. A partir de estas líneas se obtienen los valores mensuales del caudal correspondiente a probabilidades tales como 5 %, 25 %, 50 %, 75 %, y 95 %.
- e. En un gráfico en papel milimetrado, llevar a ordenadas los caudales mensuales obtenidos en la parte cuatro y en las abscisas de los meses correspondientes, empezando por enero.
- f. Puede utilizarse para el cálculo de caudales diarios, mensuales o anuales, dependiendo esta selección de la cantidad y uso de los datos.

$$P = (2m - 1 / 2n) 100$$

Formula No. 2

#### 4.1.4.4 Medición de caudales.

La medición de caudales significa aforar una corriente y determinar a través de estas mediciones el gasto o caudal que pasa por una sección dada, existiendo varios métodos para realizar la medición de dichos gastos dentro de los cuales se pueden mencionar. (2)

##### 4.1.4.4.1 Método volumétrico.

Es usado para corrientes pequeñas como nacimientos de agua o riachuelos, siendo el método más exacto, a condición de que el depósito sea bastante grande y de que pueda medir su capacidad de modo preciso. Consiste esencialmente en hacer desembocar la corriente en un depósito impermeable y cuyas pérdidas por evaporación y filtración puedan valorarse con certidumbre. La duración  $t$ , del tiempo de conservación debe ser, al menos de 20 segundos, para reducir el error  $\pm 1$  por 100. La diferencia de nivel observada en el tiempo  $t$ , debe ser al menos de 100 mm para reducir también este error a  $\pm 1$  por 100. La graduación de los depósitos pequeños y transportables debe hacerse por peso, con preferencia al empleo de fórmulas geométricas. En forma general el método de aforo volumétrico, consiste en hacer llegar un caudal a un depósito impermeable cuyo volumen sea conocido y contar el tiempo total en que se llena el depósito, así se obtiene:

$$Q = \text{Volumen} / \text{Tiempo} = \text{m}^3/\text{s} \text{ o } \text{L}/\text{s}$$

Formula No. 3

Por lo tanto, este método es de utilización práctica, siempre que se trate de mediciones de pequeños caudales, en trabajos experimentales o para tener un estimado inmediato de un caudal aportado por determinado riachuelo (12)

##### 4.1.4.4.2 Métodos de vertederos y orificios.

Consiste esencialmente en interponer un tabique ante una corriente de manera que se dé una caída de agua que pase a través de una sección predeterminada. Conociendo las características del vertedero o del orificio que se engloban en el factor (determinado experimentalmente), la sección de la lámina de agua que pasa por ellos y la velocidad teórica de caída libre se obtiene de la forma siguiente:

$$Q = \mu S * \sqrt{2g} * h^{3/2}$$

Formula No. 4

En donde

- Q: Gastos o caudal en m<sup>3</sup>/s.  
 μ: Coeficiente de descarga del vertedor de aforo.  
 S: Ancho del vertedor en m (rectangular)  
 g: Gravedad (aceleración) m<sup>2</sup>/s  
 h: Diferencia de niveles carga (m)

Cuando la construcción difiera de las indicadas, deberán determinarse o calibrarse por medio de aforos con molinetes, las características y el factor de la estructura. Tanto en los vertederos como en los orificios, el gasto depende fundamentalmente de la forma geométrica de la escotadura, además de la altura del agua sobre la cresta en el caso de los vertederos y del centro del orificio cuando la escotadura es circular. (12)

#### 4.1.4.4.3 Medidor Parshall.

Método ideado por Ralph Parshall en 1,920, el cual se utiliza en el aforo de canales y pequeños ríos, se recomienda para canales de riego de poca pendiente, en drenes, donde no es conveniente instalar estructuras como vertederos que alteren el régimen del escurrimiento. El medidor consta de tres partes fundamentales, figura 9.

- Transición de entrada: Formada por dos muros convergentes apoyados en un piso a nivel.
- Garganta: Formada por dos muros paralelos apoyados en un muro inclinado hacia aguas abajo, cuya intersección con el piso a nivel de la entrada forma la cresta del medidor.
- Transición de salida: Formada por dos muros divergentes apoyados en un piso inclinado hacia arriba.

La longitud de la cresta debe ser igual a la distancia que hay entre los dos muros paralelos que forman la garganta. Los niveles del agua se miden antes y después de la cresta, tomando como plano de comparación el que pasa por la cresta.

#### 4.1.4.4.4 Método de relación sección-velocidad.

En este método se determinan separadamente la sección transversal del cauce y la velocidad del agua; la sección se determina por medio de sondeos o algún otro procedimiento topográfico y la velocidad por cualquiera de los métodos con molinete, flotador o pendiente hidráulica. De tal manera que el caudal del río estará dado por:

$$Q = \text{Área (m}^2\text{)} \times \text{Velocidad (m/s)} = \text{m}^3/\text{s} \quad \text{Formula No 5}$$

#### A Determinación del área.

La determinación del área de la sección depende de las condiciones del cauce, si es estable el área se determinara con nivel montado y estatal; determinando las áreas correspondientes a cada nivel del agua con el fin de obtener una tabla de altura de escala-áreas, para que al practicar aforos posteriores, únicamente sea determinada la velocidad media. Para cauces variables donde el nivel de la corriente sufre cambios considerables mientras se hace el aforo, se recomienda medir sucesivamente las profundidades y las velocidades, conforme se avanzan de un extremo a otro de la sección. Para cauces variables donde el nivel del agua no sufre cambios apreciables durante el aforo, el área de la sección se determinará por medio de

sondeos antes de medir las velocidades. Las varillas del molinete pueden utilizarse para determinar la profundidad de la corriente en la sección donde se quiere conocer el área. (12)

## B Determinación de la velocidad

Esta se efectúa por medio de flotadores, molinetes o la pendiente hidráulica.

### B.1 Flotadores

Son cuerpos más ligeros que el agua y que conducidos una suspensión por la corriente adquieren una velocidad que resulta, según la clase de flotadores empleados (superficiales o sumergidos), similar a la velocidad de la corriente. Un Flotador es un objeto suspendido o flotante que arrastrado por la corriente con su mismo velocidad. El flotador puede ser cualquier objeto, que se vea con facilidad; puede estar hecho de madera, corcho, poliuretano y otro material flotante. Para que se le considere un buen flotador debe reunir las siguientes condiciones. La parte expuesta al viento debe ser lo más reducida posible, pero el flotador siempre debe estar visible. La parte sumergida no debe ser voluminosa, para evitar interferencia con objetos sumergidos. Debe ser, en lo posible, simétrico y de plantilla redondeada, esto con objeto de que al rotar siga ofreciendo la misma resistencia tanto al agua como al aire. De fácil manejo, resistente a las sacudidas, bruscas, sencillo de construir, ligero, económico y de fácil transporte. Debe ser pequeño, ya que muchos canales de descarga tienen poca profundidad. Debe adquirir una velocidad muy cercana a la velocidad de la corriente de agua y esto solo se consigue si es ligero y está poco expuesto al viento. Se ha utilizado con éxito flotadores con dos corchos unidos mediante un tornillo, que además sirve de lastre. El flotador mide 0.07 m a .10 m de altura y solamente un 20% del flotador sobresale del agua. (4)

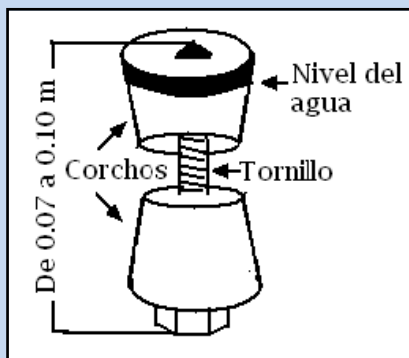


Figura 2 Flotador de corcho

FUENTE Serie autodidáctica de medición de calidad de Agua. México

### Velocidad superficial ( $V_s$ )

Se obtiene con los flotadores superficiales, los cuales pueden ser pequeños trozos de madera, botellas lastradas, cañas lastradas, corchos y algunos frutos, debiendo preferirse los que están menos influenciados por la acción del viento. Se escoge un tramo de aforo recto, libre de obstáculos cuya longitud debe ser menor de seis veces el ancho del río, luego se determinan tres perfiles transversales al saber de la entrada, en el centro y en la salida del tramo, escogiendo y siguiendo las instrucciones dadas anteriormente para medir secciones en cauces. Las velocidades se obtienen tomando el tiempo que tardan en recorrer un tramo de longitud conocida, siendo la velocidad el cociente de la distancia recorrida por el flotador entre el tiempo empleado en recorrer. Se distinguen dos tiempos de velocidades obtenidas por los flotadores. (12)

### Velocidad media ( $V_m$ )

Se obtiene en forma aproximada con los flotadores sumergidos; ya que éstos tienen la forma de barra o bastón, lo cual les permite tomar una posición vertical, extendiéndose desde la superficie hasta cerca del fondo, proporcionando así un promedio de las velocidades de la corriente.

#### Estimación de la velocidad media

La velocidad media se estima usando varios flotadores superficiales y se promedia su velocidad, entonces ( $V_s$ ) es la velocidad media superficial; similarmente se obtiene ( $V_m$ ) utilizando varios bastones sumergidos a lo largo del tramo del río, de acuerdo a la fórmula de velocidad:

$$V = \text{Longitud del tramo (m)} / \text{Tiempo promedio (s)} \quad \text{Formula No.6}$$

Posteriormente se obtiene

$$k = V_m / V_s \quad \text{Formula No.7}$$

$$V_m = K \times V_s; \text{ para aforos posteriores} \quad \text{Formula No. 8}$$

Cuando se desconoce  $K$ , como en la mayoría de los casos ocurre, se puede usar el valor aproximado de  $K = 0.90$

$$V_m = 0.90 V_s \quad \text{Formula No. 9}$$

El gasto se obtiene entonces de la fórmula.

$$Q = \text{Área (m}^2\text{)} \times \text{Velocidad (m/s)} = \text{m}^3/\text{s} \quad \text{Formula No. 10}$$

### B.2 Molinete

Estos son aparatos provistos de una hélice o una rueda de copas [Figura No 3](#), la cual gira al chocar el agua de la corriente sobre ella. También son llamados “correntómetros”. El movimiento de rotación es tanto más rápido cuanto más fuerte es la velocidad del agua. Conociendo el número de vueltas que da la rueda y el tiempo empleado en darlas, se puede estimar la velocidad del agua con ayuda de una constante o factor calculado para el efecto para cada molinete. El número de revoluciones son registradas mediante los engranajes por un aparato eléctrico accionado por baterías el que cada cierto número de vueltas emite una señal luminosa o auditiva. El registro del tiempo se efectúa por medio de un cronómetro que deberá tener apreciaciones mínimas de un décimo de segundo. La determinación de la relación entre las revoluciones o vueltas por segundo que rueda el molinete y la velocidad del agua, se expresa por una fórmula de la siguiente forma: [\(12\)](#)

$$V = a + bN \quad \text{Formula No. 11}$$

En dónde.

$V$ : Velocidad de agua (m/s)

$N$ : Revoluciones por segundo del molinete

$N$ : Número de vueltas / tiempo

$a$  y  $b$ : Constantes según el valor de las revoluciones dadas por el molinete.

Según sea el factor  $N$  así se puede utilizar cualquiera de las siguientes ecuaciones para obtener la velocidad calculada, para el molinete AOTT.

$$V = 0.023 + 0.1305N$$

$$V = 0.050 + 0.1028N$$

Si N es < que 0.97

Si N es > que 0.97

Formula No 12

En dónde.

0.97:= Constante de calibración del molinete AOTT.

**Velocidad media.** Esta se obtiene por área parcial, con el molinete, estos se diferencian esencialmente por la profundidad a la cual se hacen mediciones de la velocidad en la vertical. Los métodos más empleados son:

#### **Método de un punto:**

Es el método más empleado y consistente en colocar el molinete a 6/10 de profundidad del punto sondeado (0.6 H), contando a partir de la superficie del agua hacia abajo. Este método se basa en que a esta profundidad, la velocidad del agua es casi igual a la velocidad media en la vertical del punto en que se está haciendo la observación. Ya que la velocidad varía como una parábola, desde cero en el fondo del canal hasta un máximo en o cerca de la superficie del agua.

(12)

#### **Método de los dos puntos:**

Se emplea cuando se quiere una mayor aproximación, es el llamado método de los dos puntos, en este se efectúan dos medidas de la velocidad uno a 2/10 (0.2 H) de la profundidad y otro a 8/10 (0.8 H), contados a partir de la superficie del agua en cuestión. El promedio de las dos velocidades será la velocidad en el área parcial.

#### **Método de varios puntos:**

Se emplea cuando se quiere gran precisión y la profundidad de la corriente es mayor de 3 m, y las condiciones del escurrimiento lo permitan. Generalmente se hace una medición superficial y una cerca del fondo, intercalando mediciones adicionales entre estas dos a intervalos comprendidos entre 1/4 y 1/10 (0.2 H, 0.6H, 0.8H) de la profundidad. El promedio de las velocidades será la velocidad buscada.

#### **Método de superficie:**

Cuando la velocidad del agua es mayor de 2.50 m/s, es preferible prescindir de las observaciones profundas, debido a la dificultad de mantener el molinete en posición vertical, como por el peligro de que sufra desperfectos al ser golpeado por los objetos que transporta la corriente. En este caso se recomienda mediciones a 0.15 m de profundidad, la velocidad media se obtiene a partir de la velocidad superficial, donde  $V_m = 0.90 V_s$ , que es el recomendado, pero en realidad puede ser  $V_m = 0.85$  a  $0.95 V_s$ . De acuerdo al ancho del río, existen espaciamientos recomendados para tomar mediciones con el molinete como se presenta a continuación en la siguiente tabla. (12)

Tabla 1. Espaciamientos recomendados de acuerdo al ancho del río

Ancho del río en m	Espaciamiento en m
< 1.2	0.1
1.2 – 03	0.2
03 – 05	0.3
05 – 08	0.4
08 – 12	0.5
12 – 18	0.8
25 – 35	1.0
35 – 50	1.5
50 – 70	2.0
70 – 100	3.0
100 >	4.0 a 5.

Fuente: Manual de Hidrología (1995).

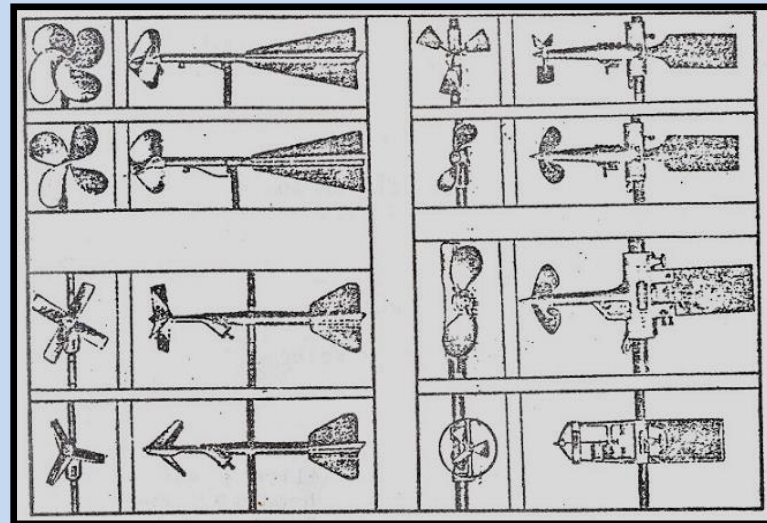


Figura 3. Tipos de Molinete.  
FUENTE Manual de Hidrología .1995

### B.3 Pendiente hidráulica

Es más correcto llamarlo de sección y pendiente hidráulica, ya que utiliza los conceptos de “área hidráulica y perímetro mojado” que tiene la corriente para calcular la velocidad. (12)

El procedimiento se explica cómo sigue.

- Determinar un tramo de aforos.
- El área de la sección transversal media del cauce en el tramo de aforo (A).
- El radio hidráulico de dicha sección (r).
- La pendiente hidráulica en el tramo de aforos (s).
- Determinar las características del cauce y las condiciones en que se encuentra, con el fin de elegir un coeficiente de rugosidad apropiado (n).
- Determinar la velocidad de la corriente empleando la Formula de Manning. (2)

$$V = 1/n r^{2/3} s^{1/2}$$

Formula No. 13



En donde:

V: Velocidad media de la corriente (m/s)

n: Coeficiente de rugosidad que depende de la naturaleza y condiciones particulares del cauce

r: Radio hidráulico  $m^2$  ( $r = A/P$ )

A: Área de la sección transversal de la corriente ( $m^2$ ).

P: Perímetro mojado en m (perímetro de la sección transversal en contacto con el agua).

Además de esta fórmula de continuidad se tiene que

$$Q = VA$$

Formula No. 14

En dónde.

v: Velocidad media de la corriente (m/s)

A: Área hidráulica. ( $m^2$ )

#### 4.1.4.4.5 Método secciones de control.

Una sección de control de una corriente se define como aquella en la que existe una relación única entre el tirante y el gasto. De los muchos tipos de secciones de control que se pueden usar para aforar una corriente, los más comunes son los que producen un tirante crítico y los vertederos. (2) Se forma un tirante crítico elevando el fondo del cauce, estrechándolo o con una combinación de las dos técnicas. Cuando se utiliza la primera sección de control, el gasto se calcula usando la fórmula de vertederos de pared gruesa.

$$Q = 2/3 BH (2/3 gH)^{0.5} = 1.7 BH^{3/2}$$

Formula No. 15

En dónde.

B: Es el ancho del cauce en m.

g: Es la aceleración de la gravedad en  $m/s^2$ .

H: Es la carga sobre el vertedor en m

Q: Es el gasto en  $m^3/s$ .

Para que el dispositivo tenga un buen funcionamiento, se recomienda que  $3 < L/H < 4$ , y  $\alpha < 0.8 H$ . Otra manera de provocar la formación de un tirante crítico es cuando la topografía permite disponer de una caída libre; en este caso el gasto se calcula con el tirante medio justo en la caída y:

$$Q = 1.65 By (gy)^{0.5}$$

Formula No. 16

En donde.

y: Esta en m

g: Esta en  $m/s^2$

B: En m

Q: En  $m^3/s$

Los vertederos de pared delgada recomendables para realizar aforos son el triangular con ángulo de  $90^\circ$  para gastos pequeños (de 0 a 100 l /s) y el rectangular para gastos mayores (de 100 a 1000 L/s) figura 8. Si se usa un vertedero rectangular con las dimensiones especificadas en la figura 8.a, el gasto se calcula como:

$$Q = 1.9 L H^{3/2}$$

Formula No. 17

Con un vertedero triangular como el de la [Figura 8 .b](#), el gasto es:

$$Q = 1.49 H^{2.48}$$

Formula No. 18

En las [formulas 17 y 18](#), H es la carga sobre la cresta del vertedor en m, medida a una distancia de cuando menos 4H aguas arriba de la cresta; L es la longitud de la cresta en metros en la [fórmula 17](#) y Q es el gasto en m<sup>3</sup>/s. El método de las secciones de control es el más preciso de todos para el aforo, pero presenta algunos inconvenientes.

- a. Es relativamente costoso y en general, sólo se puede usar cuando los gastos no son muy altos.
- b. En el caso de los estrechamientos se restringe el transporte de objetos arrastrados por la corriente y la sección puede obstruirse.
- c. Generan un remanso aguas arriba de la sección. Por ello, este método es adecuado en ríos pequeños, cauces artificiales (como por ejemplo canales de riego) o cuencas experimentales. (2)

#### 4.1.4.5. Establecimiento de estaciones hidrométricas.

Una estación hidrométrica sirve para el establecimiento de reglas limnimétricas o de un limnígrafo en una sección del río. Se debe considerar los siguientes cuidados para el establecimiento de estos puestos.

- a. Localización en un trecho rectilíneo de la corriente de agua, el más estable posible.
- b. Velocidades en las secciones regularmente distribuidas y no muy reducidas.
- c. Localización de obras existentes fuera de la zona de ubicación de la estación hidrométrica.
- d. Responsabilizar de los cuidados de la lectura de las reglas limnimétricas o el cambio del papel del limnígrafo a personas de confianza.
- e. Controlar la exactitud de la curva de calibración y los trabajos del operador. (16)

Por otra parte se pueden considerar otros aspectos como los siguientes, para el establecimiento de las estaciones hidrométricas.

- a. Accesibilidad. La estación debe ser accesible en cualquier tiempo y bajo cualquier condición, especialmente durante avenidas.
- b. Suficiencia. La estación debe ser capaz de cubrir todo el rango de gastos que puedan ocurrir. El nivel mínimo de la zanja o tubería en el caso de los limnígrafos y de la regla en el de los limnímetros, debe estar por debajo de la elevación correspondiente al gasto mínimo posible y la posición máxima del flotador o de la regla debe quedar arriba de la elevación correspondiente al gasto máximo posible.
- c. Estabilidad, La sección transversal del río donde se instale la estación debe estar en un tramo recto, lo más estable, de manera que las variaciones que tenga la curva elevaciones-gastos sean razonablemente pequeñas.
- d. Permanencia, La estación debe estar situada de tal manera que nunca sea destruida por una avenida. Una de las características más deseables de un registro es que sea continuo y que esté formado en un mismo sitio. Además, no debe estar afectado por tomas o desvíos, por lo que la estación debe situarse, en lo posible, aguas arriba de ellos. Sin embargo debe considerarse también que deben de instalarse en un punto aguas abajo donde se incluyan todos los afluentes de la cuenca o microcuenca, según sea el caso. (2)



#### 4.1.4.6. Curva de calibración de caudales.

Una vez que la sección de control para medición de caudales ha sido escogida, se puede instalar en este sitio una regla limnimétrica o un limnígrafo. La finalidad de la regla limnimétrica es la de relacionar el nivel del agua en un río con su caudal. El limnígrafo es un aparato que mide la variación continua en el tiempo del nivel de agua en una sección de una corriente. Dicha sección se debe localizar en un trecho de la corriente relativamente estable, rectilíneo y de fácil acceso. De esta manera se mide, utilizando el molinete, los caudales en el río para varios niveles de agua. Anotando el caudal correspondiente a un nivel de agua, se puede construir una curva de calibración, que relaciona el nivel de agua en un determinado momento de la sección con su caudal respectivo (16). Es posible obtener la relación escala-gasto de una sección transversal de una corriente cuando se tenga un canal con flujo uniforme o que no exista el efecto de remanso, para obtener la relación se debe seleccionar un tramo relativamente recto para realizar una serie de aforos, mediante un dispositivo de medición como el molinete.

Es importante mencionar que entre más aforos se hagan, es más confiable el comportamiento que presenta la relación escala gasto, pero no es solamente la cantidad de datos ya que la información recolectada se analiza con procedimientos que dependen de la calidad de los datos obtenidos. Los métodos de análisis que se aplican en cada caso particular dependen de la calidad de la información disponible (4). En forma general una buena información es cuando existen registros suficientemente confiables, con los cuales es posible conformar series históricas que cumplen con todos los requisitos que exigen el análisis estadístico de frecuencias y la aplicación de la teoría de las probabilidades. En este caso, los estadísticos obtenidos representan una buena base para la aplicación de modelos matemáticos complejos (19). Un aspecto importante a mencionar es que cuando cambian las condiciones hidráulicas del canal del cual están derivando, dan lugar a la variación de las curvas establecidas, razón por la cual es necesario establecer una secuencia de aforos para conocer cuál es el grado de modificación de la curva utilizada, la secuencia de aforos debe realizarse por lo menos una vez al año. (5). La curva de calibración normalmente debería estar representada por una fórmula o modelo matemático potencial, fórmula 19.

$$Q = ah^n \quad \text{Formula No. 19}$$

En donde:

Q: Caudal, m<sup>3</sup>/s

h: Lectura de mira, en m, (Limnímetro).

a y n: Constantes para cada sección. ("a" pendiente de la recta y "n" intersección en Y)

Sin embargo, debido al hecho de que el cero de la regla limnimétrica 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 fórmula:

$$Q = a(h \pm b)^n \quad \text{Formula No. 20}$$

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:

$$\text{Log } Q = \text{log } a + n \text{ log } (h \pm b) \quad \text{Formula No. 21}$$

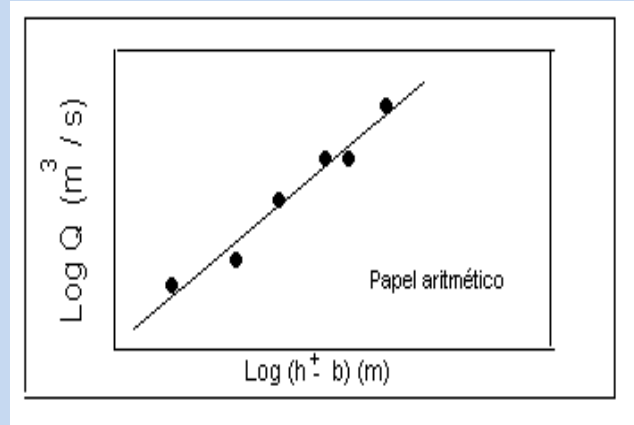


Figura 4. Curva de calibración de caudales líquidos en una estación hidrométrica, valores logarítmicos sobre papel aritmético, Fuente Hidrología en la Ingeniería (1999)

Variando el valor de  $b$  se hallan valores respectivos de  $a$  y  $n$  de la fórmula anterior. Adicionalmente se encuentra el respectivo coeficiente de correlación resultante del método de mínimos cuadrados para los datos históricos de nivel  $h$  y caudal  $Q$  en relación con la fórmula hallada. El valor de “ $b$ ” que maximice el valor del coeficiente de correlación se define como el que ajusta mejor la curva de la calibración resultante, y sus correspondientes valores de “ $a$ ” y “ $n$ ” son los definidos para la [fórmula No 20](#). Una vez obtenida la fórmula  $Q = a (h \pm b)^n$ , la curva de calibración se presenta de la manera mostrada en la [figura No 5](#). (16)

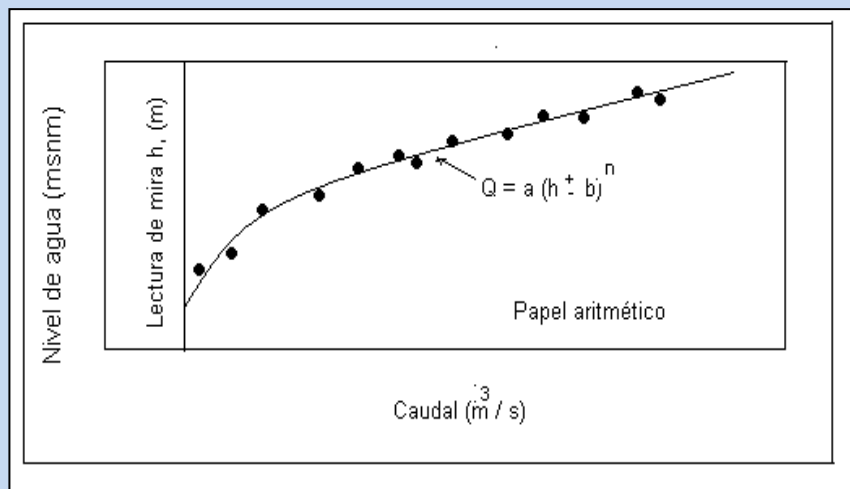


Figura 5 Curva de calibración de caudales líquidos en una estación hidrométrica, utilizando valores aritméticos sobre papel aritmético, Fuente Hidrología en la Ingeniería (1999).

#### 4.1.4.6.1 Métodos para determinar $b$ o $H_0$ .

La relación que existe entre el nivel y el caudal, en condiciones estables está dada por la ecuación  $Q = a(H - H_0)^b$ , que es igual a decir  $Q = a(h \pm b)^n$ , que es el modelo que ya conocemos, en donde el término  $H_0$ , que es igual a “ $b$ ”, se define como el nivel del río o corriente en el cual se tiene un caudal igual a 0, es la única variable que no es conocida y su determinación posee algunas dificultades. Este valor puede ser negativo o positivo de acuerdo a si el cero de la mira o

limnómetro se encuentra por encima o por debajo del lecho del río. Algunos de los métodos más conocidos para la determinación del  $H_0$  son. **(1)**

### A. Método Logarítmico.

Se grafica en escala logarítmica la relación Nivel-Caudal establecida previamente con los aforos líquidos que se tienen. Al graficar dicha relación se está asumiendo inicialmente que el  $H_0$  es igual a cero en la ecuación  $Q=a*(H-H_0)^b$ . Si en este primer tanteo la gráfica es una línea recta, el  $H_0$  efectivamente es 0, pero si el resultado es una curva se debe seguir probando con diferentes valores de  $H_0$  hasta que la gráfica sea una línea recta. El primer valor de  $H_0$ , que se asuma puede extraerse analizando perfiles transversales de la sección o analizando los niveles horarios o asumiendo el valor del  $H_0$ , del método de Johnson en cuyo caso se está utilizando el método logarítmico para validar el dato calculado por Johnson. Cuando se grafica la relación nivel-caudal con  $H_0 = 0$  y el resultado es una curva con concavidad hacia arriba el  $H_0$ , es positivo y si es hacia abajo es negativo, y conociendo ya el signo del  $H_0$ , por error y tanteo se halla su valor.

### B. Método de RUNNIG.

Es un método para hallar el  $H_0$ , gráficamente. Se plotean los valores de la relación nivel-caudal en escala aritmética con su respectiva curva. Tres puntos A, B y C son seleccionados de tal manera que sus caudales estén en progresión geométrica.  $Q_A/Q_B = Q_B/Q_A$ . En los puntos A y B se trazan líneas verticales y después líneas horizontales hacia B y C para conseguir los puntos de intersección de verticales D y E. Se dibujan dos líneas rectas ED y BA interceptadas en la F. La ordenada es el valor requerido de  $H_0$ , nivel que corresponde a un caudal cero. Este método asume que la parte más baja de la curva nivel-caudal es una parábola.

### C. Método de JOHNSON.

Consiste en extraer de la gráfica de Q - H, dibujada en escala aritmética tres valores de caudales  $Q_1$ ,  $Q_2$  y  $Q_3$  tal que,  $Q_1/Q_2 = Q_2/Q_3$ , extrayendo de la curva los correspondientes valores de niveles  $H_1$ ,  $H_2$  y  $H_3$ .

De la ecuación:  $(H_1-H_0) / (H_2-H_0) = (H_2-H_0) / (H_3-H_0)$

Se despeja  $H_0$ ,  $H_0 = ((H_1*H_3) - H_2^2) / ((H_1 + H_3) - 2H_2)$

## 4.1.4.7. Ríos efluentes e influentes.

### 4.1.4.7.1. Ríos efluentes.

Son grandes ríos que reciben descargas de aguas subterráneas, es decir, el flujo se incrementa aguas abajo, aún y cuando ningún tributario entra, es cuando el acuífero le da una parte de agua al río o el río gana agua. En este caso el nivel freático se inclina hacia el cauce del río, de modo que el gradiente hidráulico es hacia el río, [figura 6.a.\)](#)

#### 4.1.4.7.2. Ríos influentes.

En las partes altas de las cuencas hidrográficas, los ríos se alimentan de flujo superficial e ínter flujo. A medida que disminuye la lluvia, el río desciende su nivel. Esto ocasiona que la infiltración decrezca y que el nivel freático sea más profundo. Si el nivel del río se encuentra a mayor altura que el nivel freático, el agua puede drenar del río hacia el suelo, es decir, el río estará perdiendo agua por infiltración hacia el acuífero, figura 6.b. Un río que normalmente es efluente durante recesiones de flujo base puede convertirse en influente durante inundaciones. Si el nivel del agua en el canal es mayor que la elevación local del nivel freático, se invierte el gradiente hidráulico en el acuífero vecino. El agua fluye del río hacia el suelo, cuando el nivel baja, el gradiente hidráulico se invierte de nuevo y el río se encontrará una vez ganando agua (11). Según Linslye (15) los ríos que interceptan la capa freática y reciben aguas subterráneas se llaman ríos o corrientes efluentes, por el contrario a los ríos que infiltran o aportan cierta cantidad de agua hacia la capa freática se les llama corrientes influentes.

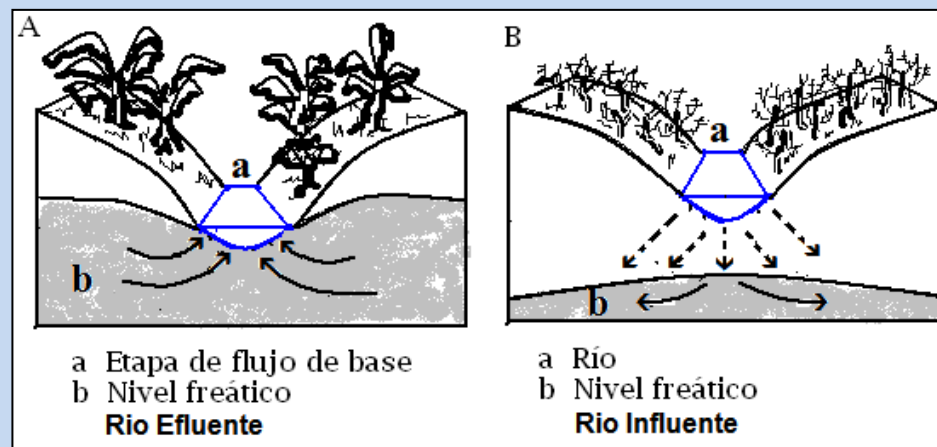


Figura 6. Secciones Transversales de Ríos A. Efluente y B Influyente  
Fuente Hidrogeología Práctica (2002).

#### 4.1.4.8. Relación de agua superficial y agua subterránea.

Una cuenca hidrológica es una zona de la superficie terrestre en donde (si fuera impermeable) las gotas de lluvia (escurrimiento) que caen sobre ella tienden a ser drenadas por el sistema de corrientes hacia un mismo punto de salida. Esta definición se refiere a una cuenca superficial; asociada a cada una de éstas existe también una cuenca subterránea, cuya forma en planta es semejante a la superficial. De ahí la aclaración de que la definición es válida si la superficie fuera impermeable. Desde el punto de vista de sus salidas, existen dos tipos de cuencas:

##### 4.1.4.8.1. Cuencas endorreicas.

El punto de salida está dentro de los límites de la cuenca y generalmente es un lago.

##### 4.1.4.8.2. Cuencas exorreicas.

El punto de salida se encuentra en los límites de la cuenca y está en otra corriente o el mar. Es importante mencionar que el escurrimiento es el agua proveniente de la precipitación que circula sobre o bajo la superficie terrestre y que llega a una corriente para finalmente ser

drenada hasta la salida de la cuenca como se acaba de mencionar. El agua proveniente de la precipitación que llega hasta la superficie terrestre una vez que una parte ha sido interceptada y evaporada sigue diversos caminos hasta llegar a la salida de la cuenca. Conviene dividir estos caminos en tres clases: escurrimiento superficial, subsuperficial y subterráneo. Una vez que la precipitación alcanza la superficie del suelo, se infiltra hasta que las capas superiores del mismo se saturan. Posteriormente, se comienzan a llenar las depresiones del terreno y, al mismo tiempo, el agua comienza a escurrir sobre su superficie. Este escurrimiento, llamado flujo en la superficie del terreno, se produce mientras el agua no llegue a cauces bien definidos (es decir, que no desaparecen entre dos tormentas sucesivas, en su trayectoria hacia la corriente más próxima, el agua que fluye sobre el terreno se sigue infiltrando, e incluso se evapora en pequeñas cantidades. (2)

Una vez que llega a un cauce bien definido se convierte de escurrimiento en corriente. El flujo sobre el terreno, junto con el escurrimiento en corrientes, forma el escurrimiento superficial. Una parte del agua de precipitación que se infiltra escurre cerca de la superficie del suelo y más o menos paralelamente a él. A esta parte del escurrimiento se le llama escurrimiento subsuperficial; la otra parte, que se infiltra hasta niveles inferiores al freático, se denomina escurrimiento subterráneo. De los tres tipos de escurrimiento, el superficial es el que llega más rápido hasta la salida de la cuenca. Por ello está relacionado directamente con una tormenta particular y entonces se dice que proviene de la precipitación en exceso o efectiva y que constituye el escurrimiento directo. El escurrimiento subterráneo es el que de manera más lenta llega hasta la salida de la cuenca (puede tardar años en llegar), y en general, difícilmente se le puede relacionar con una tormenta particular, a menos que la cuenca sea demasiado pequeña y su suelo muy permeable. Debido a que se produce bajo el nivel freático, es el único que alimenta a las corrientes cuando no hay lluvias y por eso se dice que forma el escurrimiento base. El escurrimiento subsuperficial puede ser casi tan rápido como el superficial o casi tan lento como el subterráneo, dependiendo de la permeabilidad de los estratos superiores del suelo; por ello es difícil distinguirlo de los otros dos. Cuando es relativamente rápido se le trabaja junto con el escurrimiento superficial y cuando es relativamente lento se le considera parte del subterráneo. La clasificación anterior, aunque ilustrativa, no deja de ser arbitraria. El agua puede comenzar su viaje hasta la corriente como flujo superficial e infiltrarse en el camino, terminando como escurrimiento subsuperficial o subterráneo. A la inversa, el escurrimiento subsuperficial puede emerger a la superficie si en su camino se encuentra con un estrato muy permeable que aflora en una ladera. Lo importante en realidad es la rapidez con que una cuenca responde a una tormenta, pues esto es lo que determina la magnitud de las correspondientes avenidas. (2)

#### **4.1.5. Estructuras de aforo.**

##### **4.1.5.1. Vertederos.**

Es una estructura hidráulica en donde la descarga de un líquido se efectúa por encima de su muro o una placa a superficie libre, este puede presentar diferentes formas según las finalidades que se destine. Así, cuando la descarga se efectúa sobre una placa con perfil de cualquier forma, pero con arista aguda, el vertedor se llama de pared delgada; por el contrario, cuando el contacto entre la pared y la lámina vertiente es más bien toda una superficie, el vertedor es de pared gruesa. Ambos tipos pueden utilizarse como dispositivos de aforo en laboratorio o en canales de pequeñas dimensiones, pero el segundo puede emplearse como obra de control o de excedencias en una presa y también de aforo en canales grandes. Los

vertederos también pueden ser de diferente forma geométrica, pero los más comunes son los triangulares y rectangulares. (20) Las partes de un vertedero son:

- A. Cresta del vertedor. Es el borde o superficie sobre la cual se vierte el agua.
- B. Manto, lámina de agua que derrama por encima de la cresta
- C. Carga (h). Es la altura del agua que produce el vertedor. (Ver figura 7).

Para realizar el aforo con vertederos es preciso cumplir con las siguientes condiciones:

- A. La carga (h) del caudal debe medirse en una zona de régimen tranquilo, colocando la escala de medición a una distancia de cuatro veces la carga o sea (4h), agua arriba de las crestas del vertedor.
- B. La carga mínima para tener lecturas precisas es de 0.06 m, se recomienda que la corriente llegue al vertedor sin velocidad, como máximo 0.4 m/s, en caso se exceda este valor debe de realizarse los ajustes necesarios para estar dentro de este valor.
- C. La profundidad de la pantalla o cara debe ser tres veces la carga máxima (3h) sobre el vertedor. (3)

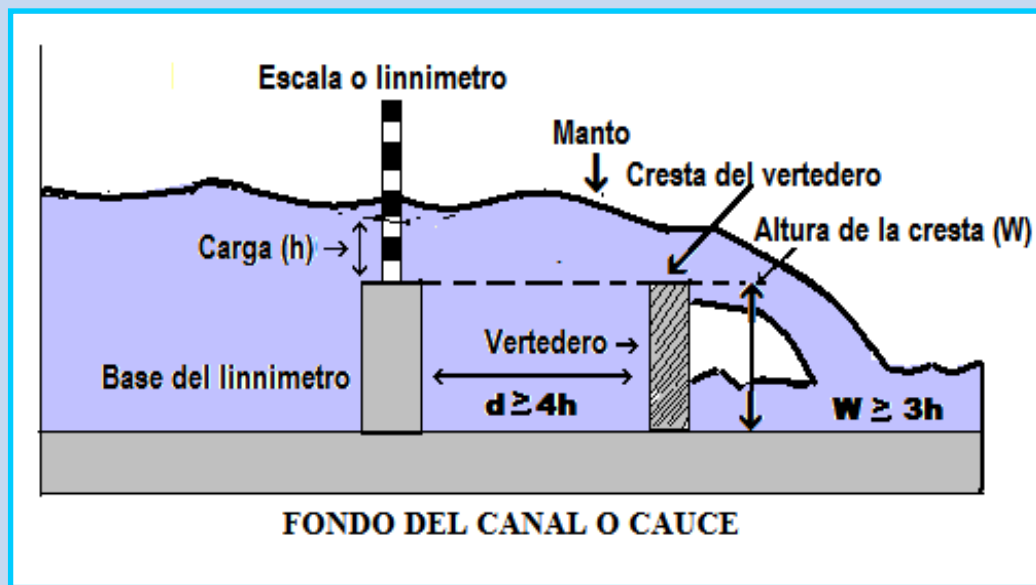


Figura 7. Vista lateral de las partes de un vertedero.  
Fuente Comisión del agua México

Según los perfiles de las formas usuales de vertederos de pared delgada se puede representar por la formula general:

$$x = f(y) \quad \text{Formula No 22}$$

Formula general del gasto para un vertedero de pared delgada, la cual es posible integrar si se conoce la forma del vertedor. (20)

$$Q = 2 (2g)^{1/2} \mu \int_0^n x (h-y) dy \quad \text{Formula No. 23}$$

#### 4.1.5.1.1. Vertedero rectangular.

Para esta forma de vertedero [figura 8.a](#), la fórmula es del tipo  $x = b/2$  donde  $b$  es la longitud de la cresta, la fórmula es.

$$Q = - \mu (g)^{1/2} b \int_0^h x (h-y) (-dy) \quad \text{Formula No. 24}$$

Al efectuar la integración queda.

$$Q = - 2/3 \mu (2g)^{1/2} b [(h-y)^{2/3}]^h_0 \quad \text{Formula No.25}$$

#### 4.1.5.1.2 Vertedero triangular.

Cuando el vertedero es de forma triangular (ver [Figura 8.b](#)), simétrica respecto del eje vertical y con ángulo en el vértice  $\theta$  el valor de  $x$  es.

$$x = y \tan \theta/2 \quad \text{Formula No. 26}$$

Y la fórmula del gasto es.

$$Q = 2 (2g)^{1/2} \mu \tan (\theta/2) \int_0^h (h-y)^{1/2} y dy \quad \text{Formula No 27}$$

Al simplificarse las ecuaciones, las formulas quedan como se presentan en la [figura 8](#).

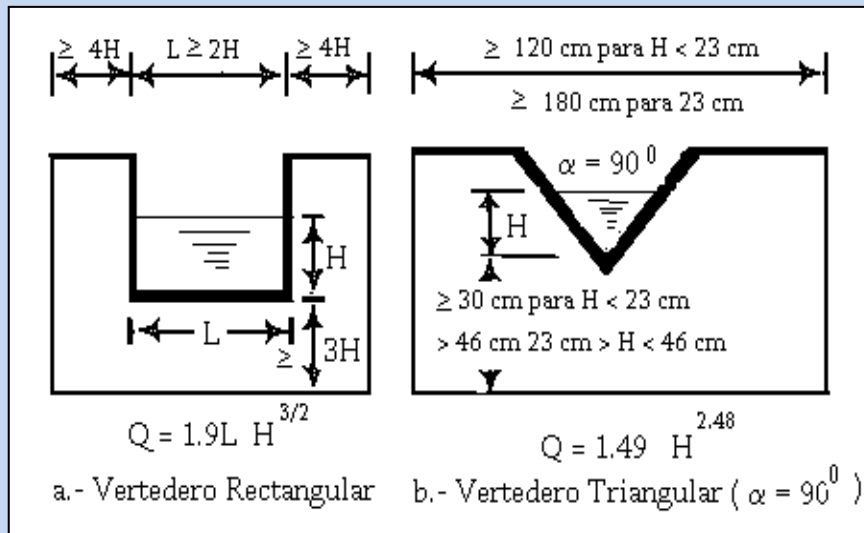


Figura. 8 Vertederos de Pared Delgada.

a) Vertedero tipo rectangular; b) Vertedero tipo triangular.

Fuente: Fundamentos de Hidrología de Superficie (2001).

#### 4.1.5.2 Medidor Parshall.

El medidor Parshall es una estructura de concreto ideada por Ralph Parshall en 1920, el cual es utilizado para aforar canales y pequeños ríos, se recomienda para canales de riego de poca pendiente, en drenes, donde no es conveniente instalar estructuras que alteren el régimen del escurrimiento. (20) En esta sección de control se forma un tirante crítico elevando el fondo del cauce, estrechándolo en la garganta. El caudal o gasto se calcula usando la fórmula de vertederos de pared gruesa, [figura 9](#).



$$Q = 1.7 BH^{3/2}$$

Formula No 28

Donde:

B: Ancho del cauce en m

H: Es la carga sobre el piso de entrada en m

Q: Caudal o gasto en m<sup>3</sup>/s

El gasto o caudal también se puede determinar a veces por la siguiente expresión.

$$Q = 1.838 [L - 2H/10] H^{3/2}$$

Formula No 29

Donde:

H: Altura de la lámina de agua en m, por encima del piso de entrada a una distancia aproximada de 6 H

L: Ancho del cauce en m

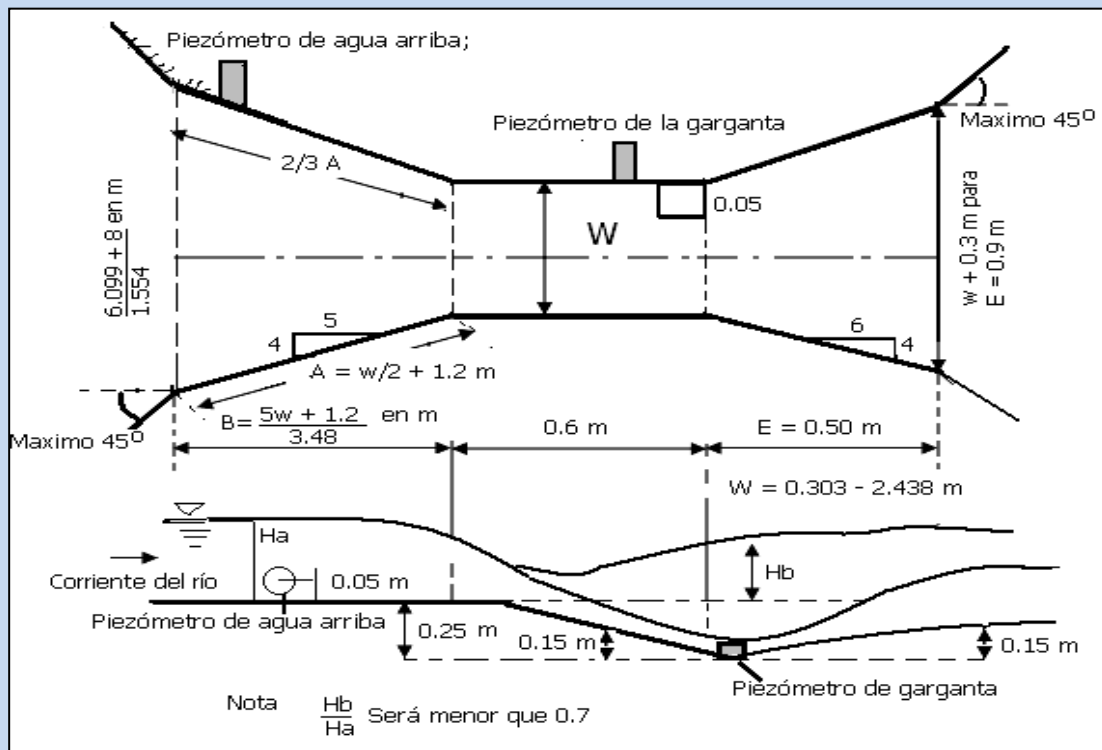
Q: Caudal en m<sup>3</sup>/s

Figura 9 Medidor Tipo Parshall, Fuente Manual de Hidrología 1995

#### 4.1.5.3 Canal rectangular.

Un canal abierto es un conducto en el que el líquido fluye con una superficie sometida a la presión atmosférica. El flujo se origina por la pendiente del canal y de la superficie del líquido. La solución exacta de los problemas de flujo es difícil y depende de datos experimentales que deben cumplir una amplia gama de condiciones. (10) El canal rectangular es un tipo de aforador como los vertederos, se diferencia en que es de pared gruesa, es decir que el contacto de la descarga con la pared y la lámina vertiente es de toda una superficie. El canal rectangular se puede usar



como obra de control o de excedencias en una presa y también de aforos en canales grandes. (20)

#### 4.1.5.4 Resalto hidráulico.

El resalto hidráulico se produce cuando un flujo supercrítico cambia a un flujo subcrítico, en tales casos la elevación de la superficie líquida aumenta súbitamente en la dirección del flujo (10). El flujo supercrítico corresponde a flujos rápidos, cuando se presentan velocidades mayores a la crítica, por aparte los flujos subcríticos son flujos tranquilos con velocidades menores a las críticas; la velocidad crítica es aquella velocidad por debajo de la cual toda turbulencia es amortiguada por la acción de la viscosidad del fluido y está dada para canales abiertos por el número de Froude "F" cuando este sea igual a uno. (20).

#### 4.1.6 Diseño de estructuras de aforo.

Existen dos tipos de vertederos para realizar aforos, estos son de pared delgada y de pared gruesa, se diferencian principalmente en que un vertedero de pared delgada, la descarga del gasto se efectúa sobre una placa con perfil de cualquier forma, pero con una arista aguda, por el contrario, cuando el contacto entre la pared y la lámina vertiente es más bien toda una superficie, el vertedor es de pared gruesa. Las estructuras de aforo presentan diferentes formas, según la finalidad a que se destine, así las formas más comunes de los vertederos son: circular, triangular, rectangular, parabólico y trapezoidal, existen otras formas geométricas que se pueden utilizar para diseñar un vertedero de pared delgada. Para los vertederos de pared gruesa los más utilizados son el canal rectangular y el medidor Parshall. (20) El diseño de las obras combina varias disciplinas, Hidráulica Fluvial, Geotecnia y Estructuras. La primera, suministra la información básica que permite determinar las condiciones de cimentación y la magnitud de las fuerzas que van a actuar sobre las obras que se proyecten. El diseño de las obras apropiadas a cada caso debe hacerse luego de que se conozcan los resultados de los estudios hidráulicos y geomorfológicos del tramo que recibe la influencia de la construcción de dichas obras. Los resultados de los estudios hidráulicos y geomorfológicos presentan pronósticos sobre la evolución futura de la corriente y estimativos sobre magnitudes de los caudales medios, mínimos y de creciente, niveles mínimos, máximos y medios, posibles zonas de inundación, velocidades de flujo, capacidad de transporte de sedimentos, socavación y agradación. Estos aspectos se consideran para obras de gran magnitud, como represas, puentes peatonales, vehiculares, para trenes, también son utilizados para oleoductos, pero en general se deben considerar para realizar cualquier tipo de estructura hidráulica en corrientes naturales. (21). El diseño de una estructura de aforo debe reunir las siguientes condiciones.

- a. Trabajar con tirantes bajos así como altos, preferentemente.
- b. No producir trastornos a causa de sedimentos o malezas.
- c. Económico y de fácil construcción.
- d. El limnómetro o escala se pueda leer sin dificultad.
- e. La estructura debe absorber las avenidas, es decir que puedan aumentar las descargas.
- f. La estructura debe ser bien cimentada para no tener problemas con socavación, agradación, y no producir remansos.

#### 4.1.7. Calibración de estructuras.

Tanto el área de la sección como la velocidad del agua pueden variar con los cambios de altura en el nivel del agua, si hacemos esto en una sección adecuada, esta relación es generalmente fija, circunstancia que podemos aprovechar, una vez conocida esta relación entre nivel del agua, sección transversal y velocidad, se puede obtener y registrar los caudales mediante una escala de alturas, que indica la variación del caudal. Cuando una sección esta calibrada significa que se conoce la variación de la altura del nivel del agua y el caudal, para el caso de medidores y vertederos existen las formulas en función a la altura y en los casos de los ríos y canales se tienen las curvas de calibración llamadas; (altura - caudal). Sin embargo, al cambiar las condiciones hidráulicas del canal del cual están derivando, dan lugar a la variación de las curvas establecidas, razón por la cual es necesario establecer una secuencia de aforos para conocer cuál es el grado de modificación de la curva utilizada. Es necesario determinar cada año el comportamiento hidráulico de las estructuras instaladas, es conveniente efectuar aforos para los gastos mínimos, medios y máximos que pueda medir la estructura y calcular la discrepancia con los aforos; las curvas así obtenidas no deben ser mayores a un 5%. Esta acción debe realizarse cada año, realizándose la calibración de las estaciones de medición, estableciendo luego una serie de aforos con diferentes caudales y a partir de estos las correspondientes curvas de calibración y tablas de descargas. (5)

#### **4.1.8 Curvas de calibración relación H – Q.**

Con la realización de varios aforos en una sección para distintos niveles de agua, se puede establecer una relación H – Q, relación altura -caudal: Para ello la sección debe ser constante, no tener erosiones o sedimentaciones, no estar afectada por remansos y un régimen del río establecido. La importancia de contar con la curva H – Q es que con el dato de altura se obtiene el caudal, facilitando el cálculo de un hidrógrama continuo midiendo sistemáticamente las alturas. Esta relación directa, biunívoca, entre altura y caudal, puede verse afectada por 3 situaciones, y en ese caso se debe realizar trabajos de corrección para la adecuada información de caudal. Las correcciones de la curva H – Q pueden ser: a) Variación de la sección. b) Cambio del régimen del río, y c) Efecto de remanso. (22)

## 4.2- MARCO REFERENCIAL.

### 4.2.1 Ubicación y localización geográfica del área de estudio.

La microcuenca hidrográfica del Río Cantil, está ubicada en el municipio de Escuintla, aldea el Rodeo, al noroeste de la cabecera del departamento del mismo nombre. (Ver mapa Figura No 12) La microcuenca tiene un área de 9.73 Km<sup>2</sup>, está comprendida entre los paralelos 14° 21' 17" de latitud norte y los meridianos 90° 44' 55" y 90° 50' 7" de longitud oeste. Se encuentra entre las coordenadas de 1,588,350 m a 1,594,300 m Norte y de 732,500 m a 735,000 m Oeste, en el sistema UTM (Universal Transverse Mercator) de la hoja Alotenango 2059III, escala 1:50,000, del IGN. Dentro de la microcuenca se encuentra ubicada la unidad docente productiva Sabana Grande, **(23)**

### 4.2.2 Antecedentes de la finca.

La finca Sabana Grande, fue cedida a la Universidad de San Carlos de Guatemala según acuerdo gubernativo de fecha 20 de junio de 1957, emitido por el Órgano del Ministerio de Hacienda y Crédito Público (Actualmente Ministerio de Finanzas Públicas) y paso a formar parte de sus activos el día 11 de Agosto de 1957 mismo año. Actualmente la finca Sabana Grande es administrada por la Facultad de Agronomía. En el acuerdo gubernativo, se dejan implícitos los fines de la donación, los cuales son, prestar apoyo a la Universidad de San Carlos de Guatemala como medio para el desarrollo de sus actividades y dotar a la Facultad de Agronomía de un inmueble para sus prácticas y labores de experimentación. **(17)**

### 4.2.3 Limites, extensión y vías de acceso.

La Finca Sabana Grande con una extensión de 4.77 caballerías 2.1563 Km<sup>2</sup>, limita al Norte, con Aldea El Rodeo y Finca Tropicana; al Sur, Finca Lorena; al Este, Finca Alsacia y al Oeste, Finca Magdalena. Las principales vías de acceso, son la carretera CA-2 que parte de la ciudad de Guatemala, se extiende al sur pasando por los municipios de Villa Nueva, Amatitlán, y Palín, se toma la autopista hasta el Km 55, luego se desvía a la carretera C-4 que conduce a la Antigua Guatemala hasta el Km 62.5. Otra vía de acceso es la que parte de la ciudad de Guatemala, ruta a la Antigua Guatemala (Km 45), luego se toma la carretera que conduce al sur, pasando los municipios de Ciudad Vieja, Alotenango hasta llegar al Rodeo Km 70 **(17)**

### 4.2.4 Relieve y fisiografía.

El relieve en la cuenca es gradualmente ondulado a plano con pendiente que van de 0% al 3%, la elevación promedio es de 770 msnm, con un rango que va desde los 745 a 795 msnm, la finca Sabana Grande se encuentra dentro de la región fisiográfica denominada Pendiente Volcánica Reciente. **(17)**

### 4.2.5 Zonas de vida.

Según el mapa climatológico preliminar de la República de Guatemala, basado en el sistema de clasificación de Thornthwaite; la unidad docente-productiva Finca Sabana Grande presenta un clima cálido sin estación fría bien definida, muy húmedo con estación seca bien definida. La precipitación del año 2000 fue de 2585.3 mm, distribuida en 122 días, la humedad relativa media varía de 66 % a 90% y la temperatura media de Enero a Diciembre del 2000,

posee una variación de 23 °C mínima y de 25 °C máxima **(17)**. Según el mapa de zonas de vida elaborado por J: R de la Cruz; basado en el sistema de clasificación de Holdrige, la finca se encuentra dentro de la zona de vida denominada, bosque muy húmedo sub-tropical cálido (bmh-c). **(7)**

#### 4.2.6 Geología y suelos.

El área de estudio se encuentra dentro de la cadena volcánica, llamada “Cinturón Volcánico Central, por ser la unidad donde se ubican los principales centros eruptivos del cuaternario. La zona constituye una garganta natural de los volcanes Fuego (al oeste) y Agua (al este), formando el valle del río Guacalate donde confluyen las coladas de lava, lahares y abanicos originados de ambos volcanes, y conforman la red de drenaje sub-dendrítica y sub-paralelas del río Guacalate. Localmente la Finca se encuentra en un pie de monte volcánico o zona de ladera del volcán de Fuego. La región está formada por rocas volcánicas terciarias y cuaternarias, las cuales se separan en dos grupos; volcánico terciario, formado de rocas fracturadas constituyendo el basamento del área, y volcánico cuaternario, formado de flujos piroclásticos y lavas, que cubrieron los bloques basculados, y finalmente los aluviones de los ríos Guacalate y el Jute **(23)**. De acuerdo al estudio de suelos a nivel de reconocimiento elaborado por Simmons *et al* los suelos de la finca Sabana Grande pertenecen a la serie Alotenango, caracterizada por suelos profundos, bien drenados, de textura franca entre características. **(18)**.

#### 4.2.7 Hidrografía.

Según el mapa de Cuencas de la República de Guatemala **(13)**, la microcuenca del río Cantil se encuentra ubicada en la parte media de la cuenca del río Guacalate, el cual es tributario principal del río Achíguate que pertenece a la vertiente del pacífico. La parte media de la cuenca del río Achíguate se caracteriza por pendientes suaves no mayores del 10% (típico de la zona de Pie de Monte) pues se encuentra ubicada en una zona de acumulación de agua, la cual ha sido absorbida en la parte alta de la cuenca hidrográfica. El área de la microcuenca río Cantil es de 9.73 Km<sup>2</sup>, distribuido según el cuadro No 1. **(23)**

#### 4.2.8 Uso actual de la tierra.

Cuadro 1. Uso actual de la tierra en la microcuenca río Cantil

Uso o Actividad	Área (km <sup>2</sup> )	Área (Ha)	Área (Mz)	%
Centro Poblados	1.80	180	257.06	18.50
Uso Agrícola				
Caña de azúcar	3.63	363	519.31	37.31
Café	1.05	105	150.06	10.79
Uso ganadero	1.22	122	174.56	12.54
Uso forestal	2.03	203	290.42	20.86
Total	9.73	973	1391.41	100

Fuente: Evaluación y propuesta de manejo y uso sostenible del recurso hídrico de la finca Sabana Grande, EL Rodeo, Escuintla (2,002)

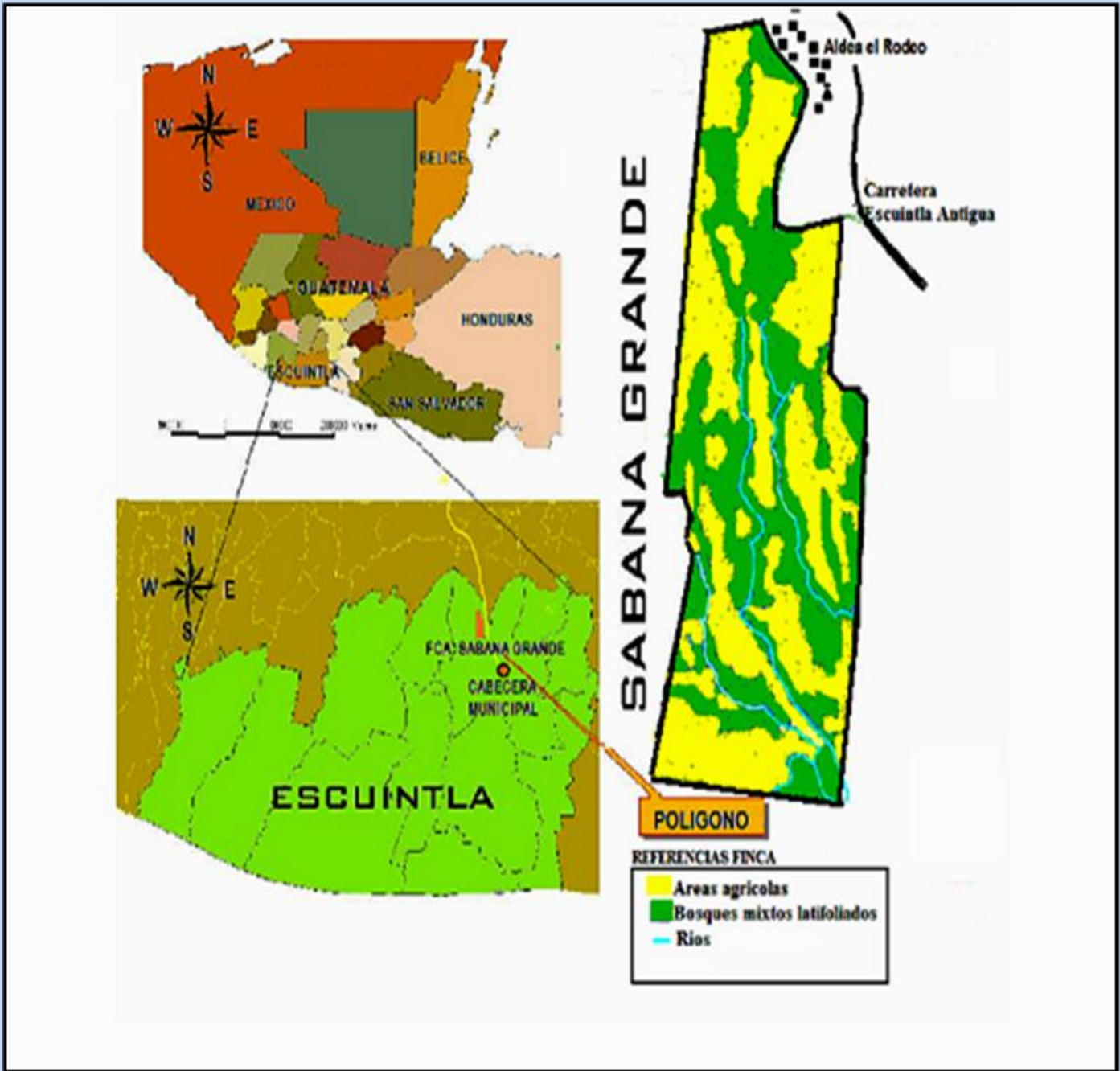


Figura 10. Ubicación de la unidad docente productiva, Finca Sabana Grande.  
Fuente: Levantamiento topográfico con coordenadas totales Unidad de Catastro. Escuintla

## 5.- OBJETIVOS.

### 5.1 General.

Diseñar y construir tres estructuras de aforo para realizar el análisis hidrológico de los ríos Mongoy, Cometa y Cantil, en la unidad docente-productiva, Finca Sabana Grande, el Rodeo, Escuintla.

### 5.2 Específicos.

- 5.2.1 Delimitar y determinar el área de ubicación de las estaciones hidrométricas.
- 5.2.2 Construir una estructura de aforo que se ajuste a las condiciones de ubicación y a las características hidrológicas de los ríos Cantil, Cometa y Mongoy en la finca Sabana Grande.
- 5.2.3 Determinar la curva de calibración de caudales para cada estación hidrométrica.
- 5.2.4 Elaborar la curva de duración de caudales para cada río (Cometa, Mongoy y Cantil).
- 5.2.5 Determinar y validar la funcionalidad de las estructuras de aforo.
- 5.2.6 Determinar el hidrograma para cada río (Cometa, Mongoy y Cantil).
- 5.2.7 Determinar el costo de construcción de cada estructura de aforo.



## 6.- METODOLOGIA.

### 6.1 Ubicación y delimitación del área de construcción de las estaciones.

Para delimitar las áreas donde se construyeron las estaciones hidrométricas, se realizó un recorrido por los cauces de los afluentes más importantes de la microcuenca, y el cauce principal donde se consideraron los siguientes aspectos:

- a. Localización de un trecho rectilíneo de la corriente de agua, el más estable y que tuviera fácil acceso para la toma de datos posteriores.
- b. Que el trecho de la corriente de agua, tuviera velocidades regularmente distribuidas en las secciones y no muy reducidas (no  $<$  a 0.15 m/s ni  $>$  a 2.5 m/s), las velocidades se determinaron con ayuda de un molinete del tipo hélice AOTT, los puntos donde se coló el molinete en el cauce se consideraron en función del ancho del mismo. Además se consideraron registros de aforos anteriores.
- c. Que no hubieran obras cercanas a la zona de ubicación de la estación hidrométrica, ya que alteran el régimen del escurrimiento.
- d. Encontrar un trecho del cauce que no fuera demasiado ancho ( $<$  a 5m), para no tener inconvenientes en la construcción y que el costo no fuera muy elevado.
- e. Establecer las estaciones en la parte final de los afluentes y del cauce principal de la microcuenca aguas abajo.
- f. Con la ayuda de un mapa topográfico, hoja cartográfica de Alotenango, escala 1:5,000 se definió las coordenadas y la altura a la cual se encuentran ubicadas las estaciones. Para tener otra referencia de ubicación se realizó una lectura posicional en cada estructura con GPS (Sistema de Posición Global) por sus siglas en ingles.

### 6.2 Construcción, diseño y asignación de estructuras de aforo.

La metodología clásica de campo, en la medición de caudales de ríos, es por medio de estructuras de aforo. Dado que los diferentes tipos de estructuras de aforos se han diseñado bajo ciertas características para su funcionalidad, se buscó dentro de los cauces dichas características que permitieran la construcción de las mismas. Para construir las diferentes estructuras de aforo, así como la asignación a cada afluente nos basamos en las características y condiciones requeridas por cada una, las cuales se describen a continuación.

#### 6.2.1. Medidor Parshall.

Para instalar el medidor Parshall se consideró las siguientes características y condiciones.

- a. El río debe ser pequeño con caudales menores a los 100 L/S.
- b. El canal o cauce debe tener poca pendiente.
- c. No debe alterarse el régimen de escurrimiento del cauce.
- d. Se consideró las características del suelo para la construcción, principalmente la consistencia y estructura del suelo, para hacer una buena fundición, y que la estructura quedara bien cimentada.
- e. Se consideraron también de forma general, los aspectos para la instalación de una estación hidrométrica
- f. Un factor importante que se consideró fue el costo de la construcción.
- g. La construcción se basó en el diseño de la figura 9, página 24.

### 6.2.2. Vertederos.

Se utilizan en el método de secciones de control, se construyeron los dos tipos de vertederos más comunes (Rectangular y Triangular) en una misma estructura en este caso una presa, se consideraron las siguientes condiciones para su construcción

- a. Que el caudal no fuera menor a 100 L/S ni mayor a 1000 L/S para vertederos del tipo rectangular.
- b. El caudal no debía ser mayor a 100 L/S, para vertederos del tipo triangular.
- c. Se consideró las características del suelo para la construcción, principalmente la consistencia y estructura del suelo, para tener una buena fundición.
- d. De forma general se consideraron los aspectos para la instalación de una estación hidrométrica.
- e. Un aspecto importante que se consideró fue el costo de la construcción.
- f. La construcción de los vertederos se basó en el diseño de la figura 8 página 23.

Los dos vertederos fueron contruidos para un mismo cauce, en una presa que tuviera una altura no menor de 1.75 m desde la fundición hasta la parte superior, el ancho de la presa sería de 1.50 m en la base inferior y de 0.76 m en la base superior con una arista hacia la parte de afuera, que ayude a la corriente a desplazarse sobre la presa al momento que el tirante del río la sobrepase. El largo de la presa quedo en función del ancho del cauce del río donde se instaló la construcción.

### 6.2.3. Canal rectangular.

Es utilizado en el método de secciones de control, para instalar el canal rectangular se consideraron las siguientes características.

- a. En forma general se consideró los aspectos para la instalación de una estación hidrométrica.
- b. Las corrientes pueden ir de menores a 100 L/s a mayores de 1000 L/s.
- c. Como en los casos anteriores se consideró el aspecto económico de la construcción.
- d. Las dimensiones del canal pueden variar, principalmente en función del factor económico, para lo cual se buscó que el canal no tuviera un largo y un ancho mayor a 5 m, la altura del canal no debía sobrepasar los 2.0 m desde la fundición hasta la cresta del canal, el grosor de la paredes no debía ser menor a 0.20 m.
- e. Al igual que en los otros casos, el tipo de suelo fue importante para que las bases de las fundiciones quedarán bien cimentadas.

### 6.2.4. Aspectos generales para el diseño y construcción de estructuras de aforo.

- a. Que trabajen tanto con tirantes bajos así como altos de preferencia.
- b. Que sean económicas y de fácil construcción.
- c. Que el limnómetro o escala se pueda leer sin dificultad.
- d. Que la estructura tenga la capacidad de absorber las avenidas, es decir que puedan aumentar las descargas.
- e. Que la estructura quede bien cimentada para no tener problemas con la socavación y agradación.
- f. Que no produzcan remansos.



#### 6.2.4.1 Materiales utilizados para la construcción de las estructuras.

Reglas de madera rustica, cemento, arena, piedrín, piedra bola de río, varillas de hierro, tablas de madera rusticas, alambre de amarre y clavos.

### 6.3 Determinación de la curva de calibración de caudales.

Para elaborar la curva de calibración de caudales y determinar la formula o ecuación de calibración ( $Q = a(h \pm b)^n$ ), se debe medir una relación de caudal-altura previamente. Los caudales que se utilizaron se determinaron basándose en el método sección velocidad, y la altura se midió con una regla graduada. Según Herrera Ibáñez. 1995, el método más exacto para determinar el caudal, es el volumétrico, que es utilizado principalmente para corrientes pequeñas como, arroyos, riachuelos y nacimientos, no así, cuando se desea aforar ríos, ya que el método requiere establecer un recipiente o deposito con un volumen conocido y determinar el tiempo total de llenado del depósito o recipiente lo cual en un río sería complicado y con un alto costo para ejecutarlo. Por lo anterior en este estudio se tomó como referencia, o comparador el método sección- velocidad, que es uno de los más exactos y utilizados para la obtención de caudales en ríos.

#### 6.3.1 Método sección-velocidad para determinar caudales.

En el método sección-velocidad se debe determinar por separado, la sección transversal del cauce y la velocidad del agua, de tal manera que el caudal esta dado en  $m^3/s$ .

##### 6.3.1.1 Determinación del área.

- a. Se midió el ancho del río con ayuda de una cintra métrica de 50 m.
- b. En el caso del río Cometa y Mongoy la medición se realizó sobre las estructuras, pues presentan condiciones homogéneas de superficie para realizar fácilmente las mediciones.
- c. Se dividió el ancho de cauce en tramos o secciones de acuerdo a la tabla No 1, página 14, para tener los puntos de aforo.
- d. Para la medición del tirante de los ríos o la profundidad se utilizó una regla de madera graduada de 1 m, la medición de realizo en cada tramo en que se dividió el cauce del río.
- e. Se obtuvo la profundidad media del área parcial.
- f. Se obtuvo el ancho del área parcial.
- g. Se multiplico la profundidad media de las secciones por el ancho de las secciones para obtener el área parcial en  $m^2$ .

##### 6.3.1.2 Determinación de la velocidad.

La velocidad se obtuvo con el método de un punto o 6/10 con ayuda del molinete tipo hélice AOTT. La velocidad calculada se determinó utilizando las formula  $V = 0.023 + 0.1305N$  o bien  $V = 0.050 + 0.1028N$  según las revoluciones del molinete, se utilizó 0.97 como la constante de calibración del molinete, en ocasiones se utilizó el flotador, principalmente cuando se presentaban crecientes donde no se podía utilizar el molinete. Con esta información el caudal se calculó de la siguiente forma:  $Q = \text{Área total } (m^2) \times \text{Velocidad media } (m/s)$ , y se obtiene que el  $Q = m^3/\text{segundo}$ .

### 6.3.2 Determinación de la curva de calibración de caudales para la estación Rio Cometa, canal rectangular.

La curva de calibración está representada por una fórmula o ecuación del tipo  $Q=a.h^n$ , que es un modelo potencial ( $Y=m.x^n$  modelo general de la  $f(x)$  potencial), sin embargo debido a que el cero de la regla limnimétrica no resulta siempre exactamente donde el caudal o descarga es igual a cero, la curva de calibración se ajusta con los datos de campo, para obtener una fórmula del tipo,  $Q= a (h\pm b)^n$  donde  $Q$  es el caudal,  $a$ ,  $h$ ,  $b$  y  $n$  son constantes, la constante  $b$  surge debido a que el cero de la regla limnimétrica no resulta siempre en el punto exacto donde el caudal es cero, el valor de esta constante es el valor del nivel del cero de la mira sumado o restado al nivel del río para una descarga igual a cero,  $h$  altura medida con la regla graduada,  $a$  es el coeficiente de intercepción, y  $n$  es el valor de la pendiente. Para determinar los parámetros  $a$  y  $n$  existen tres métodos; Método analítico, Método gráfico, y a través de programas o software, en este caso utilizando el programa Microsoft office, con la hoja de cálculo Excel. En el caso del método gráfico, se trabajó en papel aritmético (hojas milimetradas) y papel logarítmico, en ambos casos se utilizaron datos logarítmicos y datos aritméticos. Para el caso del parámetro  $b$  existen tres métodos: El método Logarítmico, método de Running, y el método de Johnson.

#### 6.3.2.1 Determinación de los parámetros “a” y “n” Método analítico.

El método analítico se basa en el método de mínimos cuadrados, para determinar los parámetros “a” y “n”, en donde “a” es la ordenada al origen o punto donde la recta intercepta o corta el eje “Y” y  $n$  pendiente de la gráfica.

- El método de mínimos cuadrados, consiste en hacer mínimo la suma de los cuadrados de los datos actuales de la muestra para hacer el ajuste de la distribución. El modelo general que representa el caudal es un modelo potencial  $Q = a (h\pm b)^n$  por consiguiente se aplica logaritmo a la ecuación, con el fin de obtener un modelo lineal ( $Y= A*X + B$ ; modelo de la  $f(x)$  lineal; en donde  $A$  es la pendiente y  $B$  el coeficiente de intercepción) y aplicar el método de mínimos cuadrados, para determinar los valores de “a” y “n”. La metodología es la siguiente.
- Se ordenan los valores de menor a mayor.
- Los valores se pasaron de aritméticos a logarítmicos, pueden ser “Ln” o “Log”.
- Se obtuvo el valor al cuadrado de la altura y del caudal.
- Se obtuvo el producto de los valores logarítmicos de la altura y el caudal.
- Se realizó el cálculo de los estimadores de regresión utilizando datos logarítmicos naturales (Ln), y de base 10 (Log), el valor de “n” se obtiene directamente, al valor de “a” se le debe aplicar antilogaritmo para obtener el valor aritmético del parámetro.
- Se realizó el análisis de varianza, para obtener el coeficiente de determinación y el coeficiente de correlación.

#### 6.3.2.2 Método Hoja de cálculo Excel de Microsoft office para determinar “a” y “n”.

En este método se utilizarán datos logarítmicos de base “e” o natural, se abrevia **Ln** y datos logarítmicos de base 10, y se abrevia **Log**, esto con el fin de determinar si existe diferencia entre ambos datos.

- Se abrió Microsoft Excel, se seleccionó el comando **Análisis de datos** ubicado en el menú de **herramientas**. (Si esta opción no se encuentra disponible debe cargarse el programa de **complementos** que también se encuentra en el menú **herramientas**, al desplegarse la

ventana del programa de **complementos**, se seleccionó **herramientas para análisis VBA de datos**, al aparecer en el menú de herramientas el comando análisis de datos, se ha verificado que la opción ha sido instalada y se puede realizar los cálculos correspondientes). Al tener la base de datos en la hoja de Excel, se aplicó logaritmos naturales y de base 10 a dichos datos, se pasaron de aritméticos a logarítmicos, esto con el fin de poder realizar el análisis de regresión lineal, pues EXCEL trabaja con mínimos cuadrados, en este caso no hay necesidad de ordenarlos.

- b. Con los datos modificados a logaritmos Ln y/o Log, se procedió a realizar el análisis de regresión. Se desplegó el menú **herramienta**, se seleccionó la opción o comando **análisis de datos**, al desplegarse la ventana de análisis de datos se seleccionó la **función regresión**, en la ventana cuadro de regresión, aparecen varios apartados, en el apartado entrada se colocaron las celdas correspondientes a cada variable, la altura o variable X en el rango de entradas X y el caudal o variable Y en el rango de entradas Y. En el apartado de opciones de salida se seleccionó rango de salida en la misma hoja, seleccionando las celdas donde se desea ver los resultados (cuadro de Varianza) y la gráfica. Finalmente en el apartado de residuales se seleccionó curva de regresión ajustada. Al valor obtenido del coeficiente de intercepción ò “**b<sub>0</sub>**” que corresponde al parámetro “**a**” se le aplicó antilogaritmo para obtener el valor aritmético. Al valor de la variable **x** ò “**b<sub>1</sub>**”, que corresponde al parámetro “**n**” es el valor de la pendiente.
- c. Al aparecer los resultados y la gráfica de regresión ajustada, se posiciono sobre la gráfica y se dio un clic izquierdo, se seleccionó el menú **gráfico**, al desplegarse la ventana, se seleccionó el comando u opción agregar **línea de tendencia**, al abrirse esta ventana, se seleccionó el comando **tipo**, en el cual se seleccionó la tendencia lineal.
- d. En el comando **opción**, se seleccionó los apartados, **presentar ecuación y R<sup>2</sup> (coeficiente de determinación)** en el gráfico. La ecuación que se obtiene en la gráfica es **la ecuación de la recta  $Y = A \cdot X + B$** , al valor de **B** se le aplico antilogaritmo, para obtener el valor aritmético, **A** es la pendiente y **X** la altura o tirante del río.

#### 6.3.2.3 Método Gráfico para determinar “a” y “n”.

En las gráficas los parámetros “a” y “n” se identifican como “b<sub>0</sub>” y “b<sub>1</sub>” respectivamente.

##### a. Método Grafico, Escala Logarítmica, datos logarítmicos.

- Se ploteó en una hoja de papel logarítmico-logarítmico los datos de la relación nivel-caudal. Se usaron valores logarítmicos para realizar esta gráfica.
- El caudal se colocó en el eje de las ordenas “Y”, y la altura en el eje de las abscisas “X”.
- Después de plotear los puntos, se trazó la línea de mejor ajuste,
- Se determinó el punto de intersección de los ejes “Y” y “X”.
- Se determinó la pendiente de la gráfica.

##### b. Método Gráfico, Escala Logarítmica, datos aritméticos.

- Se ploteó en una hoja de papel logarítmico-logarítmico los datos de la relación nivel-caudal. Se usaron valores aritméticos para realizar esta gráfica.
- El caudal va en el eje de las ordenas “Y”, y la altura en el eje de las abscisas “X”.
- Después de plotear los puntos, se trazó la línea de mejor ajuste.
- Se determinó el punto de intersección del eje “Y” y “X”.
- Se determinó la pendiente de la gráfica.

### c. Método Grafico, Escala aritmética, datos logarítmicos.

- Se ploteó en una hoja de papel milimetrado los datos de la relación nivel-caudal. Se usaron valores logarítmicos para realizar la gráfica.
- El caudal va en el eje de las ordenas “Y”, y la altura en el eje de las abscisas “X”.
- Después de plotear los puntos, se traza la línea de mejor ajuste.
- Se determinó el punto de intersección del eje “Y” y “X”.
- Se determinó la pendiente de la gráfica, como en el inciso a

### d. Método Grafico, Escala aritmética, datos aritméticos.

- Plotear en una hoja de papel milimetrado los datos de la relación nivel- caudal. Se usaron valores aritméticos para realizar la gráfica.
- El tirante o altura va en el eje de las ordenas (Y), y el caudal en el eje de las abscisas(X).
- Después de plotear los puntos, se traza la línea de mejor ajuste.
- Se determinó el punto de intersección del eje “Y” y “X”.
- Se determinó la pendiente de la gráfica,

#### 6.3.2.4 Determinación de “b”. (Valor de ajuste)

La relación que existe entre el nivel y el caudal, en condiciones estables está dada por la ecuación  $Q = a (h \pm b)^n$  en donde el término “b”, se define como el nivel del río o corriente en el cual se tiene un caudal igual a 0, es la única variable que no es conocida y su determinación posee algunas dificultades. Este valor puede ser negativo o positivo de acuerdo a si el cero de la mira o limnómetro se encuentra por encima o por debajo del lecho del río. Para el caso del río Cometa, donde se encuentra el canal rectangular, la constante “b” se determinó utilizando los tres métodos, Logarítmico, de Running, Johnson, como ejemplo de estos. Para el resto de estructuras se utilizó únicamente el método logarítmico.

##### 6.3.2.4.1 Método Logarítmico.

- Se hizo la conversión de datos de la relación nivel-caudal, de escala aritmética, a escala logarítmica. Se graficó la relación nivel-caudal, de los aforos realizados con el método sección velocidad, en este método se asume que el valor de “b” es igual a 0, para la ecuación  $Q = a(h \pm b)^n$
- Se verifico que la gráfica sea una recta, si lo es, entonces “b” es igual a 0.
- Como la gráfica es una curva, entonces se probó con diferentes valores de “b”, hasta que la gráfica fuera una recta, siendo el valor que vuelve la gráfica una recta el valor que corresponde a “b”. Al graficar la relación nivel-caudal, se observó la concavidad de la gráfica, que determina el signo del valor de “b”.

##### 6.3.2.4.2 Método de Running.

- Se platearon los valores de relación nivel-caudal, en escala aritmética con su respectiva curva. Se seleccionaron tres puntos A, B y C, de tal manera que sus caudales estén en progresión geométrica, ([Sucesión de números en los que el cociente o la razón, entre dos términos consecutivos es siempre igual](#)) de manera que nos quedó  $Q_A/Q_B = Q_B/Q_A$ . Los

caudales que se utilizaron se buscaron de tal manera que la progresión geométrica nos permitiera tener números enteros para facilitar el ploteo de los datos

- Se trazaron líneas verticales en los puntos A y B y después líneas horizontales hacia B y C, con lo que se consiguió los puntos de intersección de verticales D y E. Se dibujaron dos líneas rectas ED y BA que se interceptan en F.
- El valor de F que es la intersección en la ordenada (eje coordenadas Y), es el valor de “b”. Con este método se asumió que la parte más baja de la curva de la relación nivel-caudal es una parábola.

#### 6.3.2.4.3 Método de Johnson.

- Se graficó la relación nivel-caudal, en escala aritmética.
- Se extrajeron tres valores de caudales (Q1, Q2, y Q3), de tal forma que  $Q1/Q2 = Q2/Q3$ .
- Después de encontrar los valores de los caudales (Q1, Q2, y Q3) que cumplieran con la igualdad ( $Q1/Q2 = Q2/Q3$ ) Se extrajeron de la curva los tres valores de niveles (H1, H2 Y H3), que correspondían a dichos caudales.
- Se despejo el valor de  $H_0$  de la ecuación  $(H_1 - H_0) / (H_2 - H_0) = (H_2 - H_0) / (H_3 - H_0)$
- Se sustituyeron los valores obtenidos de las alturas en la ecuación

$$H_0 = \frac{(H_1 \times H_3) - H_2^2}{(H_1 + H_3) - 2H_2}$$

#### 6.3.3 Determinación de la curva de calibración para el medidor tipo Parshall, ubicado en el río Mongoy, y para los vertederos triangular y rectangular ubicados en el río Cantil.

- Para determinar los parámetros “a” y “n”, para la curva de calibración de caudal en el medidor Parshall río Mongoy y los vertederos triangular y rectangular río Cantil, se utilizó el procedimiento del inciso 6.3.2.2. hoja de cálculo Excel de Microsoft Office.
- Para determinar el parámetro “b”, para el medidor tipo Parshall y los vertederos triangular y rectangular se realizó el procedimiento descrito en el inciso 6.3.2.4.1 método logarítmico.

#### 6.4 Elaboración de la curva de duración de caudales.

Para elaborar la curva de duración de caudales se siguieron los siguientes pasos.

- La unidad de tiempo que se considero fue de caudales mensuales (uno por mes).
- Los registros utilizados, fueron los obtenidos de los aforos mensuales.
- Los valores de caudales se ordenaron en forma ascendente de menor a mayor.
- Se determinó el número de clases de la muestra utilizando la expresión siguiente No de clases =  $1 + 3.3 \text{ Log } N$ . (Formula de Stuger para número de clases) donde, N = Número de valores de caudales considerados en el análisis, máximo 365 días con sus respectivos caudales.
- Se determinó la amplitud de los datos o rango R, donde  $R = \text{Dato mayor} - \text{Dato menor}$
- Determinar el intervalo de clase (i), donde  $i = \text{rango} / \text{No. De clases}$



- h. Se fijó el “límite inferior (Li) de la clase menor (este límite tiene que ser menor que el valor más pequeño del caudal); a éste se le sumo el intervalo de clase para encontrar el límite superior (Ls) y luego se hizo lo mismo con todas las clases.  
LI = Dato menor – 0.5 o 1.0, y LS = Dato mayor + 0.5 o 1.0
- i. Luego se determinó las frecuencias para cada clase, según el intervalo de clase.
- j. Se acumularon las frecuencias iniciando por los correspondientes intervalos de valores mayores. Se convirtieron las frecuencias acumuladas en porcentajes.
- k. Se generó la gráfica con Microsoft Excel, colocando las frecuencias acumuladas en porcentaje en el eje de las abscisas “x” (Serie x); y los valores de las marcas de clase en el eje de las ordenadas o “y” (Serie y). Posteriormente en el menú principal, se seleccionó gráfica, para colocar la línea de mejor tendencia. El tipo de grafica seleccionado fue el de dispersión X Y.
- l. Marca de clase= (Límite inferior + Límite superior) / 2
- m. Se determinó en el gráfico los caudales característicos siguientes.
- n. Se calcularon los caudales para 1, 3 y 9 meses, determinando en el gráfico los porcentajes 8.34%, 25% y 75% de la frecuencia acumulada respectivamente.
- o. Los registros de caudales se determinaron con el método sección velocidad.

Caudal	Tiempo de excedencia o igualdad
Máximo	Caudal igualado o excedido 10 días del año (2.74% ≈ 3%)
Medio	Caudal igualado o excedido 180 días del año (50%)
Estiaje	Caudal igualado o excedido 335 días del año (97.3%)
Aguas altas	Caudales comprendidos entre 0 y 90 días (0% - 24.66%)
Aguas medias	Caudales comprendidos entre 90 y 270 días (24.66% - 73.8%)
Aguas bajas	Caudales comprendidos entre 270 y 365 días (73.8% - 100%)

## 6.5 Determinación y validación de la funcionalidad de las estructuras de aforo

Para realizar la validación de las estructuras de aforo, se compararon los caudales mensuales reportados por cada uno de los tres diferentes métodos. Una vez obtenidos los caudales, se realizó una curva de duración de caudales, las curvas no deben presentar una diferencia de  $\pm 5\%$  entre las obtenidas del método sección control y relación altura-caudal, con la curva obtenida del método sección-velocidad (método de referencia) para considerarse aceptable la funcionalidad de dichos métodos. Para el método, caudal-altura se utilizaron las formulas obtenidas de la curva de calibración de caudales, para el método sección-control, se utilizaron las formulas ya establecidas, las cuales se describen a continuación y para el método sección velocidad los caudales se obtuvieron directamente con dicho método.

### 6.5.1 Canal rectangular.

Se utilizó la formula  $Q = 1.838 [L - (2H/10)] H^{3/2}$ , donde: H es la altura de lámina de agua en m, por encima del piso de entrada, a una distancia aproximada de 6H, y L es el ancho del cauce en m y Q es el caudal en  $m^3/s$

### 6.5.2 Vertedero Rectangular

Para dicho vertedero se utilizó la formula,  $Q = 1.9 L H^{3/2}$ , donde: H es la altura del tirante de agua en m y L el ancho del vertedero en m, mientras Q es el gasto o caudal en  $m^3/s$ .

### 6.5.3 Vertedero Triangular

Para este vertedero se utilizó la fórmula,  $Q = 1.49 H^{2.48}$ , donde; H es la altura del tirante del agua en m. y Q es el caudal en  $m^3/s$ .

### 6.5.4 Medidor Parshall.

Se utilizó la fórmula  $Q = 1.7BH^{3/2}$ , Donde B es el ancho de la garganta en m, H es el tirante del río que pasa por la garganta en m, y Q es el caudal en  $m^3/s$ .

## 6.6 Determinación de los hidrógramas para cada río.

Los hidrógramas son una representación gráfica de la variación del caudal en relación con el tiempo. Se realizó un hidrógrama por cada estructura de aforo, el intervalo de tiempo utilizado fue mensual. Los datos de caudales utilizados para realizar los hidrógramas fueron los obtenidos por los diferentes métodos de aforo que se utilizaron, los cuales son; Sección-velocidad; Sección control, que corresponde a las estructuras de aforo que se encuentran en cada estación hidrométrica, y los caudales obtenidos con la curva de calibración de caudales.

Para realizar las gráficas nos auxiliamos del programa office de Microsoft, utilizando la hoja de cálculo Excel. Se seleccionó el comando insertar gráfico, que se encuentra en el menú insertar, luego el tipo de gráfico a trabajar en este caso un gráfico de líneas. En la casilla rango de datos se introdujeron los datos de meses y los caudales del método sección velocidad, y se selecciona series en columnas. Luego en la casilla de series se fueron introduciendo los caudales correspondientes a los otros métodos de aforo, los caudales obtenidos en LPS (litros por segundo), se colocaron en el eje de las "Y" ú ordenadas, los datos correspondientes al tiempo, (meses) se colocaron en el eje de las "X" o abscisas. Los registros de los caudales graficados corresponden del mes de Agosto del 2003 a Julio de 2004.

## 6.7 Determinación del costo de construcción de las estructuras de aforo

Para determinar el costo de la construcción de las estructuras se llevaron registros de los gastos en que se incurrieron, los cuales se ordenaron en un cuadro según el tipo de costo, siendo estos: Costos Directos, incluye todos los gastos en los que se incurren para la construcción y no se pueden omitir; Mano de obra, Materiales e insumos, Fletes y otros gastos. Costos Indirectos, son otros gastos de carácter general, pero necesarios en la construcción.

## 7.- RESULTADOS Y DISCUSIONES

### 7.1 Ubicación y delimitación del área de construcción de las estaciones.

Cuadro 2. Coordenadas y Altitud de las estaciones hidrométricas

Nombre del Río	COORDENADAS				ALTITUD	
	GPS		Mapa Cartográfico		GPS msnm	Mapa Cartográfico msnm
	Longitud Oeste	Latitud Norte	Longitud Oeste	Latitud Norte		
Cantil	90° 48' 47"	14° 21' 55"	90° 49' 55"	14° 21' 55"	580	650
Cometa	90° 49' 55"	14° 21' 09 "	90° 49' 53"	14° 22' 10"	663	664
Mongoy	90° 49' 40"	14° 23' 14 "	90° 49' 37"	14° 22' 11"	680	656

Cuadro 3. Área de las estaciones hidrométricas y distancia del casco de la finca a las estaciones.

Nombre del Río	Distancia en metros del casco de la finca a las estructuras	Área estación hidrométrica en m <sup>2</sup>	Linderos
Cantil	2,310	290	La estación Río Cantil, está rodeado por cultivo de café al Norte y al Oeste y con el sendero ecológico la Danta fase I al Sur y al Este con la Danta fase II.
Cometa	1,760	255	La estación Río Cometa, está rodeada por cultivos de caña de azúcar, al Norte, Sur y Este, mientras que al Oeste está rodeado del cultivo de café.
Mongoy	2,000	388	La estación Río Mongoy, está rodeado por cultivo de café en los cuatro puntos.

En el [cuadro No 2](#). Se describen las coordenadas y altitud donde se encuentran ubicadas las estaciones, considerando que las mismas quedarán dentro de los linderos de la finca para no tener inconvenientes a la hora de realizar la toma de datos y el fácil acceso a las mismas tanto en época seca como lluviosa. El área de cada estructuras, fue ampliada 5 metros a la redonda con el objetivo de tener una zona de limpieza o amortiguamiento de desechos, para que las estructuras no se llenaran de malezas o basura que se encontraran a su alrededor. Se utilizó dos métodos para determinar la ubicación de las estaciones, cartográfico utilizando la hoja de Alotenango, escala 1:5,000 y con GPS como referencia y comparador. [Cuadro No 3](#), Se muestra la distancia que existe entre las estaciones hidrométricas y el casco de la finca y la altura sobre el nivel del mar. Se describe además los linderos de cada estructura, para considerar que tipo de vegetación, cultivos agrícolas o estructuras se encuentran cerca de la estación que pueda interferir o afectar en la toma de datos. [En la figura No 11 pagina 38](#) se observa donde se encuentran ubicadas las estaciones y la casa patronal dentro de la finca, se diferencia también el recorrido de los ríos dentro de la finca y el que se debe hacer para llegar a cada estación.



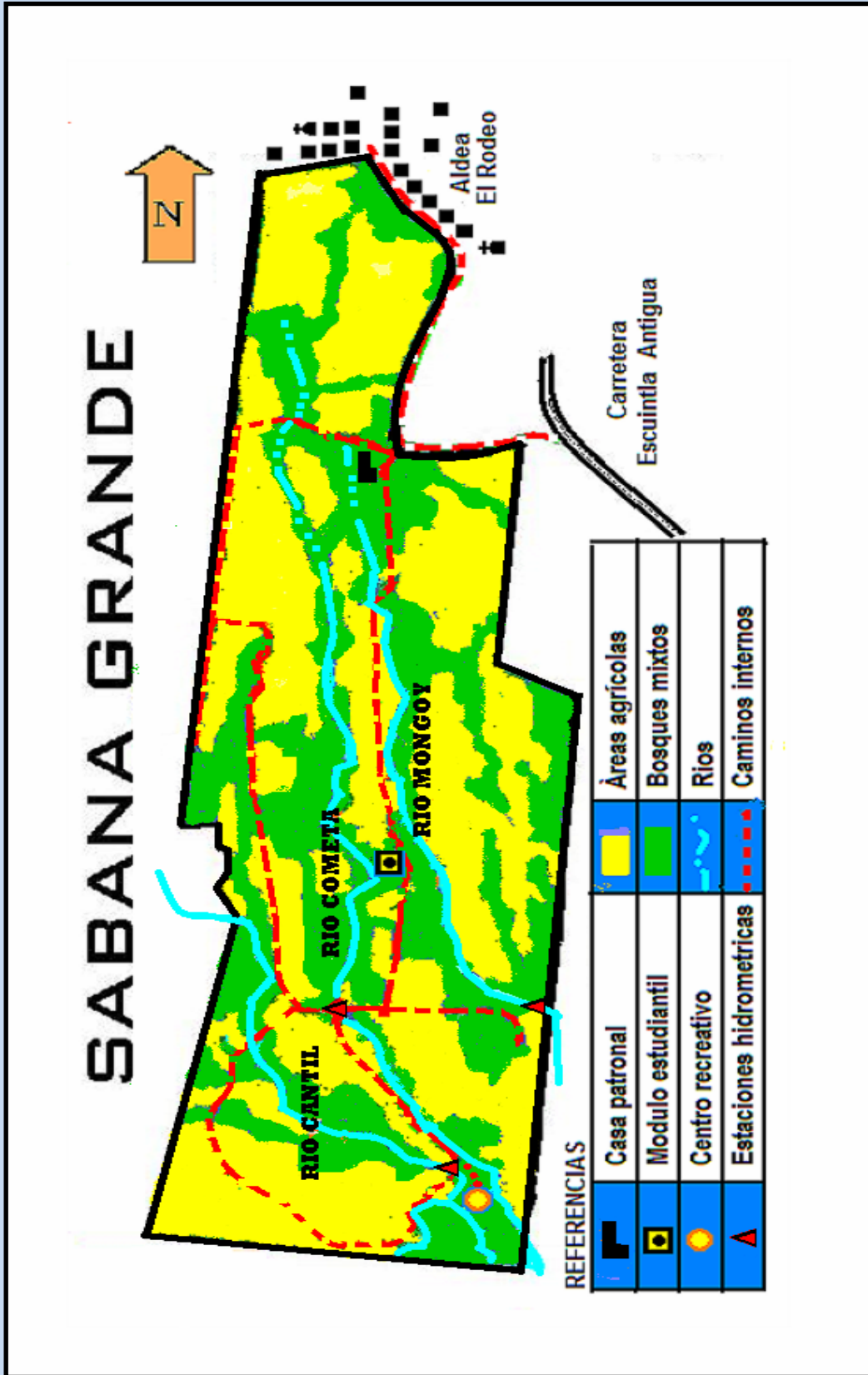


Figura 11, Ubicación de las estaciones hidrométricas, dentro de la unidad-docente productiva Finca Sabana Grande.

## 7.2 Construcción, diseño y asignación de las estructuras de aforo.

### 7.2.1 Medidor tipo Parshall.

Fue construido en el río Mongoy, la estructura tiene las siguientes medidas: En la parte de transición de la entrada tiene 8.60 m de ancho por 6.30 m de largo en los muros convergentes, la garganta del medidor tiene 2.80 m de ancho por 0.50 m de largo, la parte de transición de salida tiene 6.30 m de largo en los muros divergentes y 8.60 m de ancho, la altura de la estructura es de 1.20 m, la cresta del medidor tiene 0.15 m [ver figura 3 apéndices](#). La infraestructura es de concreto, se utilizó piedra bola para la fundición de los cimientos y los muros, el diseño está basado en la [figura 9 página 24](#).

### 7.2.2 Vertedero triangular y rectangular.

Se construyeron en una presa sobre el cauce del río Cantil por disposiciones económicas y principalmente docentes. La infraestructura tiene un ancho de 1.50 m en la base inferior, en la base superior 0.75 m, con una altura de 2.0 m y un largo de 15.18 m. El vertedero rectangular quedo a una distancia de 3.55 m del vertedero triangular, las medidas del vertedero rectangular son 1.20 m de largo, 1.50 m de ancho y de 1.10 m de alto, las medidas del vertedero triangular son de 0.85 m de altura, 1.18 m en la base y un ángulo de  $87.24^{\circ}$  [figuras. 1 y 2 apéndices](#). Las dimensiones del vertedero triangular y rectangular difieren del diseño propuesto [figura 8, página 23](#), el ángulo debió medir  $90^{\circ}$  y la base 1.80 m, el canal rectangular, la base debió guardar una relación de tres veces la altura del tirante, con respecto a la base de la estructura y el fondo del río, en este caso 1.20 m, es decir 0.60 m de profundidad con respecto al fondo (cimientos) y 0.60 m de elevación del fondo del río hacia la superficie, lo cual pudo afectar el resultado de los aforos.

El haber dejado dos estructuras en un mismo punto e infraestructura, ocasiono dificultades a la hora de la toma de datos ya que debieron ser independientes una de la otra para poder aforar y posteriormente determinar su funcionalidad, debiendo pasar el total del cauce del río por cada estructura en el momento del aforo y no compartido como sucedió, para evitar esto se debió construir compuertas para cada vertedero, debido al costo muy elevado de las compuertas y la falta de fondos, no se llevaron a cabo, también queda el aspecto de la capacidad de cada estructura; pues el vertedero triangular no es recomendable para caudales mayores a 100 LPS, y el rectangular el caudal mínimo debería ser de 100 LPS.

### 7.2.3 Canal rectangular.

Aprovechando las semejanzas a un canal rectangular que presenta el puente ubicado sobre el río Cometa, que es utilizado como paso vehicular y peatonal, fue habilitado como estructura de aforo, de tal forma que no se incurrió en gastos, sin embargo hubieron dificultades en la toma de datos, principalmente con el tirante, el cual en época seca no era suficiente para colocar el molinete considerándose al mismo como una profundidad superficial.

Por otra parte ocurrían sedimentaciones a causa de las columnas, también intervenían con el libre recorrido del río provocando remansos, lo cual afecto el resultado de los aforos. Las dimensiones de la estructura son: 6.30 m de ancho, 5.60 m de largo y 1.20 m de alto, [ver figura 4 apéndices](#).

### 7.2.4 Aspectos generales para el diseño y construcción de las estructuras de aforo.

Se trató de considerar los aspectos recomendados en el inciso 6.2.4 de la metodología, sin embargo en el caso del canal rectangular por cuestiones de presupuesto, se utilizó una estructura ya existente, la cual presentaba problemas de diseño, pues provocaba mucha sedimentación y remansos lo que afectó en los aforos que se realizaron.

#### 7.2.4.1 Materiales utilizados para la construcción de las estructuras de aforo.

Los materiales que se utilizaron son: Reglas de 4x4x12, cemento, arena, piedrín, piedra bola, varillas de hierro de 1/4 y 3/8, alambre de amarre y tablas de 1x1x12, la proporción en la mezcla fue de un saco de 45 kg de cemento por 0.30m<sup>3</sup> de arena, para el pegado de las piedras. Para la sabieta se utilizó una proporción de 1.5 sacos de cemento de 45kg por 0.30m<sup>3</sup> de arena, y para la fundición de la base se utilizó 1 sacos de cemento por 0.15m<sup>3</sup> de arena y 0.15m<sup>3</sup> de piedrín, estas proporciones fueron utilizadas en todas las estructuras. Clavos de 4 y 6 pulgadas.

### 7.3 Determinación de la curva de calibración de caudales.

Para obtener la curva de calibración de caudales se midió previamente una relación de nivel-caudal, el caudal se determinó con el método sección-velocidad y la altura se midió con una regla graduada, a partir de estos datos se determinaron los parámetros “a” y “n” de la ecuación  $Q = a (h \pm b)^n$ , los cuales se pueden determinar a través de tres métodos; El Método Analítico, El Método Gráfico, y utilizan la Hoja Excel de Microsoft office, el tercer parámetro propio del fenómeno de la medición de caudales, se denomina parámetro “b” el cual surge porque el cero de la regla limnimétrica no resulta siempre en el punto exacto donde el caudal es cero, se puede determinar a través de tres métodos; Método Logarítmico, Método de Running y el Método de Johnson. En la estación río Cometa, canal rectangular, se realizaron los cálculos con los tres métodos, para determinar “a” y “n”, y para “b” también se utilizaron los tres métodos propuestos, esto con el propósito de ejemplificar dichos métodos. Para el medidor Parshall en el río Cometa, y los vertederos triangular y rectangular en el río Cantil, se utilizó el programa de Excel Microsoft para determinar los parámetros “a” y “n”, en el caso del parámetro “b”, se determinó con el método logarítmico.

#### 7.3.1 Determinación de caudales método sección-velocidad.

##### 7.3.1.1 Determinación del área.

Para el río Cometa y río Mongoy, el área se calculó sobre las estructuras, ya que la corriente y el cauce del río son bastantes estables cuando pasa por esta sección, y no existe problemas con el fondo del cauce pues es homogéneo ya que son de concreto. Según el [cuadro 1 página. 13](#), dado el ancho de los ríos; los puntos de aforo quedan, para el río Cometa donde el ancho es de 5.30 m, cada 0.40 m, lo que nos dio 13 tramos a lo ancho del río. Para el río Mongoy se tiene un ancho de 2.80 m, los puntos de aforo quedaron cada 0.2 m lo que dio 14 tramos. En el río Cantil, con un ancho de 12 m, los puntos de aforo quedaron cada 0.5 m lo que dio 24 tramos. Las alturas de cada tramo, se midieron con una regla graduada de un metro haciendo una lectura por cada punto donde se colocaba el molinete (punto de aforo) luego se promedió la altura, la cual está dada en metros, [ver cuadro No 4](#).

### 7.3.1.2 Determinación de la velocidad.

La velocidad, se calculó con el molinete, el número de lecturas que se hicieron estuvo en función del número de tramos en las que se dividió el ancho del río, en el caso del río Cometa se realizaron 12 lecturas, Río Mongoy 13 lecturas, la velocidad que se midió fue superficial pues el tirante o altura de estos ríos no permitió profundizar el molinete. Para el caso del río Cantil, se realizaron 23 lecturas, a una altura de 6/10 de la superficie, en algunas ocasiones se midió la velocidad superficial pues la corriente del río era muy grande, principalmente en la época de lluvia, la altura vertical de cada punto se midió con una regla graduada. Con la información de las áreas y las velocidades se calcularon los caudales utilizando la fórmula de  $Q = \text{área total (m}^2) \times \text{Velocidad media (m/s)}$ . Los caudales se calcularon por mes en cada estructura, [ver cuadro No 4](#). Estos caudales corresponden de Agosto de 2003 a Julio de 2004.

Cuadro 4. Aforos o gastos determinados con el método sección velocidad y sus correspondientes tirantes o altura.

Estructuras	RIO COMETA		RIO MONGOY		RIO CANTIL			
	Canal rectangular		Medidor Parshall		Vertedero rectangular		Vertedero triangular	
Mes / Año	Altura cm	Caudal L/S	Altura cm	Caudal L/s	Altura cm	Caudal L/s	Altura cm	Caudal L/s
Agosto/03	7.5	130.4	10.8	193	35	166.7	25	23.8
Septiembre/03	12.5	233	5.1	91.47	45	200.8	33	29.3
Octubre/03	5.2	86.5	4.5	80.7	48	216.5	35	35.6
Noviembre/03	4.2	65	3.5	75.6	35	160.4	26	24.8
Diciembre/03	5.2	88.5	3.1	55.6	32	142.5	22	20.5
Enero/ 04	5.5	92.5	6	115	30	125.5	20	16.5
Febrero/ 04	5.1	81.5	4.5	80.7	37	175.6	25	22.5
Marzo/ 04	5.2	87.1	5.5	98.64	42	205.2	30	28.6
Abril/04	4.5	66.1	4.2	75.32	34	165.8	25	23.4
Mayo/04	6.1	119.8	16	300	60	470.5	45	52.4
Junio/04	7.8	145.6	13	240	60	475.6	48	60.5
Julio/04	13.5	252	12.5	224	48	225.2	35	40.2

### 7.3.2 Determinación de la curva de calibración de caudales para la estación Río Cometa, canal rectangular.

En los cálculos realizados, “ $b_0$ ” y “ $b_1$ ” corresponden a los parámetros “ $a$ ” y “ $n$ ” que es como se encuentran identificados en la ecuación normal de la curva de calibración de caudales  $[Q = a (h \pm b)^n]$ , donde “ $a$ ” es el punto de intercepción o punto donde la recta corta o intercepta el eje “ $Y$ ”, “ $n$ ” es la pendiente de la recta, “ $b$ ” constante que corresponde al caudal cero.

**7.3.2.1 Método analítico para determinar “a” y “n” para la estación Río Cometa, Canal Rectangular.**

**Cuadro 5 Cálculos para determinar “a” y “n” a través del método analítico para el canal rectangular, estación Río Cometa, utilizando valores logarítmicos naturales (Ln).**

CANAL RECTANGULAR, ESTACION RIO COMETA									
MESES	Variable X	Variable Y	Datos ordenados de < a >		Ln X	LnY	(Ln X)^2	(Ln Y)^2	Ln X * LnY
	Altura cms	Caudales L/s	X	Y					
ago-03	7,5	130,4	4,2	65	1,43508	4,17439	2,05947	17,42551	5,99060
sep-03	12,5	233	4,5	66,1	1,50408	4,19117	2,26225	17,56590	6,30384
oct-03	5,2	86,5	5,1	81,5	1,62924	4,40060	2,65442	19,36531	7,16964
nov-03	4,2	65	5,2	86,5	1,64866	4,46014	2,71808	19,89289	7,35326
dic-03	5,2	88,5	5,2	87,1	1,64866	4,46706	2,71808	19,95460	7,36465
ene-04	5,5	92,5	5,2	88,5	1,64866	4,48300	2,71808	20,09731	7,39094
feb-04	5,1	81,5	5,5	92,5	1,70475	4,52721	2,90617	20,49562	7,71775
mar-04	5,2	87,1	6,1	119,8	1,80829	4,78582	3,26991	22,90411	8,65415
abr-04	4,5	66,1	7,5	130,4	2,01490	4,87061	4,05983	23,72281	9,81380
may-04	6,1	119,8	7,8	145,6	2,05412	4,98086	4,21942	24,80900	10,23131
jun-04	7,8	145,6	12,5	233	2,52573	5,45104	6,37931	29,71382	13,76784
jul-04	13,5	252	13,5	252	2,60269	5,52943	6,77399	30,57459	14,39139
<b>Σ = Suma</b>	<b>82,3</b>	<b>1448</b>	<b>82,3</b>	<b>1448</b>	<b>22,22486</b>	<b>56,321333</b>	<b>42,7390</b>	<b>266,5214</b>	<b>106,149173</b>
<b>ESTIMADORES DE REGRESION</b>									
n =	12								
ΣLnX =	22,22486029	Σ LnY =	56,32133254						Σ
μ =	1,85207169	μ =	4,693444379						Σ
LnX^2 =	42,73899855	Σ LnY^2 =	266,5214482		Σ Ln X * LnY =	106,1491726			
(Σ LnX)^2/n =	41,16203456	(Σ LnY)^2/n =	264,3410416		Σ Ln X * Σ LnY/n =	104,3111456			
Σ Ln x ^2 =	1,576963994	Σ Ln y ^2 =	2,180406571		Σ Lnx . Lny =	1,838027044			
$b1 = [ \Sigma LnX LnY - ( \Sigma LnX ) ( \Sigma LnY ) / n ] / [ \Sigma LnX^2 - ( \Sigma LnX )^2 / n ]$ $b1 = \Sigma LnxLnY / \Sigma x^2$						$Ln b0 = ( \Sigma LnY - b1 \Sigma LnX / n )$ $Ln b0 = ( \gamma \mu - b1 \mu X )$ $Ln b0 = 2,53477$ $b0 = \text{Antilogaritmo } 2,53477$ $b0 = 12,6135$			
$b1 = 1,165547883$						$b0 = 12,6135$			
<b>Error estandar para b1 = Sb1</b>						$Sb1 = [ \text{Cuadrado Medio Error} / [ Ln X ^2 - ((\Sigma LnX)^2/n) ] ]^{0.5} = 0,04915191$			
<b>Valor de t para probar b1 = b1 / sb1 = 23,71317358</b>									
<b>ANALISIS DE VARIANZA</b>									
FUENTE	G. LIBERTAD	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO MEDIO		F				
Regresión	1	b1[ΣLnX LnY - ((ΣLnX)(ΣLnY)/n)]	S. C. REGRESION / 1		CMR/CME				
		2,142308529	2,14230853		562,3146				
Error	n-2	S.C Total - S.C Regresion	S.C. ERROR / n-2						
	10	0,038098042	0,0038098						
Total	n-1	Σ(LnY)^2 - ((ΣLnY)^2/n)							
	11	2,180406571							
Coeficiente de determinación = Σ Cuadrado de Regresión/ Σ Cuadrados Total									
Coeficiente de determinación = 0,982527093									
Coeficiente de correlación = (Coeficiente de determinación)^0.5									
Coeficiente de correlación = 0,99122505									

Cuadro 5.1 Cálculos para determinar “a” y “n”, a través del método analítico para el canal Rectangular, estación Río Cometa, utilizando valores logarítmicos base 10 (Log).

CANAL RECTANGULAR, ESTACION RIO COMETA									
MESES	Variable X	Variable Y	Datos ordenados de < a >		Log X	LogY	(LogX)^2	(Log Y)^2	Log X . LogY
	Altura cms	Caudales L/s	X	Y					
ago-03	7,5	130,4	4,2	65	0,62325	1,81291	0,38844	3,28665	1,12990
sep-03	12,5	233	4,5	66,1	0,65321	1,82020	0,42669	3,31313	1,18898
oct-03	5,2	86,5	5,1	81,5	0,70757	1,91116	0,50066	3,65252	1,35228
nov-03	4,2	65	5,2	86,5	0,71600	1,93702	0,51266	3,75203	1,38691
dic-03	5,2	88,5	5,2	87,1	0,71600	1,94002	0,51266	3,76367	1,38906
ene-04	5,5	92,5	5,2	88,5	0,71600	1,94694	0,51266	3,79059	1,39402
feb-04	5,1	81,5	5,5	92,5	0,74036	1,96614	0,54814	3,86571	1,45566
mar-04	5,2	87,1	6,1	119,8	0,78533	2,07846	0,61674	4,31998	1,63227
abr-04	4,5	66,1	7,5	130,4	0,87506	2,11528	0,76573	4,47440	1,85100
may-04	6,1	119,8	7,8	145,6	0,89209	2,16316	0,79583	4,67927	1,92974
jun-04	7,8	145,6	12,5	233	1,09691	2,36736	1,20321	5,60437	2,59678
jul-04	13,5	252	13,5	252	1,13033	2,40140	1,27765	5,76672	2,71438
<b>Σ = Suma</b>	<b>82,3</b>	<b>1448</b>	<b>82,3</b>	<b>1448</b>	<b>9,65213</b>	<b>24,4600439</b>	<b>8,0611</b>	<b>50,2691</b>	<b>20,02097558</b>
<b>ESTIMADORES DE REGRESIÓN</b>									
n =	12								
Σ LogX	9,652134183	Σ LogY	24,46004394						
μ =	0,804344515	μ =	2,038336995						
LogX^2 =	8,061075046	Σ Log Y^2 =	50,26906263	Σ LogX . LogY =	20,02097558				
(Σ Log X)^2/n	7,763641191	(Σ LogY)^2/n =	49,85781245	Σ LogX * Σ LogY/n =	19,67430218				
Σ Log x ^2	0,297433855	Σ Log y ^2 =	0,411250184	Σ Log x . Log y =	0,3466734				
$b_1 = \frac{[\Sigma \text{LogXLogY} - (\Sigma \text{LogX})(\Sigma \text{LogY}) / n]}{[\Sigma \text{LogX}^2 - (\Sigma \text{LogX})^2 / n]}$						$\text{Log } b_0 = (\Sigma \text{LogY} - b_1 \Sigma \text{LogX} / n)$			
$b_1 = \Sigma \text{LogxLogy} / \Sigma x^2$						$\text{Log } b_0 = (Y\mu - b_1\mu X)$			
<b>b1 = 1,165547883</b>						<b>Log b0 = 1,10083</b>			
						<b>b0 = Antilogaritmo 1.10083</b>			
						<b>b0 = 12,6135</b>			
Error estandar para b1 = Sb1		$Sb_1 = \sqrt{\frac{\text{Cuadrado Medio Error}}{[\text{Ln } X^2 - ((\Sigma \text{LnX})^2/n)]}} \cdot 0.5 =$						0,04915191	
Valor de t para probar b1 = b1 / sb1 =		23,71317358							
<b>ANALISIS DE VARIANZA</b>									
FUENTE	G. LIBERTAD	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO MEDIO	F					
Regresión	1	$b_1[\Sigma \text{LnX LnY} - ((\Sigma \text{LnX})(\Sigma \text{LnY})/n)]$	S. C. REGRESIÓN / 1	CMR/CME					
		0,404064447	0,40406445	562,3146					
Error	n-2	S.C Total - S.C Regresión	S.C. ERROR / n-2						
	10	0,007185736	0,0007186						
Total	n-1	$\Sigma(\text{LnY})^2 - ((\Sigma \text{LnY})^2/n)$							
	11	0,411250184							
Coeficiente de determinación = Σ Cuadrado de Regresión/Σ Cuadrados Total									
Coeficiente de determinación = 0,982527093									
Coeficiente de correlación = (Coeficiente de determinación)^0.5									
Coeficiente de correlación = 0,99122505									

En el cuadro 5 y 5.1 se observa la metodología para obtener los parámetros “b<sub>0</sub>” y “b<sub>1</sub>”, con el método analítico, utilizando en el primer caso, cuadro No 5 datos logarítmicos y en el cuadro No 5.1 datos logarítmicos base 10, en ambos casos el resultado es el mismo, el valor de “b<sub>0</sub>” corresponden al parámetro “a” y el valor de “b<sub>1</sub>” al parámetro “n”.



### 7.3.2.2 Determinación de “a” y “n”, utilizando la hoja de cálculo Excel de Microsoft, para la estación Río Cometa, Canal rectangular.

Para encontrar los parámetros o estimadores “a” y “n” de la ecuación  $Q = a(h \pm b)^n$ , los datos se analizaron con MICROSOFT OFFICE EXCEL VERSIÓN 11.0.5612.0 XP, es importante mencionar que EXCEL utiliza el método de mínimos cuadrados para realizar este tipo de análisis. Para poder utilizar la regresión lineal es necesario el cambio de los valores aritméticos a logarítmicos, con el fin de linealizar la ecuación, por lo mismo es necesaria la aplicación de antilogaritmo al valor obtenido de “a” punto de intercepción, para obtener de nuevo el valor aritmético. Los cálculos se realizan utilizando logaritmos naturales [cuadro 6.1](#), y logaritmos base 10 [cuadro 6.2](#), el valor de  $b_0$  corresponde a “a” (punto de intercepción en Y) y el valor de  $b_1$  corresponde a “n” (pendiente de la gráfica), en ambos casos se obtuvieron las gráficas, [figuras 12 y 12.1](#), estas corresponden a una recta, también se puede observar el modelo generado, se puede verificar que los valores de los parámetros “ $b_0$ ” (punto de intercepción) y “ $b_1$ ” (pendiente de la gráfica), “a” y “n” en el modelo  $Q = a(h \pm b)^n$ , son los mismos valores obtenidos en los [cuadros 6.1 y 6.2](#) análisis de varianzas, tanto en las gráficas como en el cuadro de análisis se tiene un  $R^2$  de 0.9825. En el [cuadro 6.3](#), se describe como se linealiza la ecuación  $Q = a(h)^n$ , modelo potencial, para llegar al modelo lineal que aparecen en las [figuras 12 y 12.1](#), y luego regresar al modelo potencial, ya con los valores aritméticos de los parámetros obtenidos en las gráficas.

Cuadro 6. Obtención de datos logarítmicos en base 10 y base e, a partir de los datos aritméticos de los tirantes y caudales de la estación río Cometa canal Rectangular, para determinar “a” y “n”, con la hoja de cálculo Excel de Microsoft

Obtención de datos logarítmicos						
Mes/Año	Altura cm	Caudal L/s	Ln altura (X)	Ln caudal (Y)	Log altura (X)	Log caudal (Y)
Ago-03	7.5	130.4	2.014903021	4.870606649	0.875061263	2.115277591
Sep-03	12.5	233	2.525728644	5.451038454	1.096910013	2.367355921
Oct-03	5.2	86.5	1.648658626	4.460144414	0.716003344	1.937016107
Nov-03	4.2	65	1.435084525	4.17438727	0.62324929	1.812913357
Dic-03	5.2	88.5	1.648658626	4.483002552	0.716003344	1.946943271
Ene-04	5.5	92.5	1.704748092	4.527208645	0.740362689	1.966141733
Feb-04	5.1	81.5	1.62924054	4.40060302	0.707570176	1.911157609
Mar-04	5.2	87.1	1.648658626	4.467056884	0.716003344	1.940018155
Abr-04	4.5	66.1	1.504077397	4.191168747	0.653212514	1.820201459
May-04	6.1	119.8	1.808288771	4.785823686	0.785329835	2.078456818
Jun-04	7.8	145.6	2.054123734	4.980863136	0.892094603	2.163161375
Jul-04	13.5	252	2.602689685	5.529429088	1.130333768	2.401400541

Cuadro 6.1 Determinación de “a” y “n”, con Microsoft. Excel utilizando logaritmos naturales, para el Canal Rectangular, Río Cometa

Resumen						
<i>Estadísticas de la regresión</i>						
Coefficiente correlación múltiple	0.991225046					
Coefficiente determinación R <sup>2</sup>	0.982527093					
R <sup>2</sup> ajustado	0.980779802					
Error típico	0.061723611					
Observaciones	12					
<b>ANÁLISIS DE VARIANZA</b>						
	<i>Grados libertad</i>	<i>Suma cuadrados</i>	<i>Cuadrados Medios</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico F</i>	
Regresión	1	2.142308529	2.142308529	562.3146014	4.0375E-10	
Residuos	10	0.038098042	0.003809804			
Total	11	2.180406571				
	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>
Intercepción (a)	2.535	0.092760266	27.32599032	9.97377E-11	2.328083389	2.741448894
Variable X (n) pendiente	1.166	0.049	23.71317358	4.0375E-10	1.056030593	1.275065173
<b>Análisis de los residuales</b>						
	<i>Valores logarítmicos</i>		<i>Valores aritméticos</i>			
<i>Observación</i>	<i>Pronóstico Y</i>	<i>Residuos</i>	<i>Pronósticos Y</i>	<i>Residuos</i>		
1	4.521731671	0.005476974	91.99476476	1.005492		
2	4.433724003	-0.033120982	84.24456044	0.967421512		
3	4.456356712	0.010700172	86.17298345	1.010757624		
4	4.287840366	-0.09667162	72.8090577	0.907854079		
5	4.64241329	0.143410396	103.7945319	1.154203385		
6	4.92894571	0.051917426	138.233697	1.053288765		
7	5.568325593	-0.038896506	261.9950455	0.96185025		
8	4.883232091	-0.012625441	132.0567944	0.987453925		
9	5.478623815	-0.027585361	239.5168609	0.97279164		
10	4.456356712	0.003787702	86.17298345	1.003794885		
11	4.207425871	-0.033038601	67.18337836	0.967501212		
12	4.456356712	0.02664584	86.17298345	1.027004015		



Cuadro 6.2 Determinación de “a” y “n” con Microsoft. Excel utilizando logaritmos base 10, para el Canal Rectangular Río Cometa

Resumen						
<i>Estadísticas de la regresión</i>						
Coefficiente de correlación múltiple	0.991225046					
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0.982527093					
R <sup>2</sup> ajustado	0.980779802					
Error típico	0.026806224					
Observaciones	12					
ANÁLISIS DE VARIANZA						
	<i>Grados libertad</i>	<i>Suma cuadrados</i>	<i>Promedio cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico F</i>	
Regresión	1	0.404064447	0.404064447	562.3146014	4.0375E-10	
Residuos	10	0.007185736	0.000718574			
Total	11	0.411250184				
	<i>Coefficientes</i>	<i>Error Estandar</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>
Intercepción (a)	1.100834948	0.040285272	27.32599032	9.97377E-11	1.011073769	1.190596127
Variable X (n) pendiente	1.165547883	0.049151915	23.71317358	4.0375E-10	1.056030593	1.275065173
Análisis de los residuales						
	Valores logarítmicos			Valores aritméticos		
<i>Observación</i>	<i>Pronóstico Y</i>	<i>Residuos</i>	<i>Pronósticos Y</i>	<i>Residuos</i>		
1	1.963763113	0.00237862	91.99476476	1.005492		
2	1.925541869	-0.01438426	84.24456044	0.967421512		
3	1.935371129	0.004647026	86.17298345	1.010757624		
4	1.86218541	-0.041983951	72.8090577	0.907854079		
5	2.016174474	0.062282344	103.7945319	1.154203385		
6	2.140613923	0.022547452	138.233697	1.053288765		
7	2.418293079	-0.016892538	261.9950455	0.96185025		
8	2.120760751	-0.005483159	132.0567944	0.987453925		
9	2.379336091	-0.01198017	239.5168609	0.97279164		
10	1.935371129	0.001644978	86.17298345	1.003794885		
11	1.827261839	-0.014348482	67.18337836	0.967501212		
12	1.935371129	0.011572141	86.17298345	1.027004015		

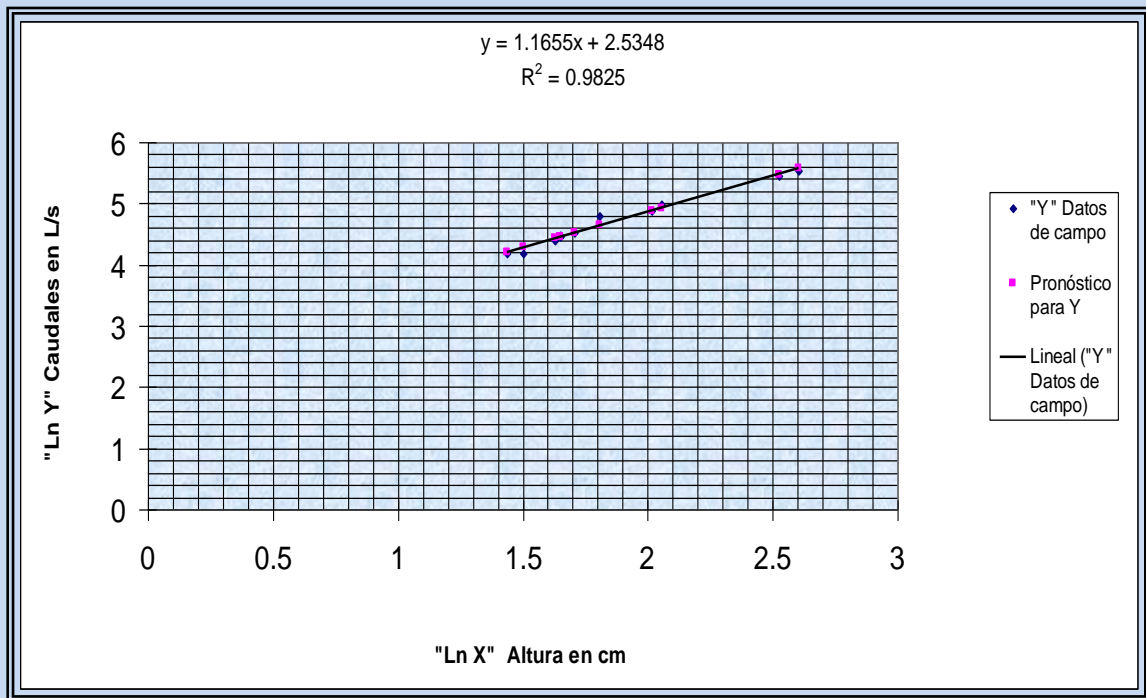


Figura 12. Curva de calibración de caudales, obtenida con Microsoft Excel, utilizando valores logarítmicos naturales (Ln), en el río Cometa, canal rectangular.

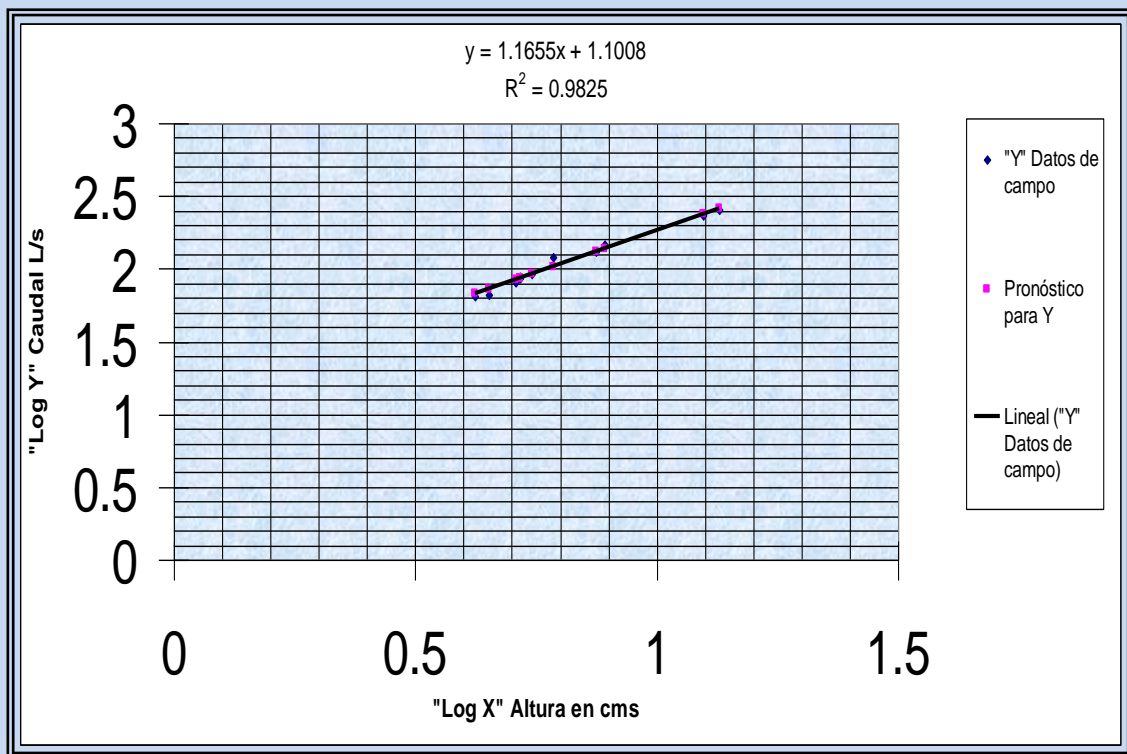


Figura 12.1. Curva de calibración de caudales, obtenida con Microsoft Excel, utilizando valores logarítmicos base 10 (Log), en el río Cometa, canal rectangular.

Cuadro 6.3 Linealización de una ecuación potencial.

Ecuación inicial (Estación Río cometa canal Rectangular).	Q= a(h <sup>n</sup> )	
	Logaritmo base 10	Logaritmo base "e "
Aplicando logaritmo	Log Q= Log (a (h <sup>n</sup> ))	Ln Q= Ln (a (h <sup>n</sup> ))
Aplicando identidad (El logaritmo de un producto es igual a la suma de los logaritmos de los factores)	Log Q= Log (a (h <sup>n</sup> ))	
Después de aplicar la identidad para el logaritmo de un producto ECUACION LINEAL	Log Q = Log(a) + Log(h <sup>n</sup> )	Ln Q = Ln(a)+ Ln(h <sup>n</sup> )
Aplicando identidad (El logaritmo de una potencia es igual al producto entre el exponente y el logaritmo de la base de la potencia)	Log Q = Log() + Log(h <sup>n</sup> )	
Después de aplicar la identidad para el logaritmo de una potencia ECUACION LINEAL	Log Q = Log(a) + nLog(h)	LnQ = Ln(a)+ n Ln h
ECUACION LINEAL GENERADA CON Microsoft Excel FIGURAS 12 Y 12.1.	y = 1.1008 + 1.1655(x)	y = 2.5348 + 1.1655(x)
ECUACION LINEAL CON LOGARITMOS	Log y = Log 1.1008+1.1655Log(x)	Ln y = Ln 2.5348 +1.1655Ln(x)
Identidad de los logaritmos (Se invierte la identidad del logaritmo de una potencia)	Log y = Log 1.1008+1.1655Log(x)	
Después de invertir la identidad del logaritmo de una potencia	Log y = Log 1.1008 + Log(x <sup>1.1655</sup> )	Ln y = Ln2.5348 +Ln x <sup>1.1655</sup>
Identidad de los logaritmos (La suma de los logaritmos de los factores es igual al logaritmo de un producto)	Log y = Log 1.1008 + Log(x <sup>1.1655</sup> )	
Después de aplicar la identidad	Log y = Log [1.1008 (x <sup>1.1655</sup> )]	Ln y = Ln (2.5348 (x <sup>1.1655</sup> ))
Aplicando antilogaritmo	10 <sup>Log y</sup> = 10 <sup>Log1.1008 * x1.1655</sup>	e <sup>Ln y</sup> = e <sup>Ln2.5348 * x1.1655</sup>
Al aplicar antilogaritmos se anulan los logaritmos	Y= 1.1008 ( x <sup>1.1655</sup> )	Y = 2.5348 ( x <sup>1.1655</sup> )
Queda la ecuación	Q = 1.1008 (h) <sup>1.1655</sup>	Q = 2.5348 (h) <sup>1.1655</sup>
Operando el antilogaritmo en el valor de la intercepción (b <sub>0</sub> )	Q = 12.6124 (h <sup>1.1655</sup> )	Q = 12.6139 (h <sup>1.1655</sup> )
Se regresa al modelo Potencial	(Q=a(h) <sup>n</sup> )	

Cuando se trabaja la gráfica con los valores aritméticos la gráfica es positiva en "Y" o una gráfica de la f(x) potencial la cual presenta una pendiente difícil de calcular por ser una curva, al aplicar logaritmos se linealiza la ecuación entonces es más práctico determinar la pendiente pues es la de una recta; en la ecuación  $Q = a(h^n)$ , cuando se aplican logaritmos, el logaritmo afecta directamente al punto de intercepción, no así a la pendiente [ver cuadro 6.3](#),

al aplicar el antilogaritmo se anulan los logaritmos y la ecuación vuelve a su modelo inicial, pero el valor del punto de intercepción sigue siendo un valor logarítmico, es por ello que ha este valor hay que aplicarle antilogaritmo para obtener el valor aritmético que es el que nos interesa, quedando entonces para datos logarítmicos naturales 12.6164 y para los datos logarítmicos de base 10, 12.61347, como se puede observar no hay diferencia en el resultado, la elección de un determinado número como base de los logaritmos no es crucial, ya que todos son proporcionales entre sí, sin embargo hay que considerar el modelo que representa el fenómeno, ya que las escalas logarítmicas están definidas por la función de las potencias de la base, en nuestro caso el modelo es potencial, lo más conveniente es utilizar logaritmos de base 10, por otra parte los logaritmos decimales o base 10 son utilizados generalmente en ciencias que hacen uso de las matemáticas, también estos fueron diseñados para que los valores grandes de la bases corresponden a valores pequeños de la medida logarítmica, esto nos permite trabajar una mayor gama de valores, también nos permite graficar más fácilmente, pues el papel logarítmico viene normalmente graduado en base a la potencia 10.

#### 7.3.2.2.1 Método grafico para determinar “a” y “n”.

En las gráficas los parámetros “a” y “n” se identifican como “b<sub>0</sub>” y “b<sub>1</sub>” respectivamente.

- a. **Método Grafico, Escala Logarítmica, valores logarítmicos, ver apéndices. (hoja A-1)**
- Se ploteó en una hoja de papel log – log de 2 ciclos, los datos de la relación nivel-caudal, el número de ciclos en las hojas logarítmicas depende del rango de los datos obtenidos, así pues se pueden usar hojas logarítmicas, de uno hasta 6 ciclos, en nuestro caso la de 2 ciclos es la adecuada, pues nuestros valores no sobrepasan el rango del millar.
  - Se colocó el valor del caudal en el eje “Y”, y la altura en el eje “X”. Después de plotear los puntos, se trazó la línea de mejora ajuste, dando como resultado una línea recta. La recta corta el eje “Y” en 1.1 siendo este el valor de “a”, pero se debe aplicar antilogaritmo para encontrar el valor aritmético el cual da **12.589**, esto debido a que los valores utilizados son logarítmicos.
  - El valor de la pendiente, que corresponde al parámetro “n”. es de **1.166**, este valor no se ve afectado por los logaritmos, por lo tanto no se aplica antilogaritmo, pues al plotear los datos a escala logarítmica lo que se pretende es linealizar la gráfica para poder calcular de manera fácil la pendiente, la escala no afecta el valor de la pendiente, en este caso como los valores son logarítmicos así como la escala la pendiente se calcula de la siguiente manera. ( $m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$ )
- b. **Método Grafico, Escala Logarítmica, valores aritméticos, ver apéndices. (hoja A-2).**
- Se ploteó en una hoja de papel log – log de 2 ciclos, los datos de la relación nivel-caudal, el número de ciclos en las hojas logarítmicas depende del rango de los datos obtenidos, así pues se pueden usar hojas logarítmicas, de uno hasta 6 ciclos, en nuestro caso la de 2 ciclos es la adecuada, pues nuestros valores no sobrepasan el rango del millar. Se colocó el valor del caudal en el eje “Y”, y la altura en el eje “X”.
  - Después de plotear los puntos, se trazó la línea de mejora ajuste, dando como resultado una línea recta. La recta corta el eje “Y” en **12.6** siendo este el valor de “a”, en este caso no hay necesidad de aplicar antilogaritmos pues los valores que se utilizaron son aritméticos.
  - El valor de la pendiente, que corresponde al parámetro “n”. es de **1.1549**, al igual que en el anterior caso lo que se pretende con la escala logarítmica es linealizar la gráfica

para poder calcular la pendiente, en este caso por tener valores aritméticos pero la escala logarítmica la pendiente se calcula de la siguiente manera [ $m = \frac{\log(Y_2/Y_1)}{\log(X_2/X_1)}$ ]

- c. **Método Grafico, Escala Aritmética, valores logarítmicos ver apéndices, (hoja A-3).**
- Se ploteó en una hoja de papel milimetrado, los datos de la relación nivel-caudal.
  - Se colocó el valor del caudal en el eje “Y”, y la altura en el eje “X”. Después de plotear los puntos, se trazó la línea de mejora ajuste, dando como resultado una línea recta. La recta corta el eje “Y” en **1.1** siendo este el valor de “a”, pero se debe aplicar antilogaritmo para encontrar el valor aritmético el cual da **12.589**, esto debido a que los valores utilizados son logarítmicos.
  - El valor de la pendiente, que corresponde al parámetro “n”. es de **1.15**, la escala no afecta el valor de la pendiente, pues los valores son logarítmicos estos valores hacen posible que la gráfica sea lineal, la pendiente se calcula de la siguiente manera. ( $m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$ )
- d. **Método Grafico, Escala Aritmética, valores aritméticos, ver apéndices. (hoja A-4)**
- Se ploteó en una hoja de papel logarítmico - logarítmico, los datos de la relación nivel-caudal. los valores de los datos utilizados son aritméticos.
  - Se colocó el valor del caudal en el eje “Y”, y la altura en el eje “X”. Después de plotear los puntos, se trazó la línea de mejora ajuste, dando como resultado una línea recta. La recta corta el eje “Y” en **12.5** siendo este el valor de “a”.
  - El valor de la pendiente, es de **14.4375** a este valor hay que aplicarle logaritmos dando como resultado **1.15949** este valor corresponde al parámetro “n”, la razón de aplicar el logaritmo al primer valor es porque con esta escala y estos valores, la gráfica debería ser potencial es decir de la forma ( $Y = X^n$ ), bajo esta forma la pendiente es muy difícil de calcular ya que la gráfica es un parábola, sin embargo bajo el concepto de la aplicación de logaritmos para linealizar la gráfica, y poder determinar la pendiente, en este caso se aplica logaritmo al valor aritmético de la pendiente, el punto de intercepción no se ve afectado pues este valor no se ve afectado por los logaritmos para este caso.

Cuadro 6.4 Valores obtenidos para “a” y “n”, según el método utilizado, para el canal rectangular, en la estación Rio Cometa.

Método Utilizado	a	n
Analítico Ln	12.6135	1.1655117883
Analítico Log	12.6135	1.1655117883
Excel Ln	12.61643085	1.166
Excel Log	12.61246575	1.165547883
Grafico escala logarítmica datos logarítmicos	12.589	1.166
Grafico escala logarítmica datos aritméticos	12.6	1.1549
Grafico escala aritmética datos logarítmicos	12.589	1.15
Grafico escala aritmética datos aritméticos	12.5	1.1594

### 7.3.2.4 Determinación de “b”, (Valor de ajuste) para el Río Cometa, Canal Rectangular.

#### 7.3.2.4.1 Método logarítmico.

- Se hizo la conversión de datos de escala aritmética, a escala logarítmica de la relación nivel-caudal, [ver cuadro 7 página 52](#).
- Se graficó dicha relación, asumiendo inicialmente que el valor de “b” es igual a cero en la ecuación  $Q = (a \pm b)^n$ , [ver figura 13 página. 53](#), se puede distinguir que la gráfica no es recta, si no curva y cóncava hacia abajo por consiguiente el valor de “b” es negativo y no es cero.
- En el primer tanteo la gráfica no es una línea recta, es una curva por lo que se probaron con diferentes valores de “b” hasta que la gráfica fuera lineal, los valores que se utilizaron son; -0.5, -0.4, -0.6, 0.5, 0.6, 0.4, y 0.2, [ver cuadro 7 y figura 13](#) se eligieron estos valores según se comportaba la gráfica, alternando los valores buscando una gráfica recta
- En la [figura 13.1](#), se observa la recta que define el valor de “b”, para el caso de la estación Río Cometa, siendo este valor de 0.45, ya que la línea recta pasa entre los valores de 0.4 y 0.5, también en esta figura se puede observar la gráfica con el valor de “b” = 0, la cual corresponde a una curva.

Cuadro. 7 Cálculos para determinar “b” para el Canal Rectangular Río Cometa, Método Logarítmico.

Canal Rectangular (RIO COMETA)		Datos Logaritmos		Diferentes valores de "b" para que la grafica sea una recta							
	X	Y	X	Y (h±b)	Y(h±b)	Y(h±b)	Y(h±b)	Y(h±b)	Y(h±b)	Y(h±b)	Y(h±b)
Mes	Caudal (lps)	Altura (cm)	Caudal (lps)	(b=0)	-0.5	-0.4	-0.6	0.5	0.4	0.6	0.2
ago-03	130.4	7.5	2.1153	0.87506	0.37506	0.475061	0.27506	1.37506126	1.27506126	1.47506126	1.07506126
sep-03	233	12.5	2.3674	1.09691	0.59691	0.69691	0.49691001	1.59691001	1.49691001	1.69691001	1.29691001
oct-03	86.5	5.2	1.937	0.716	0.2160033	0.316003	0.11600334	1.21600334	1.11600334	1.31600334	0.91600334
nov-03	65	4.2	1.8129	0.62325	0.1232493	0.223249	0.02324929	1.12324929	1.02324929	1.22324929	0.82324929
dic-03	88.5	5.2	1.9469	0.716	0.2160033	0.316003	0.11600334	1.21600334	1.11600334	1.31600334	0.91600334
ene-04	92.5	5.5	1.9661	0.74036	0.2403627	0.340363	0.14036269	1.24036269	1.14036269	1.34036269	0.94036269
feb-04	81.5	5.1	1.9112	0.70757	0.2075702	0.30757	0.10757018	1.20757018	1.10757018	1.30757018	0.90757018
mar-04	87.1	5.2	1.94	0.716	0.2160033	0.316003	0.11600334	1.21600334	1.11600334	1.31600334	0.91600334
abr-04	66.1	4.5	1.8202	0.65321	0.1532125	0.253213	0.05321251	1.15321251	1.05321251	1.25321251	0.85321251
may-04	119.8	6.1	2.0785	0.78533	0.2853298	0.38533	0.18532984	1.28532984	1.18532984	1.38532984	0.98532984
jun-04	145.6	7.8	2.1632	0.89209	0.3920946	0.492095	0.2920946	1.3920946	1.2920946	1.4920946	1.0920946
jul-04	252	13.5	2.4014	1.13033	0.6303338	0.730334	0.53033377	1.63033377	1.53033377	1.73033377	1.33033377
ECUACION $Q=(h \pm b)$ h es igual a la altura; Q es caudal y b el valor a determinar											

En el [cuadro 7](#) se puede observar los diferentes valores que se le asignaron a “b”, para obtener una línea recta que defina su valor. Lo primero que se hizo fue trasladar el valor aritmético de las alturas y caudales a un valor logarítmico. Posteriormente se graficaron los valores logarítmicos de la relación nivel-caudal en escala logarítmica (hoja de papel logarítmicos de un ciclo), incluyendo el valor de “b”, que se asume es igual a cero como primera opción.

En la ecuación  $Q=(h \pm b)$ , si  $b = 0$ , da una línea recta entonces el valor de “b”, efectivamente corresponde a cero, en este caso no sucedió así, por consiguiente se utilizaron los valores asignados a “b”, para obtener una línea recta. En la [figura 13](#) [página 53](#), se puede observar las diferentes tendencias de las gráficas según el valor de “b” que se utilizó para la altura. En la [figura 13.1](#) se muestra con más detalle los valores más cercanos que vuelvan la gráfica una recta, siendo estos entre 0.4 y 0,5, se puede ver claramente que el valor que vuelve la gráfica una recta es 0.45 siendo este entonces el valor de “b”, en las gráficas de las [figuras 13 y 13.1](#) la escala de la hoja es logarítmica de 1 ciclo.

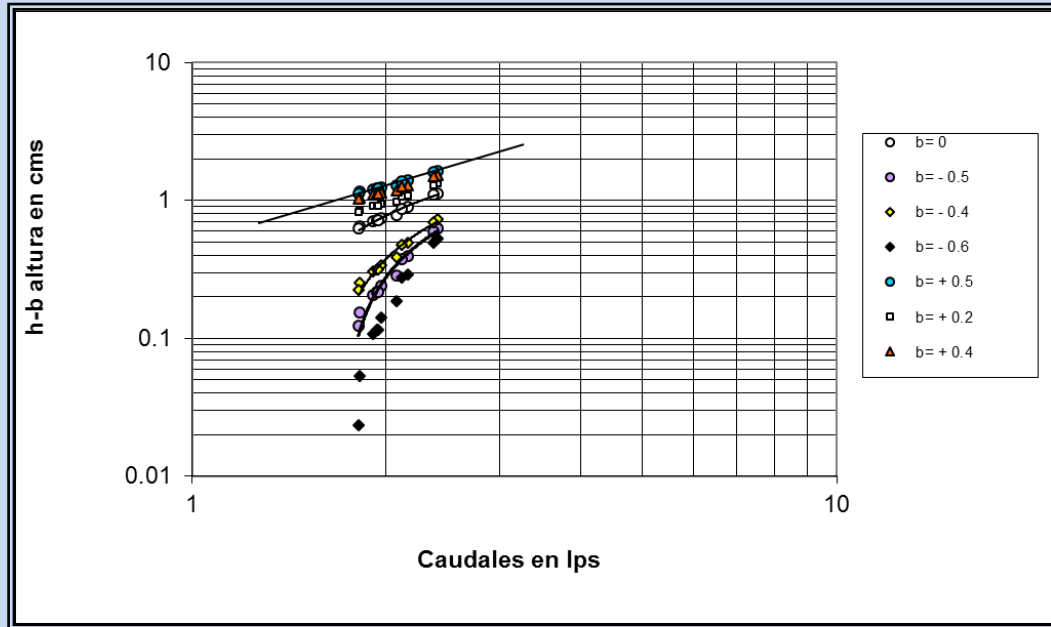


Figura 13. Determinación del mejor ajuste de “b” utilizando el método logarítmico. Canal rectangular río Cometa, curva cóncava hacia abajo en “b” = 0.

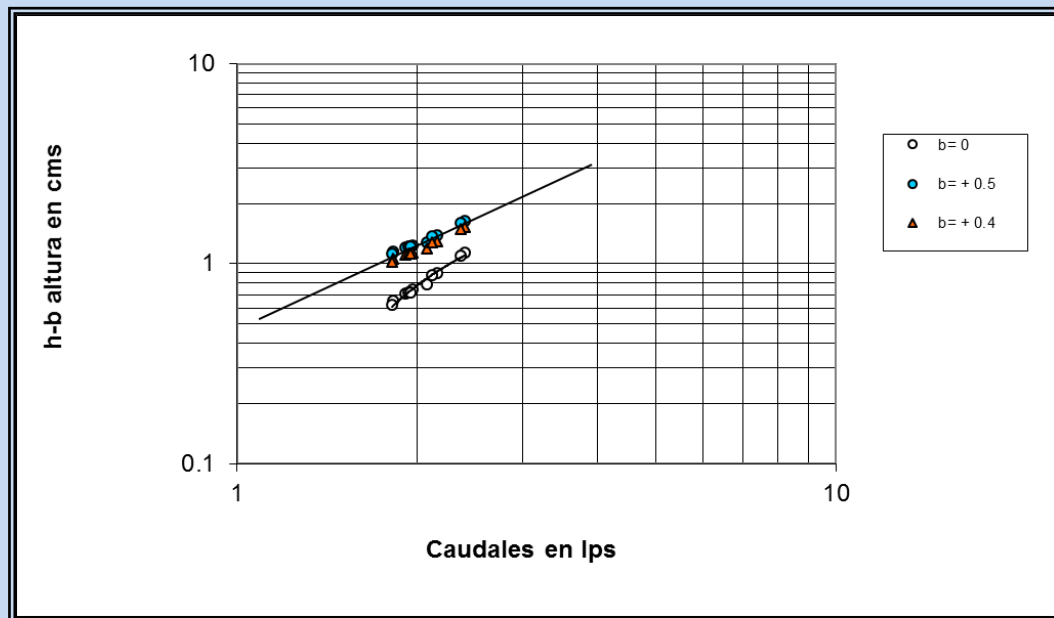


Figura 13.1. Línea recta que determina o define el valor de “b” utilizando el método logarítmico, para el canal rectangular río Cometa, valor obtenido 0.45

#### 7.3.2.4.2 Método de Running.

Se plotearon los valores de la relación Nivel-Caudal en escala aritmética [cuadro 8](#) y [figura. 14](#). Tres puntos (caudales) A, B y C se seleccionaron de tal manera que quedaron en progresión geométrica. Los valores utilizados en la progresión geométrica permitió tener



valores enteros para facilitar el planteo, también cumple con  $Q_A/Q_B = Q_B/Q_C$ , **cuadro 8**, los caudales seleccionados se encuentran dentro de los límites de la gráfica. En los puntos A y B se trazaron líneas verticales hasta la gráfica y después lineales horizontales hacia B y C para conseguir los puntos de intersección de verticales D y E. Se dibujaron dos líneas rectas ED y BA, donde se interceptan se considera el valor de la ordenada, este corresponde al valor de “b”, nivel que corresponde a un caudal cero, para este caso el valor es de 0.5 **figura. 14.1**. Este método asume que la parte más baja de la curva Nivel-Caudal es una parábola.

Cuadro. 8 Determinación del valor de  $H_0$ . METODO DE RUNNING, Canal Rectangular Río Cometa,

Datos de campo			Progresion utilizada 1.25	
	Y	X		
Mes	Altura (cm)	Caudal (lps)	$Q_A$	$Q_B$
ago-03	7.5	130.4	80	100
sep-03	12.5	233	$Q_B$	100
oct-03	5.2	86.5	$Q_C$	125
nov-03	4.2	65	Ecuacion que demuestra la progresion geometrica	
dic-03	5.2	88.5	$Q_A/Q_B = Q_B/Q_C$	
ene-04	5.5	92.5	$80/100 = 100/125$	
feb-04	5.1	81.5	$0.8 = 0.8$	
mar-04	5.2	87.1		
abr-04	4.5	66.1		
may-04	6.1	119.8		
jun-04	7.8	145.6		
jul-04	13.5	252		

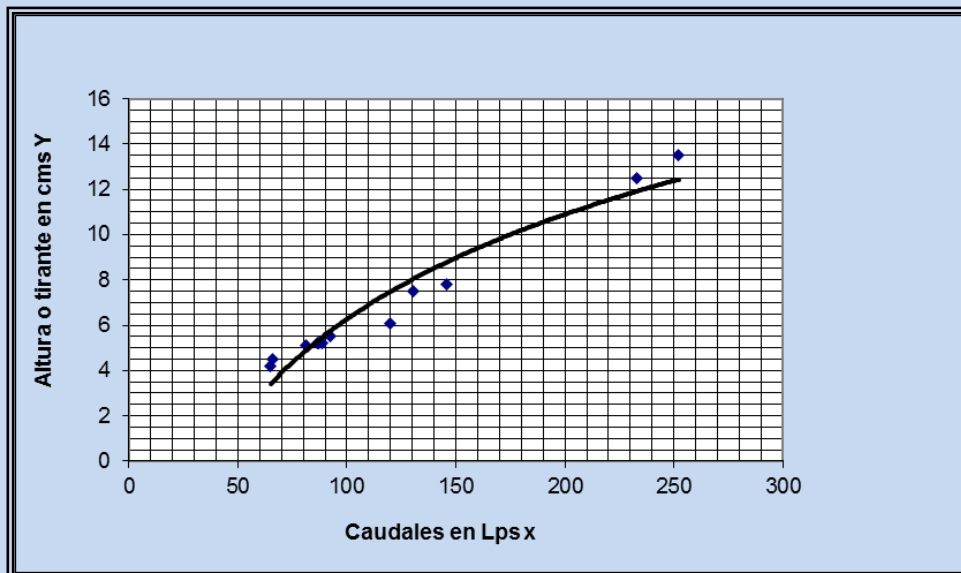


Figura 14. Grafica que representa la relación nivel-caudal, para el Canal Rectangular, Río Cometa. METODO DE RUNNING. Valores **cuadro 8**, grafica cóncava hacia abajo.

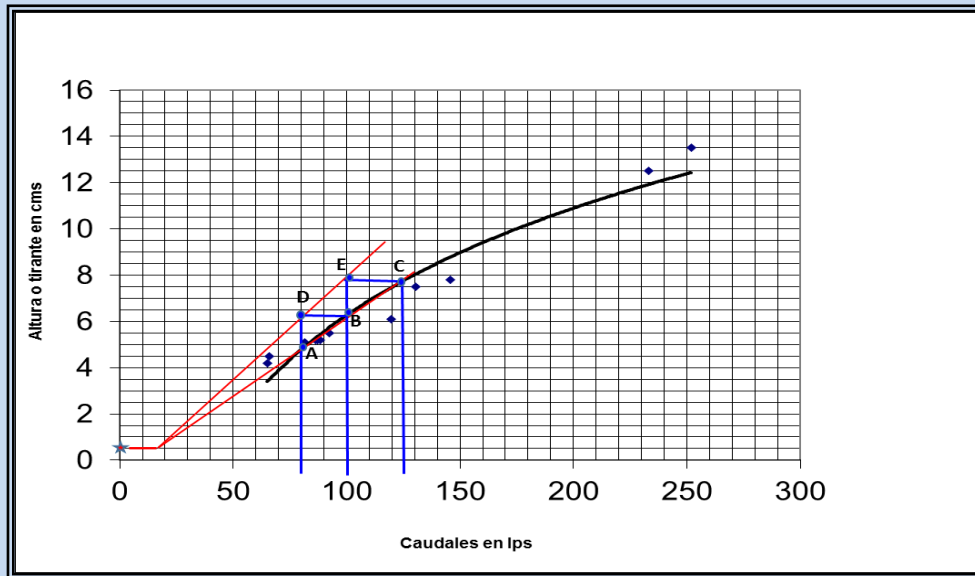


Figura 14.1. Determinación de “b” para el Canal Rectangular, Río Cometa, METODO DE RUNNING. Se puede observar que el valor de “b” es 0.5

En el cuadro No 8 se observan los caudales obtenidos en campo, se muestra el cálculo de la progresión geométrica, el valor que se utilizó es 1.25 este valor permite cumplir con que  $Q_A/Q_B = Q_B/Q_C$ , en la [figura 14](#) se observa la gráfica de la relación altura-caudal para el río cometa de donde se inicia para realizar la determinación de “b”, en la [figura 14.1](#) se observa en azul los caudales 80 lps, 100 lps y 125 lps, que corresponde a los valores que guardan una progresión geométrica, en rojo las rectas AB y ED, donde estas rectas se toparon corresponde el valor de “b” en este caso es 0.5 sobre el eje de las ordenadas (eje “Y”), y es negativo puesto que la curva es cóncava hacia abajo, la recta AB no es relevante que llegue hasta el punto C.

#### 7.3.2.4.3 Método de Johnson.

Se graficó la relación  $Q - H$ , en escala aritmética, se seleccionaron tres valores de caudales  $Q_1, Q_2, Q_3$  tal que  $Q_1/Q_2 = Q_2/Q_3$ , luego se extraen de la curva los correspondientes valores de niveles  $H_1, H_2$  y  $H_3$  que corresponde a los caudales ya seleccionados, [figura 15](#) Con estos valores de alturas se trabajó la ecuación:

$$H_0 = \frac{(H_1 \cdot H_3) - H_2^2}{(H_1 + H_3) - 2H_2}$$

De la ecuación anterior,  $H_0$ , corresponde al valor de “b”, los caudales seleccionados se encuentren en progresión geométrica, para facilitar la igualdad de la ecuación de  $Q_1/Q_2 = Q_2/Q_3$ , de lo contrario se complica encontrar los valores que de la igualdad, esto conlleva a probar con varios valores para la progresión geométrica, ya que para todos los métodos el valor de “b” no puede ser un número entero positivo o negativo, debido a que este valor es el que representa el nivel o elevación para el cual el caudal es nulo o cero, por consiguiente este refleja aproximadamente el fondo del cauce, y el valor está cercano al cero de la escala hidrométrica. La progresión geométrica que se utilizó fue 1.2, el valor  $Q_1$  fue 65, [cuadro 9](#), valor que corresponde al mes de noviembre, se seleccionó este valor por ser entero y por ser el caudal más pequeño, lo que nos permite que la progresión geométrica no se salga de los límites de la gráfica, [figura 15](#)

Cuadro 9. Determinación del valor "b". METODO DE JOHNSON Canal Rectangular Río Cometa

Canal Rectangular (RIO COMETA)			Progresion 1.2			
Y	X		No Caudal	Altura	Caudal (Q)	
Mes	Altura (cm)	Caudal (lps)	Q1	3.4	65	
Enero	5.5	92.5	Q2	4.5	78	
Febrero	5.1	81.5	Q3	5.90	94	
Marzo	5.2	87.1	$Q_1/Q_2 = Q_2/Q_3$			
Abril	4.5	66.1	$Q_1/Q_2 = 0.83333$			
Mayo	6.1	119.8	$Q_2/Q_3 = 0.83333$			
Junio	7.8	145.6	Determinacion de $H_0$ $H_0 = (H_1 \cdot H_3) - H_2^2 / (H_1 + H_3) - 2H_2$			
Julio	13.5	252				
Agosto	7.5	130.4	$H_1 \cdot H_3 =$	20.06	$(H_1 \cdot H_3) - H_2^2 =$	-0.19
Septiembre	12.5	233	$H_2^2 =$	20.25	$(H_1 + H_3) - 2H_2 =$	0.3000
Octubre	5.2	86.5	$H_1 + H_3 =$	9.30	Entonces $H_0 =$	-0.633
Noviembre	4.2	65	$2H_2 =$	9		
Diciembre	5.2	88.5				

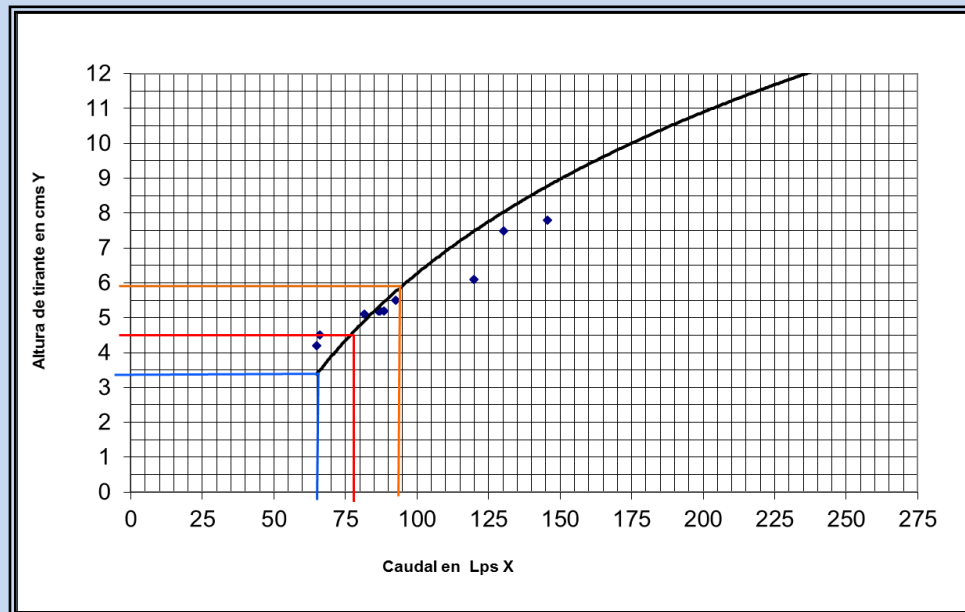


Figura 15 Grafica de la relación Q-H para determinar  $H_1$ ,  $H_2$  y  $H_3$  según el valor de  $Q_1$ ,  $Q_2$  y  $Q_3$  con una progresión geométrica de 1.2. METODO DE JOHNSON, grafica cóncava hacia abajo.

En el cuadro 9 se observa los cálculos de los caudales obtenidos en progresión geométrica a partir de que  $Q_1=65$  lps, la progresión utilizada fue 1.2, con este valor queda  $Q_2 = 78$  lps,  $Q_3=94$  lps, y cumple con  $Q_1/Q_2 = Q_2/Q_3$ . Los valores de  $Q_1$ ,  $Q_2$  y  $Q_3$ , se buscaron en la gráfica de la relación H-Q figura 15, se trazó una línea vertical hasta cortar la gráfica, luego una línea horizontal de la gráfica hasta cortar el eje "Y", valor de las alturas, estos valores correspondieron a  $H_1=3.4$ ,  $H_2=4.5$  y  $H_3=5.90$ , cuadro 9, estos valores se sustituyeron en la ecuación  $H_0 = (H_1 \cdot H_3) - H_2^2 / (H_1 + H_3) - 2H_2$ , para determinar el valor de  $H_0$  el cual es **0.633** que corresponde al valor de "b", como se dijo con anterioridad este valor no puede ser entero, pues es el que representa el nivel o elevación para el cual el caudal es nulo o cero, si

es positivo o negativo dependerá de la concavidad de la gráfica en nuestro caso es cóncava hacia abajo por consiguiente es negativo.

### 7.3.3 Determinación de las curva de calibración para el medidor Parshall río Mongoy y Vertederos Triangular y Rectangular río Cantil.

Para determinar los parámetros “a” y “n” en estas estructuras, se utilizó la hoja de cálculo Excel, y para determinar “b”, se utilizó el método logarítmico

#### 7.3.3.1 Determinación de las curvas de calibración para el vertedero tipo Parshall, río Mongoy.

Cuadro 10. Obtención de datos logarítmicos base 10, para la estación río Mongoy, vertedero tipo Parshall, para determinar los parámetros “a” y “n”.

Obtención de datos logarítmicos				
Mes	Altura cm	Caudal L/s	Log altura (X)	Log caudal (Y)
ago-03	10.8	193	1.033423755	2.285557309
sep-03	5.1	91.47	0.707570176	1.961278679
oct-03	4.5	80.7	0.653212514	1.906873535
nov-03	3.5	75.6	0.544068044	1.878521796
dic-03	3.1	55.6	0.491361694	1.745074792
ene-04	6	115	0.77815125	2.06069784
feb-04	4.5	80.7	0.653212514	1.906873535
mar-04	5.5	98.64	0.740362689	1.994053064
abr-04	4.2	75.32	0.62324929	1.876910311
may-04	16	300	1.204119983	2.477121255
jun-04	13	240	1.113943352	2.380211242
jul-04	12.5	224	1.096910013	2.350248018

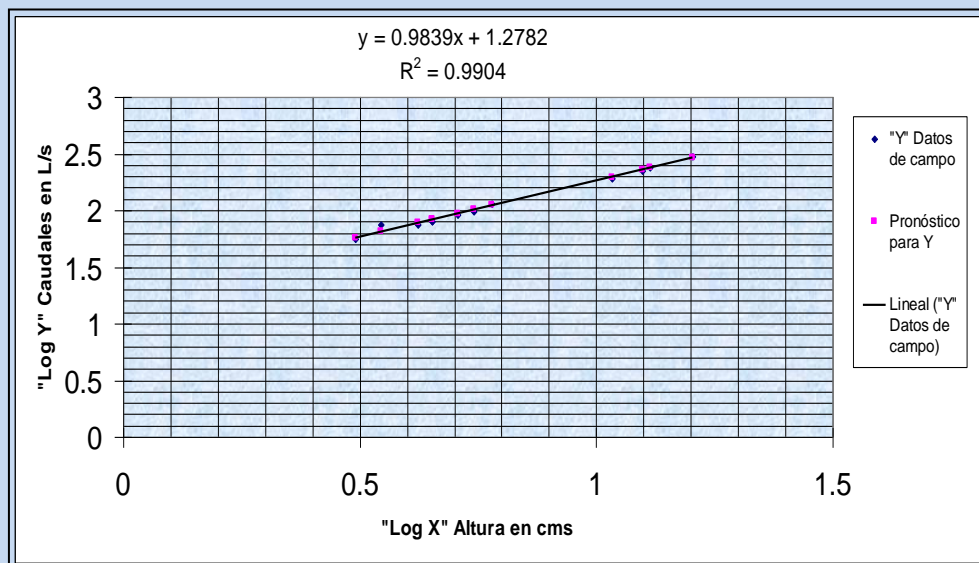


Figura 16. Gráfica, y ecuación de la recta obtenida con Excel de Microsoft, utilizando valores Log, en el río Mongoy, Medidor Parshall para obtener los valores de “a” y “n”,

Cuadro 11. Determinación de, “a” y “n” Microsoft Excel, valores Log Medidor Parshall, Río Mongoy.

Resumen						
<i>Estadísticas de la regresión</i>						
Coeficiente de correlación múltiple	0.995204833					
Coeficiente de determinación R <sup>2</sup>	0.99043266					
R <sup>2</sup> ajustado	0.989475926					
Error típico	0.024694171					
Observaciones	12					
ANÁLISIS DE VARIANZA						
	<i>Grados libertad</i>	<i>Suma cuadrados</i>	<i>Promedio cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico F</i>	
Regresión	1	0.631280913	0.631280913	1035.222602	1.98059E-11	
Residuos	10	0.006098021	0.000609802			
Total	11	0.637378934				
	<i>Coeficientes</i>	<i>Error Estandar</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>
Intercepción (a)	1.27821955	0.025579119	49.97121131	2.48855E-13	1.221225722	1.33521338
Variable X (n) pendiente	0.983941373	0.030581047	32.17487532	1.98059E-11	0.915802555	1.05208019
Análisis de los residuales						
<i>Observación</i>	<i>Valores logaritmicos</i>		<i>Valores aritmeticos</i>			
	<i>Pronóstico Y</i>	<i>Residuos</i>	<i>Pronóstico Y</i>	<i>Residuos</i>		
1	2.04387476	0.01682308	110.6304706	1.039496617		
2	1.920942368	-0.014068833	83.35705602	0.968124402		
3	2.006693031	-0.012639968	101.5530641	0.971314858		
4	1.891460313	-0.014550001	77.88616364	0.967052381		
5	2.463003019	0.014118235	290.4042844	1.03304261		
6	2.374274502	0.00593674	236.7415583	1.013763708		
7	2.357514695	-0.007266676	227.7795311	0.983407064		
8	2.295047939	-0.00949063	197.2640472	0.978384063		
9	1.974427121	-0.013148442	94.28163837	0.970178304		
10	1.920942368	-0.014068833	83.35705602	0.968124402		
11	1.813550609	0.064971187	65.09544628	1.16137156		
12	1.76169065	-0.016615858	57.76844134	0.962463219		

En la [figura 16](#), se observa la gráfica que se genera utilizando la hoja de cálculo Excel de Microsoft de los valores del [cuadro 10](#), en la misma se puede observar el modelo de la gráfica, este modelo nos indica que el valor de “a” = **1.2782**, este valor corresponde al punto donde se corta al eje “Y”, y como se utilizaron valores logarítmicos, es necesario aplicar antilogaritmo para encontrar el valor aritmético quedando entonces el valor de “a” = **18.975**, en cuanto al valor de “n” pendiente de la gráfica, este corresponde a **0.9839** y no se ve afectado por los logaritmos. En el cuadro 11 se observa el análisis de varianza de los datos del cuadro No 10, se puede observar que los valores para los parámetros “a” y “n” son iguales a los obtenidos en la figura No 16.

Cuadro 11.1 Valores para determinar “b” (valor de ajuste), Método logarítmico, para el vertedero tipo Parshall, río Mongoy.

Medidor Parshall (RIO MONGOY)			Logaritmos		Diferentes valores de "b" o H <sub>0</sub> para que la grafica sea una recta						
	X	Y	X	Y(h±b)	Y(h±b)	Y(h±b)	Y(h±b)	Y(h±b)	Y(h±b)	Y(h±b)	Y(h±b)
Mes	Caudal (lps)	Altura (cm)	Caudal (lps)	(b=0)	-0.5	-0.4	-0.6	0.5	0.4	0.6	0.2
ago-03	193	10.8	2.2856	1.03342	0.53342	0.633424	0.43342376	1.53342376	1.43342376	1.6334238	1.2334238
sep-03	91.47	5.1	1.9613	0.70757	0.20757018	0.307570	0.10757018	1.20757018	1.10757018	1.3075702	0.9075702
oct-03	80.7	4.5	1.9069	0.65321	0.15321251	0.253213	0.05321251	1.15321251	1.05321251	1.2532125	0.8532125
nov-03	75.6	3.5	1.8785	0.54407	0.04406804	0.144068	-0.055932	1.04406804	0.94406804	1.144068	0.744068
dic-03	55.6	3.1	1.7451	0.49136	-0.00864	0.091362	-0.10864	0.99136169	0.89136169	1.0913617	0.6913617
ene-04	115	6	2.0607	0.77815	0.27815125	0.378151	0.17815125	1.27815125	1.17815125	1.3781513	0.9781513
feb-04	80.7	4.5	1.9069	0.65321	0.15321251	0.253213	0.05321251	1.15321251	1.05321251	1.2532125	0.8532125
mar-04	98.64	5.5	1.9941	0.74036	0.24036269	0.340363	0.14036269	1.24036269	1.14036269	1.3403627	0.9403627
abr-04	75.32	4.2	1.8769	0.62325	0.12324929	0.223249	0.02324929	1.12324929	1.02324929	1.2232493	0.8232493
may-04	300	16	2.4771	1.20412	0.70411998	0.804120	0.60411998	1.70411998	1.60411998	1.80412	1.40412
jun-04	240	13	2.3802	1.11394	0.61394335	0.713943	0.51394335	1.61394335	1.51394335	1.7139434	1.3139434
jul-04	224	12.5	2.3502	1.09691	0.59691001	0.696910	0.49691001	1.59691001	1.49691001	1.69691	1.29691
ECUACION $Q=a(h±b)^n$											

En el [cuadro 11.1](#) se pueden observar los valores que se le asignaron a “b” con el propósito de encontrar el valor que permitiera que la gráfica sea una recta, en la [figura 17](#), se puede observar que la gráfica es una curva cóncava hacia abajo en “b”= 0, por consiguiente el valor de “b” es negativo, de esta gráfica se seleccionó los 4 valores de “b”, que permitieran que la gráfica sea una recata incluyendo “b”=0, para volver a graficar estos valores [figura 17.1](#) y poder ver más a detalle el valor que vuelve la gráfica una recta, se observa que el valor es 0.6 y negativo por la concavidad de la gráfica.

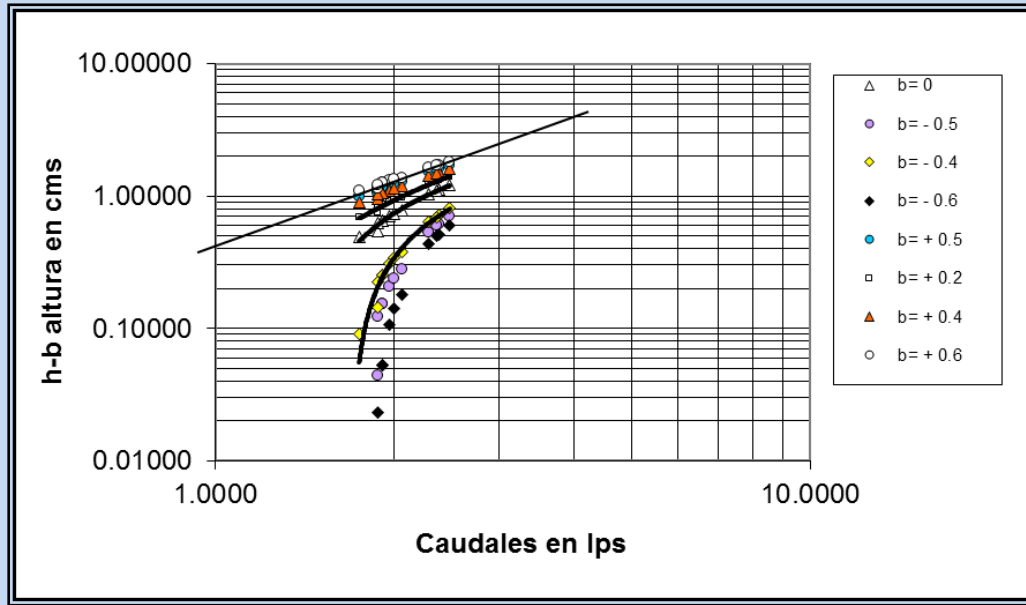


Figura 17. Determinación del mejor ajuste de “ $b$ ”, utilizando el método logarítmico, vertedero tipo Parshall, río Mongoy, curva cóncava hacia abajo en “ $b$ ” = 0

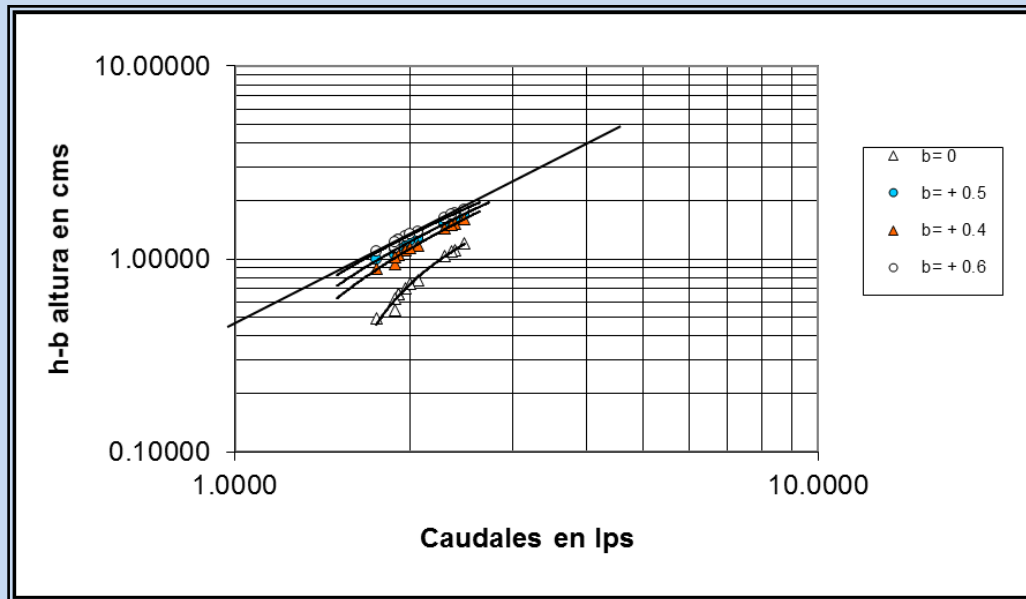


Figura 17.1. Línea recta que determina o define el valor “ $b$ ”, utilizando el método logarítmico, para el vertedero tipo Parshall, río Mongoy, valor obtenido 0.6



### 7.3.3.2 Determinación de la curva de calibración para el vertedero triangular río Cantil.

**Cuadro 12** Obtención de datos logarítmicos estación río Cantil, vertedero triangular para determinar los parámetros “a” y “n”, utilizando, Microsoft Excel.

Obtención de datos logarítmicos				
Mes	Altura cms	Caudal L/s	Log Altura (X)	Log Caudal (Y)
ago-03	25	23.8	1.397940009	1.376576957
sep-03	33	29.3	1.51851394	1.46686762
oct-03	35	35.6	1.544068044	1.551449998
nov-03	26	24.8	1.414973348	1.394451681
dic-03	22	20.5	1.342422681	1.311753861
ene-04	20	16.5	1.301029996	1.217483944
feb-04	25	22.5	1.397940009	1.352182518
mar-04	30	28.6	1.477121255	1.456366033
abr-04	25	23.4	1.397940009	1.369215857
may-04	45	52.4	1.653212514	1.719331287
jun-04	48	60.5	1.681241237	1.781755375
jul-04	35	40.2	1.544068044	1.604226053

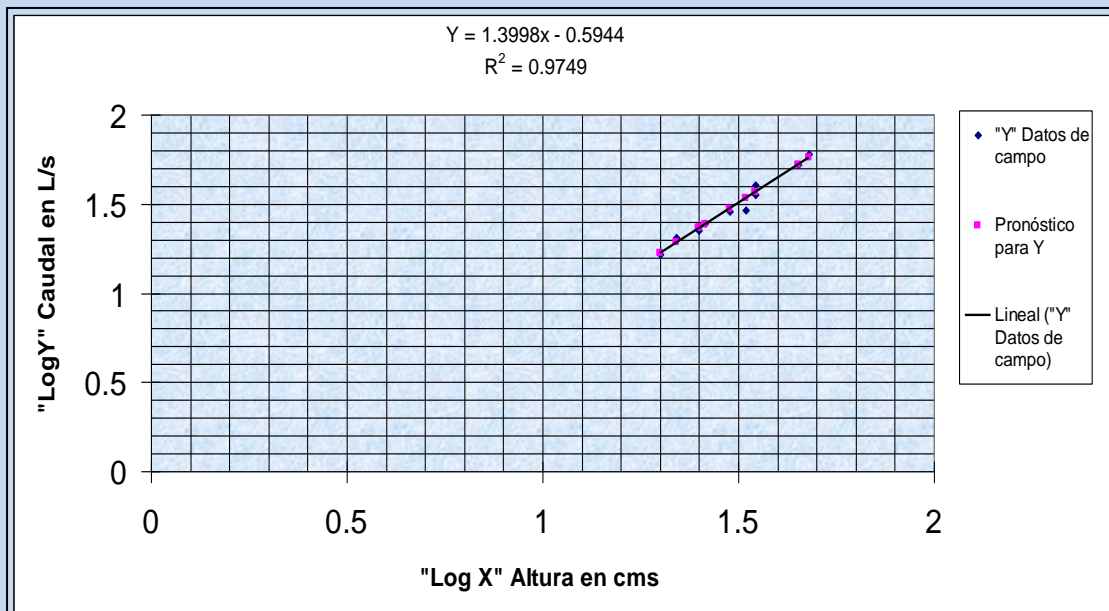


Figura 18 Grafica y ecuación de la recta, obtenida con Microsoft Excel, utilizando valores Log, en el río Cantil, vertedero triangular para obtener los valores de **a** y **n**.

Cuadro 13 Determinación de, “a” y “n” con Microsoft Excel, valores Log vertedero triangular. Río Cantil.

Resumen						
<i>Estadísticas de la regresión</i>						
Coefficiente de correlación múltiple	0.987382586					
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0.974924371					
R <sup>2</sup> ajustado	0.972416808					
Error típico	0.027942055					
Observaciones	12					
<b>ANÁLISIS DE VARIANZA</b>						
	<i>Grados libertad</i>	<i>Suma cuadrados</i>	<i>Promedio cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico F</i>	
Regresión	1	0.303553878	0.303553878	388.7935814	2.46574E-09	
Residuos	10	0.007807585	0.000780758			
Total	11	0.311361463				
	<i>Coefficientes</i>	<i>Error Estandar</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>
Intercepción (a)	-0.594436833	0.104847589	-5.66953266	0.000206803	-0.828051819	-0.360821846
Variable X (n) pendiente	1.399787423	0.070990877	19.71784931	2.46574E-09	1.241609891	1.557964954
<b>Análisis de los residuales</b>						
	<i>Valores logaritmicos</i>			<i>Valores aritmeticos</i>		
<i>Observación</i>	<i>Pronóstico Y</i>	<i>Residuos</i>	<i>Pronóstico Y</i>	<i>Residuos</i>		
1	1.226728592	-0.009244648	16.85499359	0.978938373		
2	1.362382009	-0.010199491	23.03467076	0.976788435		
3	1.473218921	-0.016852888	29.73164382	0.961938067		
4	1.362382009	0.006833848	23.03467076	1.015859972		
5	1.719709251	-0.000377964	52.44562328	0.999130084		
6	1.758943506	0.022811869	57.40417845	1.053930247		
7	1.566930196	0.037295858	36.89182973	1.089672166		
8	1.362382009	0.014194948	23.03467076	1.0332251		
9	1.531159881	-0.064292261	33.97503255	0.862397996		
10	1.566930196	-0.015480198	36.89182973	0.964983311		
11	1.386225063	0.008226618	24.3346477	1.019123034		
12	1.284669552	0.027084309	19.26058846	1.06434962		

En la [figura 18](#), se observa la gráfica que se genera utilizando la hoja de cálculo Excel de Microsoft de los valores del [cuadro 12](#), en la misma se puede observar el modelo de la gráfica, este modelo nos indica que el valor de “a” = **-0.5944**, este valor corresponde al punto donde se corta al eje “Y”, y como se utilizaron valores logarítmicos, es necesario aplicar antilogaritmo para encontrar el valor aritmético quedando entonces el valor de “a” = **0.2544**, en cuanto al valor de “n” pendiente de la gráfica, este corresponde a **1.3997** y no se ve afectado por los logaritmos. En el [cuadro 13](#) se observa el análisis de varianza de los datos del [cuadro 12](#), se puede observar que los valores para los parámetros “a” y “n” son iguales a los obtenidos en la [figura 18](#).

Cuadro 13.1 Datos para determinar “b”, (valor de ajuste) Método logarítmico, para el vertedero triangular, río Cantil

Vertedero Triangular (RIO CANATIL)			Logaritmos		Diferentes valores de "b" o H <sub>0</sub> para que la grafica sea una recta						
	X	Y	X	Y(h±b)	Y(h±b)	Y(h±b)	Y(h±b)	Y(h±b)	Y(h±b)	Y(h±b)	Y(h±b)
Mes	Caudal (lps)	Altura (cm)	Caudal (lps)	(b=0)	-0.5	-0.4	-0.6	0.5	0.4	0.6	0.2
ago-03	23.8	25	1.3766	1.39794	0.89794001	0.997940	0.79794001	1.89794001	1.79794001	1.99794001	1.59794001
sep-03	29.3	33	1.4669	1.51851	1.01851394	1.118514	0.91851394	2.01851394	1.91851394	2.11851394	1.71851394
oct-03	35.6	35	1.5514	1.54407	1.04406804	1.144068	0.94406804	2.04406804	1.94406804	2.14406804	1.74406804
nov-03	24.8	26	1.3945	1.41497	0.91497335	1.014973	0.81497335	1.91497335	1.81497335	2.01497335	1.61497335
dic-03	20.5	22	1.3118	1.34242	0.84242268	0.942423	0.74242268	1.84242268	1.74242268	1.94242268	1.54242268
ene-04	16.5	20	1.2175	1.30103	0.80103	0.901030	0.70103	1.80103	1.70103	1.90103	1.50103
feb-04	22.5	25	1.3522	1.39794	0.89794001	0.997940	0.79794001	1.89794001	1.79794001	1.99794001	1.59794001
mar-04	28.6	30	1.4564	1.47712	0.97712125	1.077121	0.87712125	1.97712125	1.87712125	2.07712125	1.67712125
abr-04	23.4	25	1.3692	1.39794	0.89794001	0.997940	0.79794001	1.89794001	1.79794001	1.99794001	1.59794001
may-04	52.4	45	1.7193	1.65321	1.15321251	1.253213	1.05321251	2.15321251	2.05321251	2.25321251	1.85321251
jun-04	60.5	48	1.7818	1.68124	1.18124124	1.281241	1.08124124	2.18124124	2.08124124	2.28124124	1.88124124
jul-04	40.2	35	1.6042	1.54407	1.04406804	1.144068	0.94406804	2.04406804	1.94406804	2.14406804	1.74406804
ECUACION $Q=(h±b)$ h es igual a la altura; Q es caudal y b el valor a determinar											

En el [cuadro 13.1](#) se pueden observar los valores que se le asignaron a “b” con el propósito de encontrar el valor que permitiera que la gráfica sea una recta, en la [figura 19](#), se puede observar que la gráfica es una curva cóncava hacia abajo en “b”= 0, por consiguiente el valor de “b” es negativo, de esta gráfica se seleccionó 5 valores de “b”, que permitieran que la gráfica sea una recata incluyendo “b”=0, para volver a graficar estos valores [figura 19.1](#) y poder ver más a detalle el valor que vuelve la gráfica una recta, se observa que el valor es 0.4 y negativo por la concavidad de la gráfica

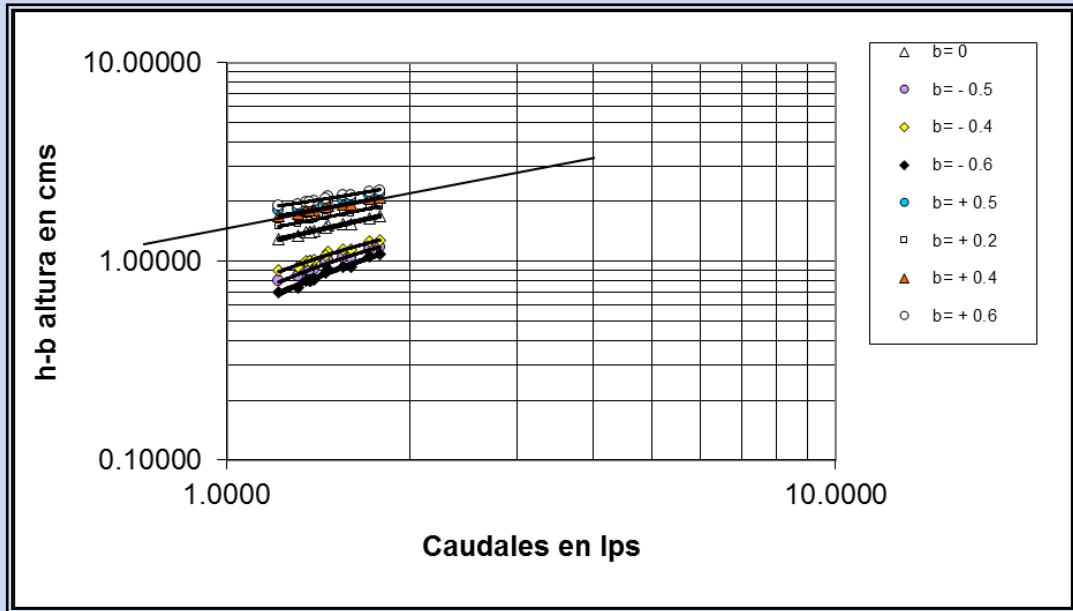


Figura 19 Determinación del mejor ajuste de “ $b$ ” por medio del método logarítmico, vertedero triangular, río Cantil, curva cóncava hacia abajo en “ $b$ ” = 0

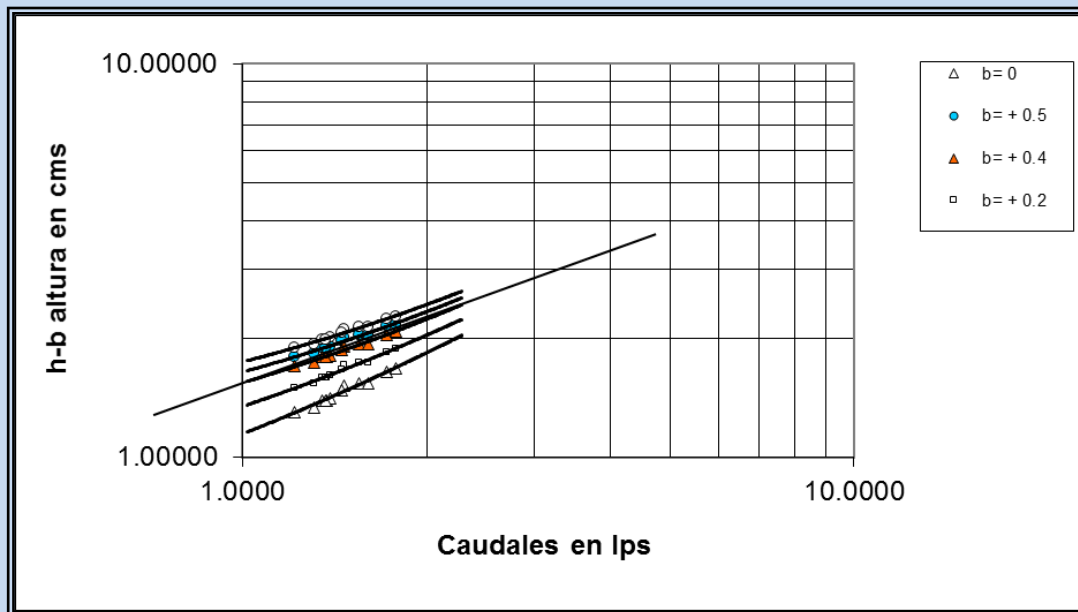


Figura 19.1 Línea recta que determina o define el valor de “ $b$ ” utilizando el método logarítmico, para este caso el valor obtenido es de 0.4, vertedero triangular, río Cantil.

### 7.3.3.3 Determinación de la curva de calibración para el vertedero rectangular.

Cuadro 14 Obtención de datos logarítmicos estación río Cantil, vertedero rectangular para determinar los parámetros “a” y “n”, utilizando, Microsoft Excel.

Obtención de datos logarítmicos				
Mes	Altura cm	Caudal L/s	Log Altura (X)	Log Caudal (Y)
ago-03	35	166.7	1.544068044	2.2219356
sep-03	45	200.8	1.653212514	2.302763708
oct-03	48	216.5	1.681241237	2.335457901
nov-03	35	160.4	1.544068044	2.205204364
dic-03	32	142.5	1.505149978	2.153814864
ene-04	30	125.5	1.477121255	2.098643726
feb-04	37	175.6	1.568201724	2.244524512
mar-04	42	205.2	1.62324929	2.312177356
abr-04	34	165.8	1.531478917	2.219584526
may-04	60	470.5	1.77815125	2.672559628
jun-04	60	475.6	1.77815125	2.677241846
jul-04	48	225.2	1.681241237	2.352568386

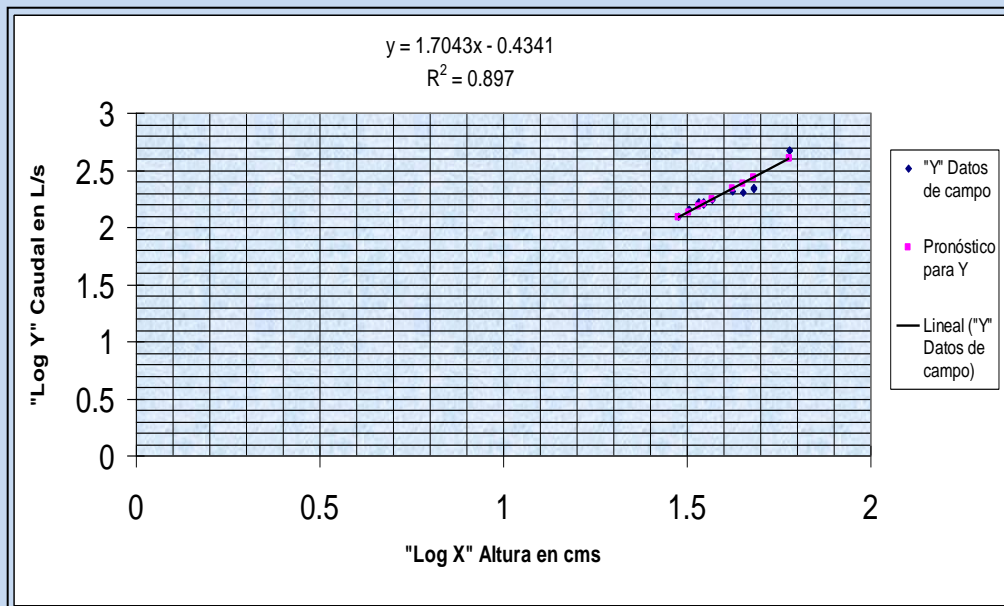


Figura 20 Grafica y ecuación de la recta, obtenida con Microsoft Excel, utilizando valores Log en el río Cantil, vertedero rectangular para obtener los valores de “a” y “n”.

Cuadro 15 Determinación de “a” y “n”, con Microsoft Excel, utilizando valores Log, vertedero rectangular, río Cantil.

Resumen						
<i>Estadísticas de la regresión</i>						
Coeficiente de correlación múltiple	0.947106331					
Coeficiente de determinación R <sup>2</sup>	0.897010403					
R <sup>2</sup> ajustado	0.886711443					
Error típico	0.061614175					
Observaciones	12					
ANÁLISIS DE VARIANZA						
	<i>Grados libertad</i>	<i>Suma cuadrados</i>	<i>Promedio cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>	
Regresión	1	0.330647614	0.330647614	87.09718533	2.98259E-06	
Residuos	10	0.037963065	0.003796307			
Total	11	0.36861068				
	<i>Coeficientes</i>	<i>Error Estandar</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>
Intercepción (a)	-0.434054404	0.295248449	-1.470132715	0.172274724	-1.091908942	0.22380013
Variable X (n) pendiente	1.704340757	0.182622536	9.332587279	2.98259E-06	1.297432391	2.11124912
Análisis de los residuales						
<i>Observación</i>	<i>Valores logarítmicos</i>			<i>Valores aritméticos</i>		
	<i>Pronóstico Y</i>	<i>Residuos</i>		<i>Pronóstico Y</i>	<i>Residuos</i>	
1	2.083463553	0.015180173		121.1890979	1.035571699	
2	2.238695709	0.005828803		173.2589622	1.013511785	
3	2.33251552	-0.020338163		215.0381522	0.954249271	
4	2.176107532	0.043476994		150.0056206	1.105291917	
5	2.596521243	0.076038384		394.9310167	1.191347299	
6	2.596521243	0.080720603		394.9310167	1.204260947	
7	2.431353558	-0.078785172		269.9936552	0.834093675	
8	2.197563695	0.024371905		157.602715	1.057722895	
9	2.383583062	-0.080819354		241.8705891	0.830196018	
10	2.431353558	-0.095895658		269.9936552	0.801870695	
11	2.197563695	0.007640669		157.602715	1.017748964	
12	2.131234049	0.022580816		135.2801415	1.053369685	

En la [figura 20](#), se observa la gráfica que se genera utilizando la hoja de cálculo Excel de Microsoft de los valores del cuadro No 14, en la misma se puede observar el modelo de la gráfica, este modelo nos indica que el valor de “a” = **-0.4341**, este valor corresponde al punto donde se corta al eje “Y”, y como se utilizaron valores logarítmicos, es necesario aplicar antilogaritmo para encontrar el valor aritmético quedando entonces el valor de “a” = **0.3680**, en cuanto al valor de “n” pendiente de la gráfica, este corresponde a **1.7043** y no se ve afectado por los logaritmos. En el [cuadro 15](#) se observa el análisis de varianza de los datos del [cuadro 14](#), se puede observar que los valores para los parámetros “a” y “n” son iguales a los obtenidos en la [figura 20](#).

Cuadro 15.1 Datos para determinar “b”, (valor de ajuste), Método logarítmico, para el vertedero rectangular río Cantil

Vertedero Rectangular (RIO CANTIL)			Logaritmos		Diferentes valores de "b" o H <sub>0</sub> para que la grafica sea una recta						
	X	Y	X	Y(h±b)	Y(h±b)	Y(h±b)	Y(h±b)	Y(h±b)	Y(h±b)	Y(h±b)	Y(h±b)
Mes	Caudal (lps)	Altura (cm)	Caudal (lps)	(b=0)	-0.5	-0.2	-0.6	0.5	0.4	0.6	0.2
ago-03	166.7	35	2.2219	1.54407	1.04406804	1.344068	0.94406804	2.04406804	1.94406804	2.14406804	1.74406804
sep-03	200.8	45	2.3028	1.65321	1.15321251	1.453213	1.05321251	2.15321251	2.05321251	2.25321251	1.85321251
oct-03	216.5	48	2.3355	1.68124	1.18124124	1.481241	1.08124124	2.18124124	2.08124124	2.28124124	1.88124124
nov-03	160.4	35	2.2052	1.54407	1.04406804	1.344068	0.94406804	2.04406804	1.94406804	2.14406804	1.74406804
dic-03	142.5	32	2.1538	1.50515	1.00514998	1.305150	0.90514998	2.00514998	1.90514998	2.10514998	1.70514998
ene-04	125.5	30	2.0986	1.47712	0.97712125	1.277121	0.87712125	1.97712125	1.87712125	2.07712125	1.67712125
feb-04	175.6	37	2.2445	1.56820	1.06820172	1.368202	0.96820172	2.06820172	1.96820172	2.16820172	1.76820172
mar-04	205.2	42	2.3122	1.62325	1.12324929	1.423249	1.02324929	2.12324929	2.02324929	2.22324929	1.82324929
abr-04	165.8	34	2.2196	1.53148	1.03147892	1.331479	0.93147892	2.03147892	1.93147892	2.13147892	1.73147892
may-04	470.5	60	2.6726	1.77815	1.27815125	1.578151	1.17815125	2.27815125	2.17815125	2.37815125	1.97815125
jun-04	475.6	60	2.6772	1.77815	1.27815125	1.578151	1.17815125	2.27815125	2.17815125	2.37815125	1.97815125
jul-04	225.2	48	2.3526	1.68124	1.18124124	1.481241	1.08124124	2.18124124	2.08124124	2.28124124	1.88124124
ECUACION Q=(h±b) h es igual a la altura; Q es caudal y b el valor a determinar											

En el [cuadro 15.1](#) se pueden observar los valores que se le asignaron a “b” con el propósito de encontrar el valor que permitiera que la gráfica sea una recta, en la [figura 20](#), se puede observar que la gráfica es una curva cóncava hacia abajo en “b”= 0, por consiguiente el valor de “b” es negativo, de esta gráfica se seleccionó 5 valores de “b”, que permitieran que la gráfica sea una recata incluyendo “b”=0, para volver a graficar estos valores [figura 20.1](#) y poder ver más a detalle el valor que vuelve la gráfica una recta, se observa que el valor es 0.2 y negativo por la concavidad de la gráfica



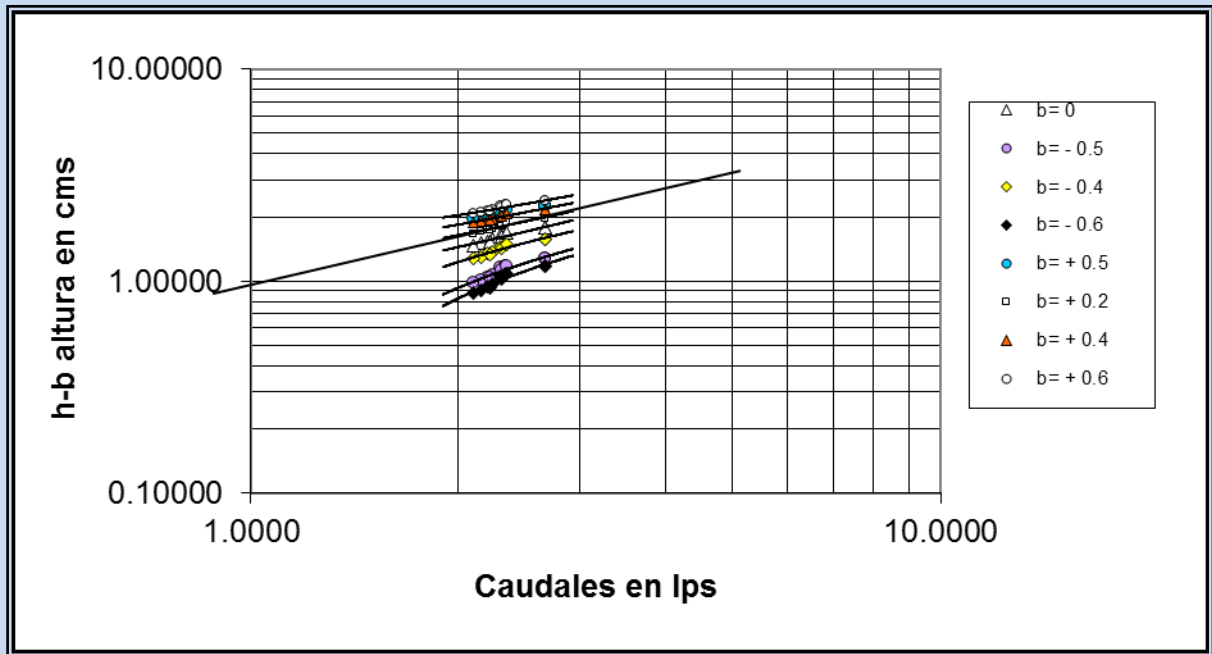


Figura 20. Determinación del mejor ajuste de “ $b$ ” por medio del método logarítmico, vertedero rectangular, río Cantil, curva cóncava hacia abajo en “ $b$ ” = 0

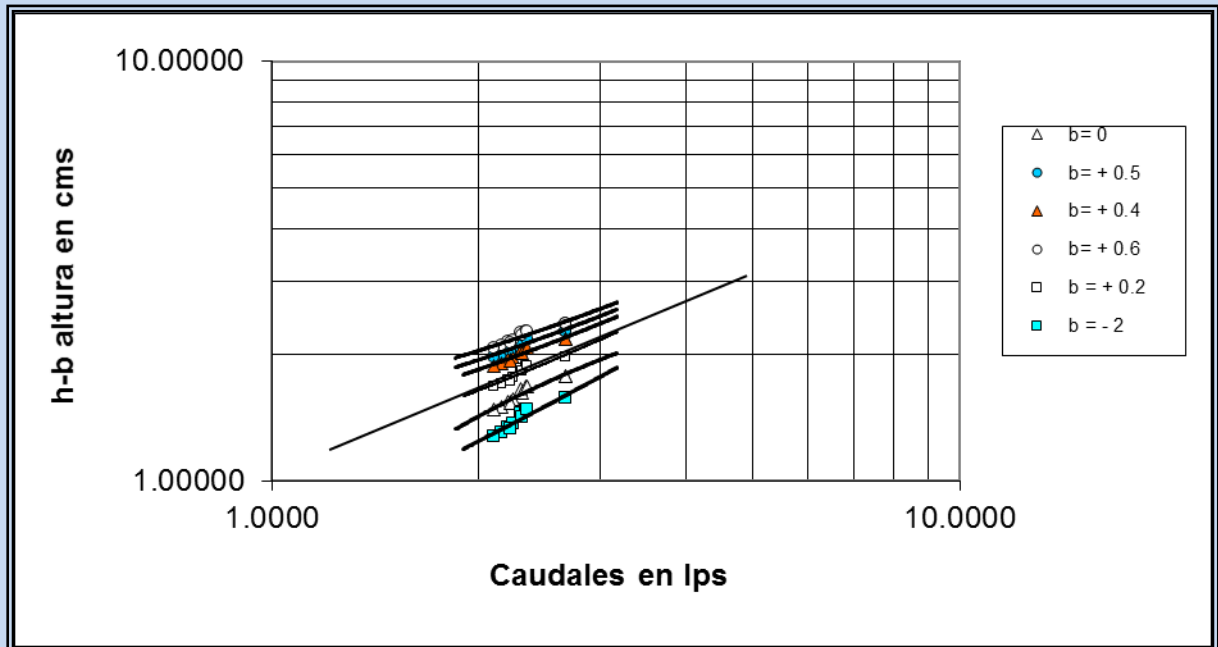


Figura 20.1. Línea recta que determina o define el valor de “ $b$ ” utilizando el método logarítmico, para este caso el valor obtenido es de 0.2, Vertedero rectangular, río Cantil.

Cuadro 16 Modelos generados para predecir los gastos o caudales según la relación altura-caudal, en las estaciones hidrométricas, ubicadas en la Unidad Docente Productiva Finca Sabana Grande.

UBICACIÓN Y ESTRUCTURA	METODOS	M. Analítico		M. Microsoft Excel		M. Gráfico		Parametro de Ajuste		
		Parametros		Parametros		Parametros		b		
		a	n	a	n	a	n	M. Logaritmico	M. Running	M. Johnson
Río Cometa Canal Rectangular	Valores aritmeticos								-0.5	-0.633
	Valores Ln	12.6135	1.1655	12.6139	1.1655					
	Valores Log	12.6135	1.1655	12.6124	1.1655			-0.45		
	Escala logaritmica, valores logaritmicos					12.589	1.166			
	Escala logaritmica, valores aritmeticos					12.6	1.1549			
	Escala aritmetica, valores logaritmicos					12.589	1.15			
	Escala aritmetica, valores aritmeticos					12.5	1.1594			
MODELO GENERADO	$Q = 12.613(h-0.45)^{1.16}$									
Río Mongoy Medidor Parshall	Valores aritmeticos									
	Valores Ln									
	Valores Log			18.975	0.9839			-0.6		
	MODELO GENERADO	$Q = 18.975(h-0.6)^{0.98}$								
Río Cantil Vertedero Triangular	Valores aritmeticos									
	Valores Ln									
	Valores Log			0.2544	1.3997			-0.4		
	MODELO GENERADO	$Q = 0.2544(h-0.40)^{1.39}$								
Río Cantil Vertedero Rectangular	Valores aritmeticos									
	Valores Ln									
	Valores Log			0.368	1.7043			-0.2		
	MODELO GENERADO	$Q = 0.368(h-0.2)^{1.70}$								

La fórmula general para determinar la curva de calibración de caudales es  $Q = a (h \pm b)^n$ , donde “a”, “n” y “b” son constantes, la “h” es la altura medida o tirante del cauce, para este trabajo está dado en centímetros. El modelo que representa la curva de calibración de caudales es potencial, por consiguiente, para determinar estos parámetros o estimadores, nos auxiliamos del método de mínimos cuadrados, modificando los datos a valores logarítmicos naturales (Ln) o logarítmicos de base 10 (Log) para realizar el análisis. En el canal rectangular, río Cometa se realizó la determinación de los parámetros utilizando valores Log y Ln, para determinar si existe diferencia en los resultados según los logaritmos utilizados.

Para determinar los parámetros “a” y “n” existen tres métodos. El método analítico, Método Gráfico y utilizando Microsoft Excel. En el Canal Rectangular, ubicado en la estación Río Cometa, se utilizaron los tres métodos, para ejemplificar cada uno de ellos. En los cuadros 5 y 5.1 se ejemplifica el método analítico utilizando valores Log y Ln, en los cuadros 6.1 y 6.2 se ejemplifica el uso de Microsoft Excel, utilizando valores Log y Ln, en las figuras 12 y 12.1, se pueden observar las gráficas generadas con Excel, donde aparece el modelo lineal de la curva de calibración de caudales. En la parte de Anexos se puede observar el método gráfico para determinar los parámetros “a” y “n”. Para el método analítico, se tiene un coeficiente de correlación (R) de 0.99 y un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de 0.98, utilizando valores logarítmicos naturales y de base 10 lo que indica que el modelo representa en un 99 %, una relación lineal entre las variables “X” y la variable “Y” con valores logarítmicos, o bien una relación potencial en un 99% entre las mismas variables pero con valores aritméticos, pues los valores logarítmicos es para linealizar la ecuación potencial. Por otra parte un 98 % de la variación de los valores logarítmicos de “Y” se deben a una relación lineal con los valores logarítmicos de “X” o bien la variación de los valores aritméticos de “Y” se deben en un 98 % a una relación potencial con los valores aritméticos de “X”. En el cuadro 6.1 y 6.2 se observa los cálculos realizados con Microsoft Excel, el análisis de residuos, nos indica que el coeficiente de correlación (R) es de 99% y el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) es de 98%. También se puede observar la diferencia que existe entre los valores registrados en campo y los pronosticados por el modelo, estos se encuentran en forma logarítmica, por consiguiente es necesario para obtener los valores aritméticos, aplicando la función inversa (Exponencial) para el caso de logaritmos naturales y  $10^x$  en el caso de logaritmos base 10 (Log). Para aclarar se ejemplificará la observación No 1, del análisis de residuales del cuadro 6.1, los logaritmos neperianos o naturales (Ln) se basan en la constante “e” que es igual a “2.718282, mientras los logaritmos base 10 se basan precisamente en el número 10. Con calculadora, se tecléa el dato pronosticado por el modelo 4.521733671 luego se presiona la tecla 2nd F de Ln, que es  $e^x$  y se genera el valor aritmético (91.99494317), otra manera es que el dato de la constante “e” se debe elevar al dato calculado ( $2.718282^{4.521731671} = 91.99494317$ ) de igual forma se hace si el dato es con logaritmos base 10 cuadro 6.2, para lo cual se utiliza la 2nd F de Log la cual es  $10^x$ . Con el programa Excel de Microsoft, se debe seleccionar la celda donde se quiere realizar el cálculo y se coloca la fórmula, =EXP (Número) o bien =EXP (4.52173167), en el primero caso el Número se refiere al código de celda (No de fila y letra de columna) donde se encuentra el dato a transformar, en el caso de los logaritmos base 10 en lugar de colocar EXP, se pone 10 y se eleva al valor que se quiere invertir es decir ( $10^{4.52173167} = 91.9947$ ). En la figura 12 y 12.1, se observan la gráfica que representa la curva de calibración de caudales, con valores logarítmicos naturales y logarítmicos base 10 las cuales se generaron con los datos del cuadro 6. En la parte superior de cada figura se nota el coeficiente de determinación ( $R^2$ ). Los puntos en negro son los pares de datos obtenidos en campo con los cuales se generó la curva y en rosado los pares de datos pronosticados por la fórmula o modelo obtenido.

Existen tres métodos para determinar el parámetro “b”, estos son, el Método Logarítmico, Método de Running y el Método de Johnson. En el canal rectangular, río Mongoy, se determinó el valor del parámetro “b” utilizando los tres métodos para ejemplificarlos. En la [figura 13.1](#) se observa el resultado del valor de “b”, con el método logarítmico, en la [figura 14.1](#) página 51 se observa el valor de “b”, con el método de RUNNING, en la [figura 15](#) se observa el valor de “b”, con el método de JOHNSON. En el [cuadro 11](#), se observa el análisis de datos para el medidor Parshall, ubicado en la estación Río Mongoy, los valores utilizados son Log cuadro No 10, los resultados de los parámetros, “a” y “n” para la ecuación normal de la curva de calibración son:  $a = 1.27821955$  al aplicarle antilogaritmo (18.9766) y  $n = 0.9839$ . En los mismo cuadros se pueden observar el análisis de varianza y el análisis de residuos, el análisis de varianza nos dio un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de 0.99 y un coeficiente de correlación (R) de 0.99, lo cual nos indica que en un 99 % el modelo representa un relación lineal entre los valores logarítmicos de las variables “X” y “Y” o bien una relación potencial en un 99% entre las mismas variables con valores aritméticos. Por otra parte un 99 % de la variación de los valores logarítmicos de “Y” se deben a una relación lineal con los valores logarítmicos de “X” o bien la variación de los valores aritméticos de “Y” se deben en un 99 % a una relación potencial con los valores aritméticos de “X”. En la [figura 16](#), se observa la gráfica que representa la curva de calibración de caudales para el medidor Parshall, río Mongoy. En la parte superior de la figura se nota el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) y la ecuación o modelo lineal generado. En el [cuadro 11.1](#) página 55 se observan los valores para determinar el parámetro “b”, valor de ajuste para el medidor Parshall, en la [figura 17.1](#), se observa la gráfica que determina el valor de “b”, siendo este de -0.6. En el [Cuadro 13](#) se observa el análisis de datos para el vertedero triangular con valores logarítmicos base 10, ubicado en la estación río Cantil, los resultados de los parámetros, “a” y “n” tenemos  $a = -0.59443$  al aplicarle antilogaritmo (0.254) y  $n = 1.3997$  para el vertedero triangular, en el [cuadro 13.1](#), se observan los valores para determinar el parámetro “b”, valor de ajuste para el vertedero triangular, en la [figura 19.1](#) página 60, se observa la gráfica que determina el valor de “b”, siendo este de -0.4. En el [Cuadro 15](#) se observa el análisis de datos para el vertedero rectangular con valores logarítmicos base 10, ubicado en la estación río Cantil, los resultados de los parámetros, “a” y “n” tenemos  $a = -0.43405$  al aplicarle antilogaritmo (0.368) y  $n = 1.7043$ , en el [cuadro 15.1](#) se observan los valores para determinar el parámetro “b”, valor de ajuste para el vertedero rectangular, en la [figura 20.1](#), se observa la gráfica que determina el valor de “b”, siendo este de -0.2. En el [Cuadro 16](#), se observan los valores de los parámetros “a”, “n” y “b”, según cada método utilizado para cada estructura de aforo, también se observan los modelos generados para predecir los gastos o caudales según la relación altura-caudal.

#### 7.4 Curva de duración de caudales o caudales característicos

Las curvas de duración de caudales, se determinaron con los registros obtenidos de los aforos realizados una vez por mes, con el método sección-velocidad, [cuadro 4](#). Con la curva se determinó para cada una de las estructuras los caudales característicos siguientes; **Máximo**; caudal igualado o excedido 10 días del año (2.74%  $\approx$  3 %), **Medio**; caudal igualado o excedido 180 días del año (50%), **Estiaje**; caudal igualado o excedido 335 días del año (97.3%), **Aguas altas**; caudales comprendidos entre 0 y 90 días (0 % a 24.66 %), **Aguas medias**; caudales comprendidos entre 90 y 270 días (24.66 % a 73.8%) y **Aguas bajas**; caudales comprendidos entre 270 a 365 días (73.8 % a 100 %), en paréntesis el tiempo de ocurrencia de cada caudal

característico representado en porcentaje. También se calcularon para 1, 3 y 9 Meses (8.34%, 25% y 75 %) Los resultados obtenidos son los siguientes, [cuadro 18](#).

Cuadro 17 Análisis de datos para determinar la curva de duración de caudales o caudales característicos para el Canal Rectangular, Medidor Parshall y los Vertederos Triangular y Rectangular, utilizando el **método sección velocidad (Método comparador)**.

Caudales en L/s ordenados de forma ascendente				C = Canal M = Medidor V = Vertedero Frec. Acu. : Frecuencia acumulada
Cometa	Mongoy	Cantil		
C. Rectangular	M. Parshall	V. Triangular	V. Rectangular	
65	55.6	16.5	125.5	
66.1	75.32	20.5	142.5	
81.5	75.6	22.5	160.4	
86.5	80.7	23.4	165.8	
87.1	80.7	23.8	166.7	
88.5	91.47	24.8	175.6	
92.5	98.64	28.6	200.8	
119.8	115	29.3	205.2	
130.4	193	35.6	216.5	
145.6	224	40.2	225.2	
233	240	52.4	470.5	
252	300	60.5	475.6	

	Rio Cometa	Rio Mongoy	Río Cantil	
Formula de Stugar para número de clases	Canal Rectangular	Medidor Parshall	V. Trian	V. Rectan
No de clases = $1 + 3.3 \text{ Log } N$ .	4.56	4.56	5	5
Amplitud o Rango ( R )				
R= Dato mayor - Dato menor	187	244.4	44	350.1
Intervalo de clase (i)				
i = Rango / No de clase	41.009	53.596	8.8	70.02

RIO COMETA							
Limites	Frecuencias	Frec. Acu.	% Frec. Acu	Marca de clases	X*	Y1	Y2*
64 - 104.99	7	14	100	84.495	<b>100</b>	84.495	<b>64</b>
105 - 145.99	3	7	50	125.495	<b>50</b>	125.495	<b>105</b>
146 - 186.99	2	4	28.57	166.495	<b>28.57</b>	166.495	<b>146</b>
187 - 227.99	1	2	14.29	207.495	<b>14.29</b>	207.495	<b>187</b>
228 - 269	1	1	7.14	248.5	<b>7.14</b>	248.5	<b>228</b>

RIO MONGOY							
Limites	Frecuencias	Frec. Acu.	% Frec. Acu	Marca de clases	X*	Y1	Y2*
54 - 107.99	7	12	100	81.00	<b>100</b>	81.00	<b>54</b>
108. - 161.99	1	5	41.67	135.00	<b>41.67</b>	135.00	<b>108</b>
162 - 215.99	0	4	33.33	189.00	<b>33.33</b>	189.00	<b>162</b>
216 - 269.99	2	4	33.33	243.00	<b>33.33</b>	243.00	<b>216</b>
270 - 325	2	2	16.67	297.50	<b>16.67</b>	297.50	<b>270</b>

RIO CANTIL VERTEDERO TRIANGULAR							
Limites	Frecuencias	Frec. Acu.	% Frec. Acu.	Marca de clases	X*	Y1	Y2*
15.5-24.49	5	12	100	20.00	<b>100</b>	20.00	<b>15.5</b>
24.5-33.49	3	7	58.33	29.00	<b>58.33</b>	29.00	<b>24.5</b>
33.5-42.49	2	4	33.33	38.00	<b>33.33</b>	38.00	<b>33.5</b>
42.5-51.49	0	2	16.67	47.00	<b>16.67</b>	47.00	<b>42.5</b>
51.5-61.5	2	2	16.67	56.50	<b>16.67</b>	56.50	<b>51.5</b>

RIO CANTIL VERTEDERO RECTANGULAR							
Limites	Frecuencias	Frecuencias A	% Frec. Acu.	Marca de clases	X*	Y1	Y2*
124.5-194.49	6	12	100	159.50	<b>100</b>	159.50	<b>124.5</b>
194.5-264.49	4	6	50	458.99	<b>50</b>	458.99	<b>194.5</b>
264.5 -334.49	0	2	16.67	299.50	<b>16.67</b>	299.50	<b>264.5</b>
334.5-404.49	0	2	16.67	369.50	<b>16.67</b>	369.50	<b>334.5</b>
404.5-476	2	2	16.67	440.25	<b>16.67</b>	440.25	<b>404.5</b>

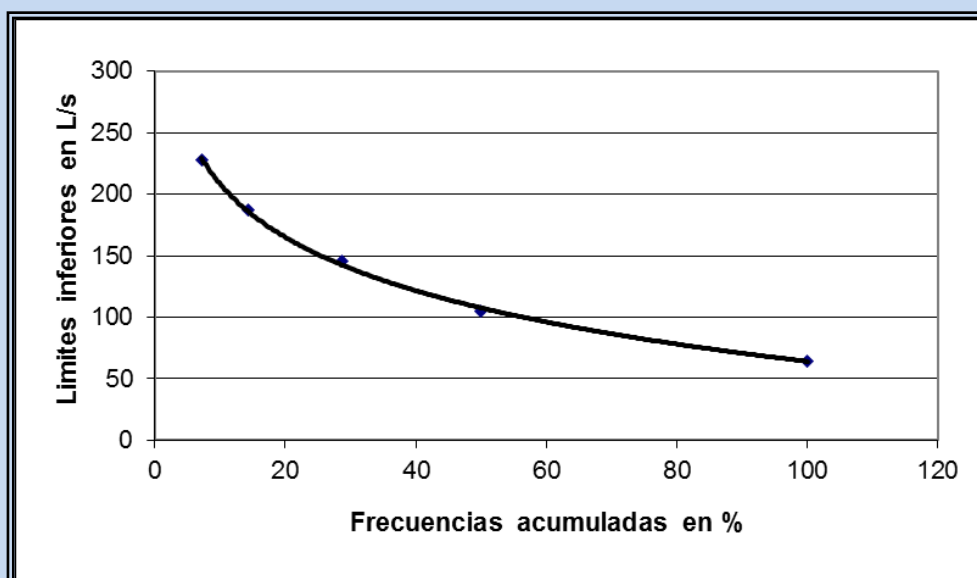


Figura 21. Curva de duración de caudales, para el canal rectangular, río Cometa.

Cuadro 18 Caudales característicos, para el canal rectangular, río Cometa, determinados con la gráfica de la figura 21.

Caudales Característicos	Frecuencia Acumuladas en %	Caudales Determinados L/s
Maximo	3	283.99
Medio	50	107.59
Estiaje	97.3	65.84
1 er Mes	8.34	219.88
3 er Mes	25	151.05
9 no Mes	75	82.16
Aguas altas	0.01	641.61
	24.66	151.91
Aguas medias	24.66	151.91
	73.8	83.17
Aguas bajas	73.8	83.17
	100	64.13

En el [cuadro 17](#) se observa el análisis de datos para determinar las curvas de duración de caudales para cada estructura, utilizando los registros de caudales obtenidos con el método sección velocidad ([Cuadro 4 página 41](#)) los pares de datos que se utilizaron para generar la gráfica son  $X^*$  y  $Y2^*$ , [ver cuadro 17](#). Los aforos del [cuadro 4](#) y los caudales característicos determinados con estos registros corresponden a 12 meses, de Agosto de 2003 a Julio 2004.

En la [figura 21](#) se observa la curva de duración de caudales para el canal rectangular ubicado en la estación río Cometa, con la cual se generaron los caudales característicos reportados en el [cuadro 18](#). El caudal máximo reportado para esta estructura es de 283.99 L/s y se da solo durante el 3 % del tiempo, el 97.3 % del tiempo se reporta un caudal de 65.84 L/s, el caudal medio correspondiente al 50 % es de 107.59 L/s. Se calcularon los caudales para un mes, tres meses y nueve meses, el 8.34 % del tiempo correspondiente a un mes se da un gasto de 219.88 L/s, mientras que para el 75 % del tiempo correspondiente a nueve meses se da un gasto de 82.16 L/s. Las aguas altas reportadas para el canal rectangular oscilan entre los 151.91 L/s a

641.61 L/s, mientras las agua bajas oscilan entre 64.13 L/s a 83.17 L/s, las aguas medias oscilan entre 83.17 L/s y 151.91 L/s.

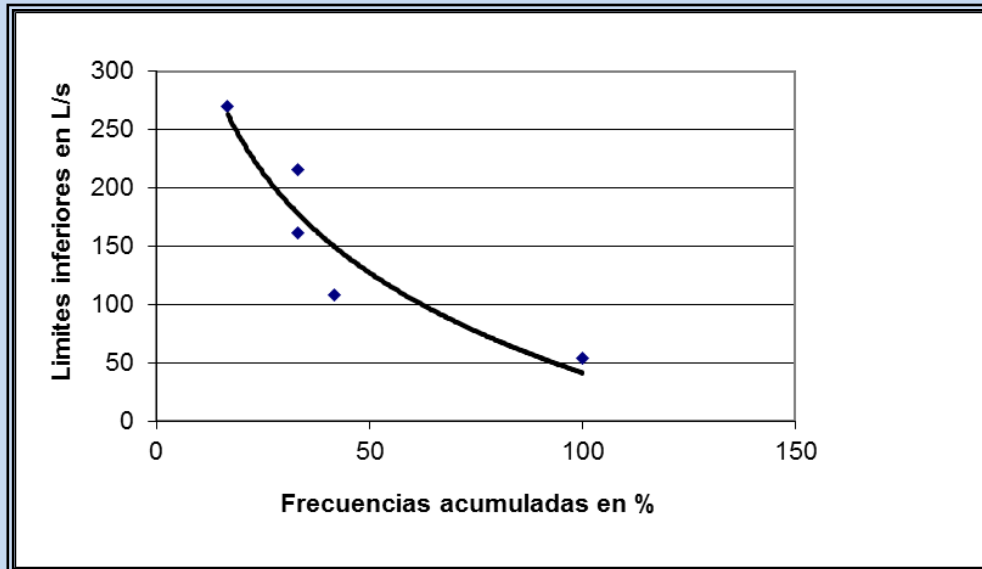


Figura 22. Curva de duración de caudales, para el medidor Parshall, río Mongoy.

Cuadro 19 Caudales característicos, para el medidor Parshall, río Mongoy determinados con la gráfica de la figura 22.

Caudales Característicos	Frecuencias Acumuladas en %	Caudales Determinados L/s
Maximo	3	476.42
Medio	50	127.28
Estiaje	97.3	44.66
1 er Mes	8.34	349.54
3 er Mes	25	213.30
9 no Mes	75	76.96
Aguas altas	0.01	1184.26
	24.66	215.00
Aguas medias	24.66	215.00
	73.8	78.96
Aguas bajas	73.8	78.96
	100	41.26

En la [figura 22](#) se observa la curva característica de caudales para el medidor Parshall ubicado en la estación río Mongoy, con la cual se generaron los caudales característicos reportados en el [cuadro 19](#). El caudal máximo reportado para esta estructura es de 476.42 L/s y se da solo durante el 3 % del tiempo, el 97.3 % del tiempo se reporta un caudal de 44.66 L/s, el caudal medio correspondiente al 50 % es de 127.28 L/s. Se calcularon los caudales para un mes, tres meses y nueve meses, el 8.34 % del tiempo correspondiente a un mes se da un gasto de 349.54 L/s, mientras que para el 75 % del tiempo correspondiente a nueve meses se da un gasto de 76.96 L/s para tres meses 25 % se da un gasto de 213.30 L/s. Las aguas altas reportadas para



el medidor Parshall oscilan entre los 215.00 L/s a 1184.26 L/s, mientras las agua bajas oscilan entre 41.26 L/s a 78.96 L/s, las aguas medias oscilan entre 78.96 L/s y 215.00 L/s.

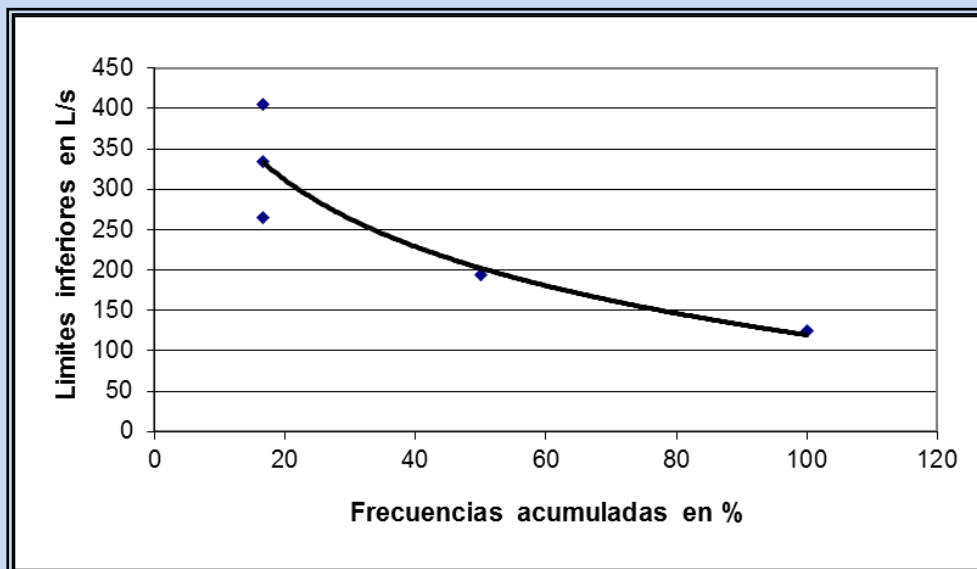


Figura 23. Curva de duración de caudales, para el vertedero rectangular, río Cantil.

Cuadro 20 Caudales característicos, para el vertedero rectangular, río Cantil, determinados con la gráfica de la figura 23.

Caudales Característicos	Frecuencias Acumuladas en %	Caudales Determinados L/s
Maximo	3	538.03
Medio	50	202.39
Estiaje	97.3	122.96
1 er Mes	8.34	416.05
3 er Mes	25	285.08
9 no Mes	75	154.01
Aguas altas	0.01	1218.49
	24.66	286.71
Aguas medias	24.66	286.71
	73.8	155.94
Aguas bajas	73.8	155.94
	100	119.69

En la [figura 23](#) se observa la curva característica de caudales para el vertedero rectangular ubicado en la estación río Cantil, con la cual se generaron los caudales característicos reportados en el [cuadro 20](#). El caudal máximo reportado para esta estructura es de 538.03 L/s y se da solo durante el 3 % del tiempo, el 97.3 % del tiempo se reporta un caudal de 122.96 L/s, el caudal medio correspondiente al 50 % es de 202.39 L/s. Se calcularon los caudales para un mes, tres meses y nueve meses, el 8.34 % del tiempo correspondiente a un mes se da un gasto de 416.05 L/s, mientras que para el 75 % del tiempo correspondiente a nueve meses se da un gasto de 154.01 L/s, para tres meses 25 % se da un gasto de 285.08 L/s. Las aguas altas reportadas para el vertedero rectangular oscilan entre los 286.71 L/s a

1218.49 L/s, mientras las agua bajas oscilan entre 119.69 L/s a 155.94 L/s, las aguas medias oscilan entre 155.94 L/s y 286.71 L/s.

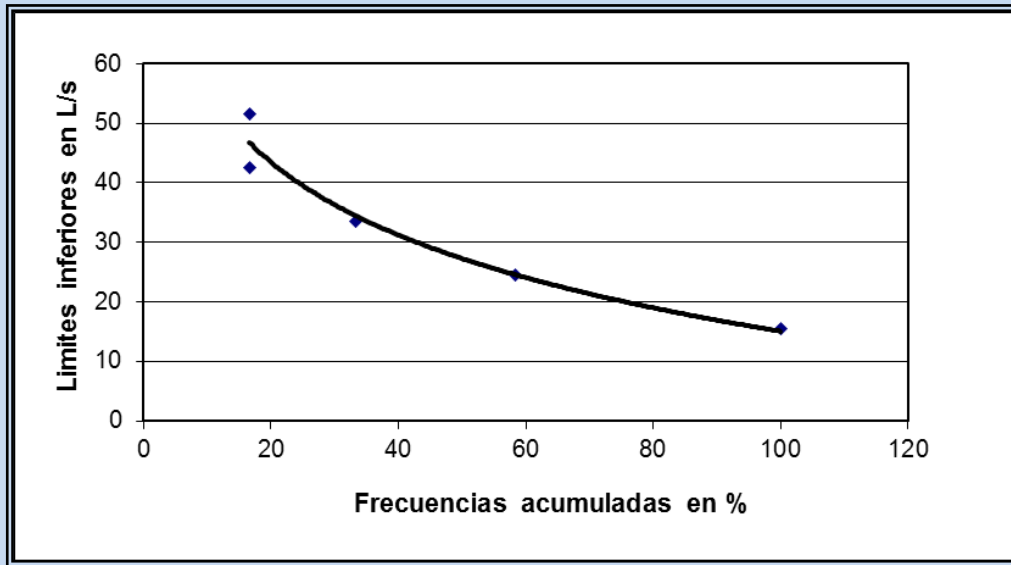


Figura 24. Curva de duración de caudales, para el vertedero triangular, río Cantil.

Cuadro 21 Caudales característicos, para el vertedero triangular, río Cantil, determinados con la gráfica de la figura 24

Caudales Característicos	Frecuencias Acumuladas en %	Caudales Determinados L/s
Maximo	3	77.51
Medio	50	29.32
Estiaje	97.3	17.91
1er Mes	8.34	60.00
2do Mes	25	41.19
3er Mes	75	22.37
Aguas altas	0.01	175.22
	24.66	41.42
Aguas medias	24.66	41.42
	73.8	22.65
Aguas bajas	73.8	22.65
	100	17.44

En la [figura 24](#) se observa la curva característica de caudales para el vertedero triangular ubicado en la estación río Cantil, con la cual se generaron los caudales característicos reportados en el [cuadro 21](#). El caudal máximo reportado para esta estructura es de 75.97 L/s y se da solo durante el 3 % del tiempo, el 97.3 % del tiempo se reporta un caudal de 16.37 L/s, el caudal medio correspondiente al 50 % es de 27.78 L/s. Se calcularon los caudales para un mes, tres meses y nueve meses, el 8.34 % del tiempo correspondiente a un mes se da un gasto de 58.46 L/s, mientras que para el 75 % del tiempo correspondiente a nueve meses se da un gasto de 20.83 L/s, para tres meses 25 % se da un gasto de 39.65 L/s. Las aguas altas reportadas para el vertedero rectangular oscilan entre los 39.89 L/s a 173.68 L/s, mientras las agua bajas oscilan entre 15.90 L/s a 21.11 L/s, las aguas medias oscilan entre 21.11 L/s y 39.89 L/s.

### 7.5. Determinación y validación de la funcionalidad de las estructuras de aforo.

Para determinar la funcionalidad de la estructura de aforo se realizó una comparación de las curvas de duración de caudales o caudales característicos, generados con los diferentes métodos de aforo (Método sección-velocidad, Método relación altura-caudal o curva de calibración de caudales y el métodos sección control o estructuras de aforo). Como se dijo con anterioridad el método sección-velocidad, fue utilizado como el método de referencia o comparador ya que es el más conveniente y uno de los más utilizados para la determinación de caudales en ríos. Los resultados obtenidos son los siguientes.

Cuadro 22. Caudales determinados con diferentes métodos de aforo, para cada estación hidrométrica.

RIO COMETA (Estructura canal rectangular)								
Método de Aforo	Sección Velocidad	Sección Control	Curva de Calibración	Tirante cms				
Mes/Año	Caudal Ips	Caudal Ips	Caudal Ips					
ago-03	130.4	169.88	121.54	7.5				
sep-03	233	365.53	226.34	12.5				
oct-03	86.5	98.08	76.87	5.2				
nov-03	65	71.19	58.44	4.2				
dic-03	88.5	98.08	76.87	5.2				
ene-04	92.5	106.68	82.53	5.5				
feb-04	81.5	95.26	75.00	5.1				
mar-04	87.1	98.08	76.87	5.2				
abr-04	66.1	78.95	63.89	4.5				
may-04	119.8	124.61	94.01	6.1				
jun-04	145.6	180.18	127.56	7.8				
jul-04	252	410.26	248.27	13.5				
					Sección control			
					$Q = 1.838(L-2H/10)H^{3/2}$			
					Curva de Calibración			
					$Q = 12.613(h-0.45)^{1.16}$			
RIO MONGOY (Estructura medidor Parshall)								
Método de Aforo	Sección Velocidad	Sección Control	Curva de Calibración	Tirante cms				
Mes/Año	Caudal Ips	Caudal Ips	Caudal Ips					
ago-03	193	168.94	184.76	10.8				
sep-03	91.47	54.82	82.86	5.1				
oct-03	80.7	45.44	72.02	4.5				
nov-03	75.6	31.17	53.87	3.5				
dic-03	55.6	25.98	46.58	3.1				
ene-04	115	69.96	99.07	6				
feb-04	80.7	45.44	72.02	4.5				
mar-04	98.64	61.40	90.07	5.5				
abr-04	75.32	40.97	66.58	4.2				
may-04	300	304.64	276.66	16				
jun-04	240	223.11	223.74	13				
jul-04	224	210.36	214.89	12.5				
					Sección control			
					$Q = 1.7*B*H^{3/2}$			
					Curva de Calibración			
					$Q = 18.975(h-0.6)^{0.98}$			
RIO CANTIL ( Estructuras vertederos)								
Metodo de aforo	Sección velocidad		Sección control		Curva de calibración		Tirantes cms	
	V.Triangular	V.Rectangular	V.Triangular	V.Rectangular	V.Triangular	V.Rectangular	V.Triangular	V. Rectan
Mes /Año	Caudal Ips	Caudal Ips	Caudal Ips	Caudal Ips	Caudal Ips	Caudal Ips		
ago-03	23.8	166.7	47.87	472.10	21.82	153.65	25	35
sep-03	29.3	200.8	95.30	688.26	32.28	236.06	33	45
oct-03	35.6	216.5	110.27	758.22	35.06	263.56	35	48
nov-03	24.8	160.4	52.76	472.10	23.07	153.65	26	35
dic-03	20.5	142.5	34.87	412.72	18.21	131.82	22	32
ene-04	16.5	125.5	27.53	374.64	15.91	118.04	20	30
feb-04	22.5	175.6	47.87	513.14	21.82	168.96	25	37
mar-04	28.6	205.2	75.24	620.60	28.22	209.82	30	42
abr-04	23.4	165.8	47.87	452.02	21.82	146.22	25	34
may-04	52.4	470.5	205.66	1059.65	49.90	385.69	45	60
jun-04	60.5	475.6	241.36	1059.65	54.62	385.69	48	60
jul-04	40.2	225.2	110.27	758.22	35.06	263.56	35	48
		Vertedero Triangular			Vertedero Rectangular			
Sección control		$Q = 1.49*(H/100)^{2.48}*(1000)$			$Q = 1.9*L*H^{3/2}$			
Curva de calibración		$Q = 0.2544(h-0.40)^{1.39}$			$Q = 0.368(h-0.2)^{1.70}$			

Cuadro 23 Análisis de datos para determinar la curva de duración de caudales para las estructuras, canal rectangular, medidor Parshall y los vertederos triangular y rectangular, utilizando los registros de caudales obtenidos con el **método relación H-Q o curva de calibración de caudales**.

<b>Caudales en lps ordenados de forma ascendente</b>							
Rio Cometa	Rio Mongoy	Río Cantil					
C. Rectangular	M. Parshall	V. Triangular	V. Rectangular	C : Canal			
				M : Medidor			
				V : Vteredero			
				Frec. Acu. : Frecuencia Acumulada			
58.44	53.87	23.07	153.65				
63.89	66.58	21.82	146.22				
75.00	72.02	21.82	168.96				
76.87	72.02	35.06	263.56				
76.87	46.58	18.21	131.82				
76.87	90.07	28.22	209.82				
82.53	99.07	15.91	118.04				
94.01	276.66	49.90	385.69				
121.54	184.76	21.82	153.65				
127.56	223.74	54.62	385.69				
226.34	82.86	32.28	236.06				
248.27	214.89	35.06	263.56				

	Río Cometa	Río Mongoy	Río Cantil	
Formula de Stugar para número de clases	Canal Rectangular	Medidor Parshall	Trian	Recta
No de clases = $1 + 3.3 \text{ Log } N$ .	4.56	4.56	4.56	4.56
Amplitud o Rango ( R )				
R= Dato mayor - Dato menor	189.83	161.02	12.00	109.91
Intervalo de clase (i)				
i = Rango / No de clase	41.6	35.3	2.6	24.1

<b>RIO COMETA</b>							
Limites	Frecuencias	Frec. Acu.	% Frec. Acu	Marca de clases	X*	Y1	Y2*
67-109.99	8	12	100	88.495	<b>100</b>	88.495	<b>67</b>
110 -152.99	2	4	33.33	131.495	<b>33.33</b>	131.495	<b>110</b>
153-195.99	0	2	16.67	174.495	<b>16.67</b>	174.495	<b>153</b>
196-238.99	0	2	16.67	217.495	<b>16.67</b>	217.495	<b>196</b>
239-282	2	2	16.67	260.5	<b>16.67</b>	260.5	<b>239</b>

<b>RIO MONGOY</b>							
Limites	Frecuencias	Frec. Acu.	% Frec. Acu	Marca de clases	X*	Y1	Y2*
57- 113.49	7	12	100	85.25	<b>100</b>	85.25	<b>57</b>
113.5-169.99	1	5	41.67	141.75	<b>41.67</b>	141.75	<b>113.5</b>
170-226.49	1	4	33.33	198.25	<b>33.33</b>	198.25	<b>170</b>
226.5-282.99	2	3	25.00	254.75	<b>25.00</b>	254.75	<b>226.5</b>
283 -340.5	1	1	8.33	311.75	<b>8.33</b>	311.75	<b>283</b>

<b>RIO CANTIL TRIANGULAR</b>							
Limites	Frecuencias	Frec. Acu.	% Frec. Acu.	Marca de clases	X*	Y1	Y2*
16.5 - 25.49	6	12	100	21.00	<b>100</b>	21.00	<b>16.5</b>
25.5 -34.49	1	6	50	30.00	<b>50</b>	30.00	<b>25.5</b>
34.5 - 43.49	3	5	41.67	39.00	<b>41.67</b>	39.00	<b>34.5</b>
43.5 - 52.49	0	2	16.67	48.00	<b>16.67</b>	48.00	<b>43.5</b>
52.5 - 62.5	2	2	16.67	57.50	<b>16.67</b>	57.50	<b>52.5</b>

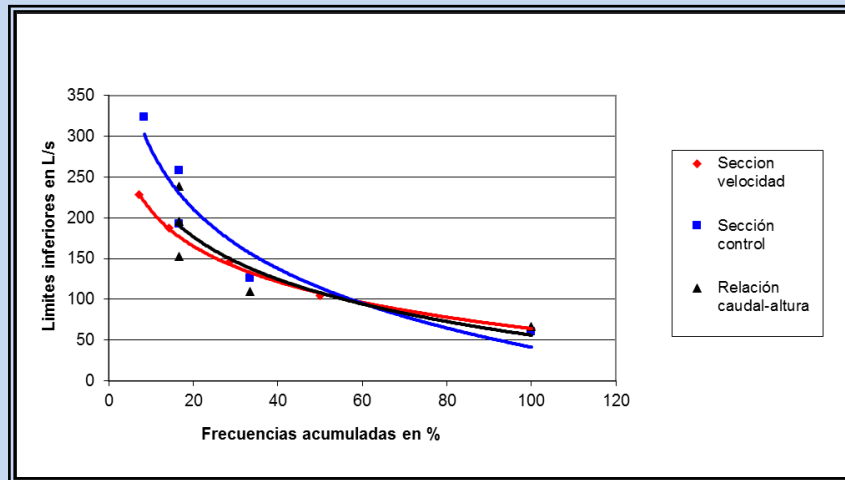
<b>RIO CANTIL RECTANGULAR</b>							
Limites	Frecuencias	Frecuencias A	% Frec. Acu.	Marca de clases	X*	Y1	Y2*
122 - 182.49	6	12	100	152.25	<b>100</b>	152.25	<b>122</b>
182.5 - 242.99	2	6	50	212.75	<b>50</b>	212.75	<b>182.5</b>
243 - 303.49	2	4	33.33	273.25	<b>33.33</b>	273.25	<b>243</b>
303.5 - 363.99	0	2	16.67	333.75	<b>16.67</b>	333.75	<b>303.5</b>
364 - 425.5	2	2	16.67	394.75	<b>16.67</b>	394.75	<b>364</b>

Cuadro 24 Análisis de datos para determinar la curva de duración de caudales para la estructuras, canal rectangular, medidor Parshall y los vertederos triangular y rectangular, utilizando los registros de caudales obtenidos con el **Método sección-control**.

Caudales en L/s ordenados de forma ascendente																																							
Rio Cometa	Rio Mongoy	Rio Cantil																																					
C. Rectangular	M. Parshall	V. Triangular	V Rectangular																																				
70.6	32.9	27.5	374.6	C: Canal																																			
77.2	44.2	34.9	412.7	M : Medidor																																			
90.6	49.0	47.9	452.0	V : Vertedero																																			
92.8	49.0	47.9	513.1	Frec. Acu. : Frecuencia acumulada																																			
92.8	28.0	47.9	472.1																																				
92.8	66.1	52.8	472.1																																				
99.6	75.3	75.2	620.6																																				
113.0	304.6	95.3	688.3																																				
143.5	181.3	110.3	758.2																																				
149.7	238.9	110.3	758.2																																				
227.4	59.1	205.7	1059.6																																				
237.0	225.4	241.4	1059.6																																				
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th></th> <th>Rio Cometa</th> <th>Rio Mongoy</th> <th colspan="2">Rio Cantil</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Formula de Stugar para número de clases</td> <td>Canal Rectangular</td> <td>Medidor Parshall</td> <td>V. Trian</td> <td>V. Recta</td> </tr> <tr> <td>No de clases = <math>1 + 3.3 \text{ Log } N.</math></td> <td>4.56</td> <td>4.56</td> <td>4.56</td> <td>4.56</td> </tr> <tr> <td>Amplitud o Rango ( R )</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>R= Dato mayor - Dato menor</td> <td>166.4795309</td> <td>192.55</td> <td>213.833733</td> <td>685.006014</td> </tr> <tr> <td>Intervalo de clase (i)</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>i = Rango / No de clase</td> <td>36.5</td> <td>42.2</td> <td>46.9</td> <td>150.2</td> </tr> </tbody> </table>						Rio Cometa	Rio Mongoy	Rio Cantil		Formula de Stugar para número de clases	Canal Rectangular	Medidor Parshall	V. Trian	V. Recta	No de clases = $1 + 3.3 \text{ Log } N.$	4.56	4.56	4.56	4.56	Amplitud o Rango ( R )					R= Dato mayor - Dato menor	166.4795309	192.55	213.833733	685.006014	Intervalo de clase (i)					i = Rango / No de clase	36.5	42.2	46.9	150.2
	Rio Cometa	Rio Mongoy	Rio Cantil																																				
Formula de Stugar para número de clases	Canal Rectangular	Medidor Parshall	V. Trian	V. Recta																																			
No de clases = $1 + 3.3 \text{ Log } N.$	4.56	4.56	4.56	4.56																																			
Amplitud o Rango ( R )																																							
R= Dato mayor - Dato menor	166.4795309	192.55	213.833733	685.006014																																			
Intervalo de clase (i)																																							
i = Rango / No de clase	36.5	42.2	46.9	150.2																																			
<b>RIO COMETA</b>																																							
Limites	Frecuencias	Frec. Acu.	% Frec. Acu	Marca de clases	X*	Y1	Y2*																																
61 - 126.49	8	12	100	93.75	<b>100</b>	93.75	<b>61</b>																																
126.5 - 191.99	2	4	33.33	159.25	<b>33.33</b>	159.25	<b>126.5</b>																																
192 - 257.49	0	2	16.67	192.00	<b>16.67</b>	192.00	<b>192</b>																																
257.5 - 322.99	1	2	16.67	128.75	<b>16.67</b>	128.75	<b>257.5</b>																																
323 - 399.5	1	1	8.33	722.50	<b>8.33</b>	722.50	<b>323</b>																																
<b>RIO MONGOY</b>																																							
Limites	Frecuencias	Frec. Acu.	% Frec. Acu	Marca de clases	X*	Y1	Y2*																																
27 - 91.99	8	12	100	59.495	<b>100</b>	59.495	<b>27</b>																																
92 - 156.99	0	4	33.33	124.495	<b>33.33</b>	124.495	<b>92</b>																																
157 - 221.99	1	4	33.33	189.495	<b>33.33</b>	189.495	<b>157</b>																																
222 - 286.99	2	3	25.00	254.495	<b>25.00</b>	254.495	<b>222</b>																																
287 - 353	1	1	8.33	320	<b>8.33</b>	320	<b>287</b>																																
<b>RIO CANTIL TRIANGULAR</b>																																							
Limites	Frecuencias	Frec. Acu.	% Frec. Acu.	Marca de clases	X*	Y1	Y2*																																
26 - 72.99	6	12	100	49.50	<b>100</b>	49.50	<b>26</b>																																
73 - 119.99	4	6	50	96.50	<b>50</b>	96.50	<b>73</b>																																
120 - 166.99	0	2	16.67	143.50	<b>16.67</b>	143.50	<b>120</b>																																
167 - 213.99	1	2	16.67	190.50	<b>16.67</b>	190.50	<b>167</b>																																
214 -262	1	1	8.33	238.00	<b>8.33</b>	238.00	<b>214</b>																																
<b>RIO CANTIL RECTANGULAR</b>																																							
Limites	Frecuencias	Frec. Acu.	% Frec. Acu.	Marca de clases	X*	Y1	Y2*																																
373 -522.99	6	12	100	447.995	<b>100</b>	447.995	<b>373</b>																																
523 - 672.99	1	6	50	597.5	<b>50</b>	597.5	<b>523</b>																																
673 - 822.99	3	5	41.67	747.995	<b>41.67</b>	747.995	<b>673</b>																																
823 - 972.99	0	2	16.67	897.995	<b>16.67</b>	897.995	<b>823</b>																																
973 - 1124	2	2	16.67	1048.5	<b>16.67</b>	1048.5	<b>973</b>																																

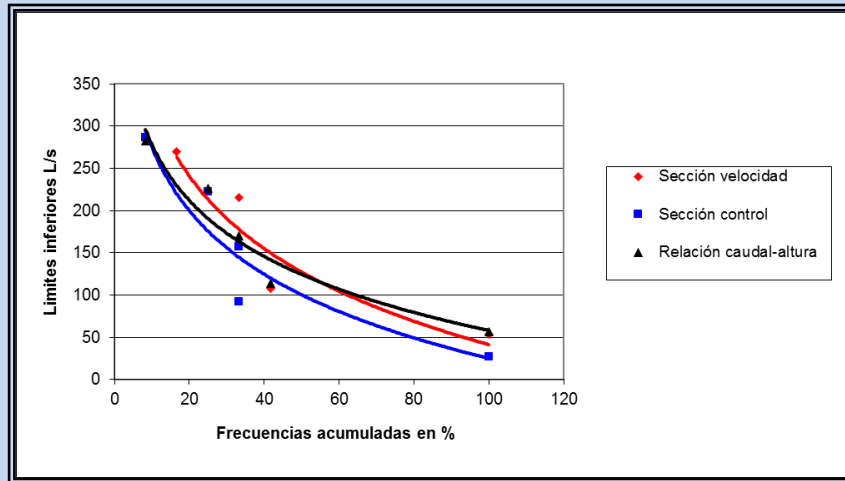
En los cuadros 23 y 24 se observa el análisis de datos para determinar las curvas características de caudales para cada estructura, utilizando registros de caudales obtenidos con los métodos; relación altura-caudal o curva de calibración, sección control o de las estructuras propiamente dicho y sección velocidad. El análisis del método sección velocidad se observa en el cuadro 17, los pares de datos que se utilizaron para generar la gráfica son  $X^*$  y  $Y2^*$  que se observan en los cuadros análisis de datos. Los aforos cuadro 22 y los caudales característicos determinados con estos registros corresponden a 12 meses, de Agosto del 2003 a Julio del 2004, tiempo de duración del ejercicio profesional supervisado de agronomía (EPSA). Con la curva se determinaron para cada una de las estructuras los caudales característicos siguientes; **Máximo**; caudal igualado o excedido 10 días del año (2.74%  $\approx$  3 %), **Medio**; caudal igualado o excedido 180 días del año (50%), **Estiaje**; caudal igualado o excedido 335 días del año (97.3%), **Agua altas**; caudales comprendidos entre 0 y 90 días (0 % a 24.66 %), **Aguas medias**; caudales comprendidos entre 90 y 270 días (24.66 % a 73.8%) y **Aguas bajas**; caudales comprendidos entre 270 a 365 días (73.8 % a 100 %), en paréntesis el tiempo de ocurrencia de cada caudal característico en porcentaje. También se calcularon para 1,3 y 9 Meses (8.34%, 25% y 75 %) Los resultados obtenidos son los siguientes:

Figura 25. Curvas características de caudales según métodos de aforo, para el canal rectangular, en la estación río Cometa.



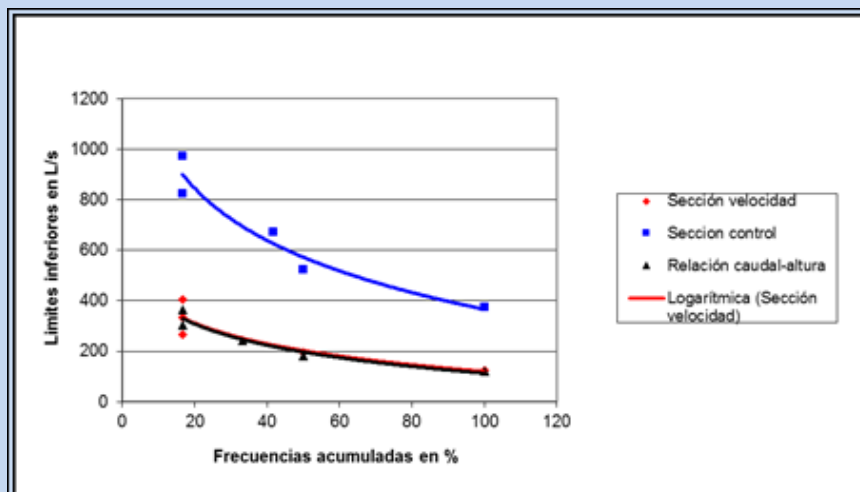
En la figura 25, se observa la curva característica de caudales, para los tres métodos de aforo; Sección velocidad en rojo, relación Q-H o curva de calibración de caudales en negro y la estructura de aforo o sección control en azul, que para este caso es el canal rectangular ubicada en el río Cometa. Se puede ver en la gráfica que los tres métodos presentan un comportamiento similar hasta los 100 L/s, después de este punto el método sección control presenta un comportamiento muy elevado con respecto al comportamiento de los métodos sección velocidad y relación H-Q, sin embargo las curvas presentan similares tendencias. Las diferencias principalmente en el método sección control se presentaron, porque durante los aforos realizados al río se tuvieron dificultades con sedimentación, poca profundidad del tirante que no permitía colocar el molinete, por lo que se consideró una profundidad superficial, también se tuvo problemas de remansos por las columnas del puente apéndices figura 4 los cuales evitaban el libre recorrido del río e influía en el dato reportado por el limnómetro. Los caudales característicos determinados con estas curvas se pueden observar en el cuadro 25.

Figura 26. Curvas características de caudales según métodos de aforo, para el medidor Parshall, en la estación río Mongoy.



En la [figura 26](#), se observa la curva característica de caudales, para los tres métodos de aforo; Sección velocidad en rojo, relación Q-H o curva de calibración de caudales en negro y la estructura de aforo o sección control en azul, para este caso es el medidor Parshall ubicado en el río Mongoy. Se puede ver en la gráfica que los tres métodos presentan comportamientos similares, principalmente los métodos sección control y relación altura-caudal este último presenta puntos que coinciden con los otros dos métodos, siendo estos en los 100 L/s con el método sección-velocidad y a los 250 L/s con el método sección control, las curvas presentan similares tendencias. Las diferencias entre los métodos pudo ser ocasionado por que al ingresar la corriente por la parte de transición del medidor hay muchas rocas lo cual evita el libre recorrido de la corriente de igual forma en la garganta del medidor existe un remanso lo cual provoca un aumento en la altura del tirante por consiguiente el limnómetro se ve afectado al momento de realizar las lecturas. Los caudales característicos determinados con estas curvas se pueden observar en el [cuadro 25](#).

Figura 27. Curvas características de caudales según métodos de aforo, para el vertedero rectangular, en la estación río Cantil.

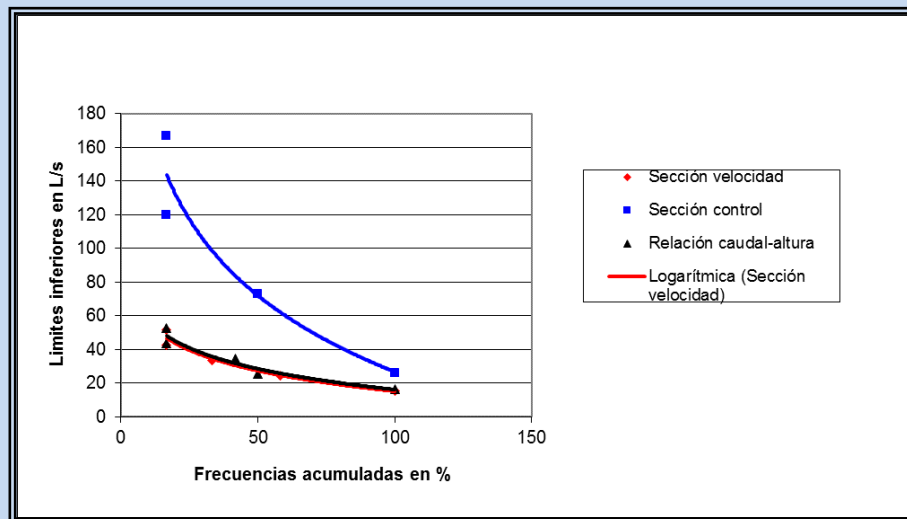




En la [figura 27](#), se observa la curva característica de caudales, para los tres métodos de aforo; Sección velocidad en rojo, relación Q-H o curva de calibración de caudales en negro y la estructura de aforo o sección control en azul, para este caso es el vertedero rectangular ubicado en el río Cantil. En la gráfica los métodos sección velocidad y relación altura-caudal presentan el mismo comportamiento, no así el método sección control el cual inicia sobre los 400 L/s y llega hasta los 900 L/s como su punto más alto. Para los otros dos métodos sección velocidad y relación altura-caudal su punto más alto está por debajo de los 400 L/s y el punto más bajo por debajo de los 200 L/s, las curvas presentan similares tendencias principalmente las del método sección-velocidad y relación H-Q.

A pesar de que la curva del método sección control presenta una tendencia similar a las curvas de los otros dos métodos, el comportamiento en cuanto al reporte de los caudales es muy distante, esto debido a que la estructura está en una presa la cual provoca la formación de remansos, lo que aumenta la altura del tirante en ese punto, por otro lado también está el diseño del vertedero rectangular, la ecuación del caudal para un vertedero rectangular es  $Q = 1.9LH^{3/2}$ , siempre y cuando el diseño del canal cumpla con las condiciones y dimensiones ya establecidas [figura 8 pagina 23](#), lo cual no sucedió en este caso ya que las dimensiones del vertedero difieren del diseño [apéndices figura 1 y 2](#), la base del mismo debió guardar una relación de tres veces la altura promedio del tirante del río, con respecto a la base de la estructura y el fondo del río, en este caso de 1.20 m, es decir 0.60 m de profundidad con respecto al fondo del río (cimiento) y 0.60 m de elevación con respecto del fondo del río. Los caudales característicos determinados con las curvas características de las [figuras 25, 26, 27 y 28](#) se pueden observar en el [cuadro 25](#).

Figura 28. Curvas características de caudales según métodos de aforo, para el vertedero triangular, en la estación río Cantil.



En la [figura 28](#), se observa la curva característica de caudales, para los tres métodos de aforo; Sección velocidad en rojo, relación Q-H o curva de calibración de caudales en negro y la estructura de aforo o sección control en azul, para este caso es el vertedero triangular ubicado en el río Cantil, se puede ver en la gráfica que los métodos sección velocidad y relación altura-caudal presentan el mismo comportamiento, no así el método sección control el cual inicia sobre los 20 L/s y pasa de los 180 L/s como su punto más alto. Para los otros dos métodos, sección velocidad y relación altura-caudal su punto más alto está por debajo de los 60 L/s y el punto más

bajo no pasa de los 20 L/s, las curvas presentan similares tendencias, principalmente las del método sección-velocidad y relación H-Q.

A pesar de que la curva del método sección control presenta una tendencia similar a los otros dos métodos, el comportamiento en cuanto al reporte de los caudales es muy distante, esto debido a que la estructura está en una presa la cual provoca la formación de remansos lo que aumenta la altura del tirante en ese punto, por otro lado también está el diseño del vertedero triangular, la ecuación del caudal o gasto para un vertedero triangular es  $Q = 1.49 H^{2.48}$ , siempre y cuando el diseño del canal cumpla con las condiciones y dimensiones ya establecidas [figura 8 pagina 23](#), lo cual no sucedió en este caso ya que las dimensiones del vertedero difieren del diseño [apéndices figura 1 y 2](#), el ángulo debió medir  $90^\circ$  y la base 1.80 m . Los caudales característicos determinados con estas curvas se pueden observar en el [cuadro 25](#).

Cuadro 25 Caudales característicos, para el canal rectangular, medidor Parshall y los vertederos triangular y rectangular, determinados con las gráficas de las [figuras 25, 26, 27 y 28](#).

METODOS DE AFORO	Frec. Acu. %	Rio Cometa	Rio Mongoy	Rio cantil	
		C. Rectangular	M. Parshall	V. rectangular	V. triangular
		Caudal L/s	Caudal L/s	Caudal L/s	Caudal L/s
<b>Sección velocidad</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Y</b>	<b>Y</b>	<b>Y</b>
Caudal Maximo	3	283.95	476.12	538.03	76.94
Caudal Medio	50	107.57	127.32	202.39	27.30
Estiaje	97.3	65.82	44.77	122.96	15.55
1 Mes	8.34	219.85	349.36	416.05	58.90
3 Meses	25	151.02	213.25	285.08	39.53
9 Meses	75	82.15	77.05	154.01	20.15
Aguas altas	0.01	641.55	1183.28	1218.49	177.59
	24.66	151.88	214.95	286.71	39.77
Aguas medias	24.66	151.88	214.95	286.71	39.77
	73.8	83.16	79.05	155.94	20.43
Aguas bajas	73.8	83.16	79.05	155.94	20.43
	100	64.11	41.38	119.69	15.07
<b>Sección control</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Y</b>	<b>Y</b>	<b>Y</b>
Caudal Maximo	3	409.88	406.07	1398.86	255.68
Caudal Medio	50	114.19	100.45	591.04	71.93
Estiaje	97.3	44.21	28.12	399.88	28.44
1 Mes	8.34	302.42	295.00	1105.28	188.90
3 Meses	25	187.04	175.74	790.06	117.20
9 Meses	75	71.57	56.40	474.62	45.45
Aguas altas	0.01	1009.34	1025.67	3036.58	628.20
	24.66	188.48	177.23	794.00	118.09
Aguas medias	24.66	188.48	177.23	794.00	118.09
	73.8	73.27	58.15	479.25	46.50
Aguas bajas	73.8	73.27	58.15	479.25	46.50
	100	41.34	25.15	392.02	26.66
<b>Relación Q-Altura</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Y</b>	<b>Y</b>	<b>Y</b>
Caudal Maximo	3	318.64	393.59	538.71	78.74
Caudal Medio	50	107.95	124.46	196.54	28.47
Estiaje	97.3	58.09	60.77	115.57	16.58
1 Mes	8.34	242.07	295.78	414.36	60.47
3 Meses	25	159.86	190.77	280.84	40.86
9 Meses	75	77.59	85.67	147.23	21.23
Aguas altas	0.01	745.78	939.21	1232.40	180.65
	24.66	160.88	192.08	282.51	41.10
Aguas medias	24.66	160.88	192.08	282.51	41.10
	73.8	78.79	87.22	149.19	21.52
Aguas bajas	73.8	78.79	87.22	149.19	21.52
	100	56.04	58.15	112.24	16.09

En el [cuadro 25](#) se puede observar los caudales característicos determinados con los diferentes métodos de aforo y estructura en cada una de las estaciones hidrométricas establecidas, en el mismo se identifica con “X” las frecuencias acumuladas en porcentaje, que corresponden al tiempo en porcentaje de ocurrencia de cada uno de los caudales característicos, el cual es igual para todos los casos, con “Y” se identifica los límites inferiores de las clases modales, que corresponde o representan los caudales determinados en L/s para cada uno de los diferentes métodos de aforo y las respectivas estructuras. Se discutieron únicamente los caudales característicos; caudal máximo, estiaje, aguas altas y aguas bajas.

Para la estación río Cometa, se reporta un caudal máximo de 283.95 L/s según el método sección-velocidad, el método sección-control reporta 409.88 L/s y el método caudal-altura, 318.64 L/s, siguiendo el mismo orden de descripción anterior, el estiaje queda 65.82 L/s, 44.21 L/s y 58.09 L/s.

Las aguas altas se encuentran entre los 151.88 L/s y los 641.55 L/s, según el método sección-velocidad, el método sección-control reporta que las mismas se encuentran entre 188.48 L/s a 1009.34 L/s (1.009 m<sup>3</sup>), mientras que el método relación altura –caudal reporta que las aguas altas se encuentran entre 160.88 L/s a 747.78 L/s, en ese mismo orden las aguas bajas reportadas se encuentran entre 64.11 L/s a 83.16 L/s; 41.34 L/s a 73.27 L/s y de 56.04 L/s a 78.79 L/s. Se puede concluir entonces que el método relación altura-caudal, tienen según los caudales característicos una mejor o mayor relación en cuanto a la determinación de caudales, con el métodos sección-velocidad utilizado como comparador que el método sección-control o estructura de aforo (Canal rectangular). En la estación río Mongoy, se reporta un caudal máximo de 476.12 L/s según el método sección-velocidad, el método sección-control reporta 406.07 L/s y el método caudal-altura, 393.59 L/s, siguiendo el mismo orden de descripción anterior, el estiaje queda 44.77 L/s, 28.12 L/s y 60.77 L/s. Las aguas altas van de los 214.95 L/s a los 1183.28 L/s (1.183 m<sup>3</sup>), según el método sección-velocidad, el método sección-control reporta que las mismas se encuentran entre 177.23 L/s a 1025.67 L/s (1.025 m<sup>3</sup>), mientras que el método relación altura –caudal reporta que las aguas altas se encuentran entre 192.08 L/s a 939.21 L/s, en ese mismo orden las aguas bajas reportadas se encuentran entre 41.38 L/s a 79.05 L/s; 25.15 L/s a 58.15 L/s y de 58.15 L/s a 87.22 L/s. Según los caudales característicos los métodos relación altura-caudal, y sección control o estructura de aforo (Medidor Parshall) mantienen la misma relación en cuanto a la determinación de caudales con el método sección-velocidad utilizado como comparador, siempre y cuando estos sean mayores a los 100 L/s, no así cuando estos son inferiores a 100 L/s. En la estación río Cantil en la estructura vertedero rectangular, se reporta un caudal máximo de 538.03 L/s según el método sección-velocidad, el método sección-control (vertedero rectangular) reporta 1398.86 L/s (1.398 m<sup>3</sup>) y el método caudal-altura, 538.71 L/s, siguiendo el mismo orden de descripción anterior, el estiaje reportado es de 122.96 L/s, 399.88 L/s y 115.57 L/s. Las aguas altas van de los 286.71 L/s a 1218.49 L/s (1.218 m<sup>3</sup>), según el método sección-velocidad, el método sección-control reporta que las mismas se encuentran entre 790.0 L/s a 3036.56 L/s (3.036 m<sup>3</sup>), mientras que el método relación altura –caudal reporta que las aguas altas se encuentran entre 282.51 L/s a 1232.40 L/s (1.23 m<sup>3</sup>), en ese mismo orden las aguas bajas reportadas se encuentran entre 119.69 L/s a 155.94 L/s; 392.02 L/s a 479.25 L/s y de 112.24 L/s a 149.19 L/s. Según los caudales característicos determinados el método sección control (vertedero rectangular) no guarda relación alguna en cuanto a la determinación de caudales con el método sección-velocidad el cual se utilizó como comparador, caso contrario sucede con el método relación altura-caudal el cual si guarda relación en la determinación de caudales con el método sección velocidad.

En la estación río Cantil en la estructura vertedero triangular, se reporta un caudal máximo de 76.94 L/s según el método sección-velocidad, el método sección-control (vertedero triangular) reporta 255.68 L/s y el método caudal-altura, 78.74 L/s, siguiendo el mismo orden de descripción anterior, el estiaje reportado es de 15.55 L/s, 28.44 L/s y 16.58 L/s. Las aguas altas van de los 39.77 L/s a 177.59 L/s, según el método sección-velocidad, el método sección-control (vertedero rectangular) reporta que las mismas se encuentran entre 118.09 L/s a 628.20 L/s, mientras que el método relación altura –caudal reporta que las aguas altas se encuentran entre 41.10 L/s a 180.65 L/s , en ese mismo orden las aguas bajas reportadas se encuentran entre 15.07 L/s a 20.43 L/s; 26.66 L/s a 46.50 L/s y de 16.09 L/s a 21.52 L/s. Según los caudales característicos determinados el método sección control (vertedero triangular) no guarda relación alguna en cuanto a la determinación de caudales con el método sección-velocidad utilizado como comparador, caso contrario sucede con el método relación altura-caudal el cual si guarda relación en la determinación de caudales con el método sección velocidad. La diferencia del comportamiento en la determinación de los caudales con el método sección control (Vertedero rectangular y triangular) en la estación río Cantil, con respecto al método sección-velocidad utilizado como comparador, es debido a que las estructura están en una presa la cual provoca la formación de remansos lo que aumenta la altura del tirante en ese punto, por otro lado también está el diseño de los vertedero rectangular y triangular ya que difieren en las dimensiones ya establecidas (Ver figura 8 pagina 23 diseños establecidos), (Ver apéndices figura 1y 2 diseños construidos). Otro aspecto a considerar es que las estructuras al momento de realizar los aforos deberían mantenerse cerrada una de las compuertas, por la falta de financiamiento para la manufacturación de las compuertas de los vertederos, los aforos se realizaban con ambos vertederos abiertos.

### 7.6 Hidrógramas

Se realizó un hidrógrama para cada estación hidrométrica, con los caudales reportados por cada método de aforo utilizado, los datos de los caudales se pueden ver en el cuadro 22 pagina 77, los caudales corresponden a uno por mes de Agosto del 2003 a Julio del 2004 los resultados obtenidos son los siguientes.

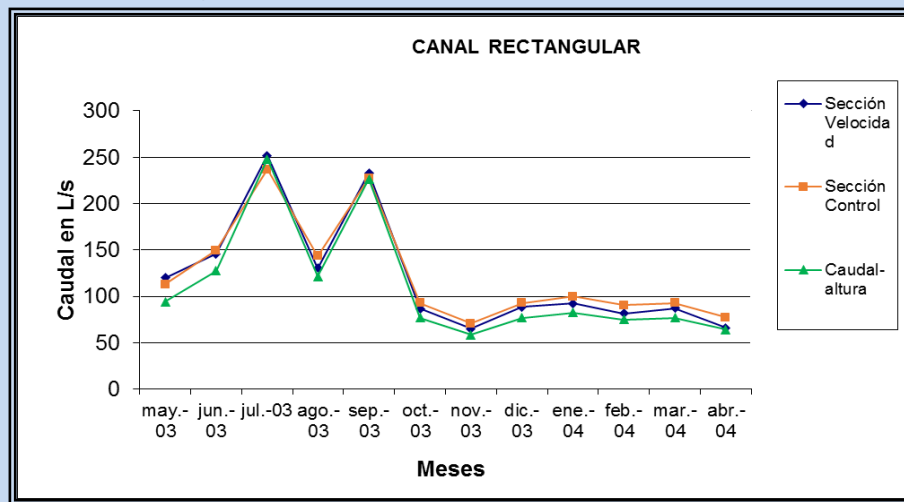


Figura 29 Hidrógramas, para la estación río Cometa, según método de aforo.

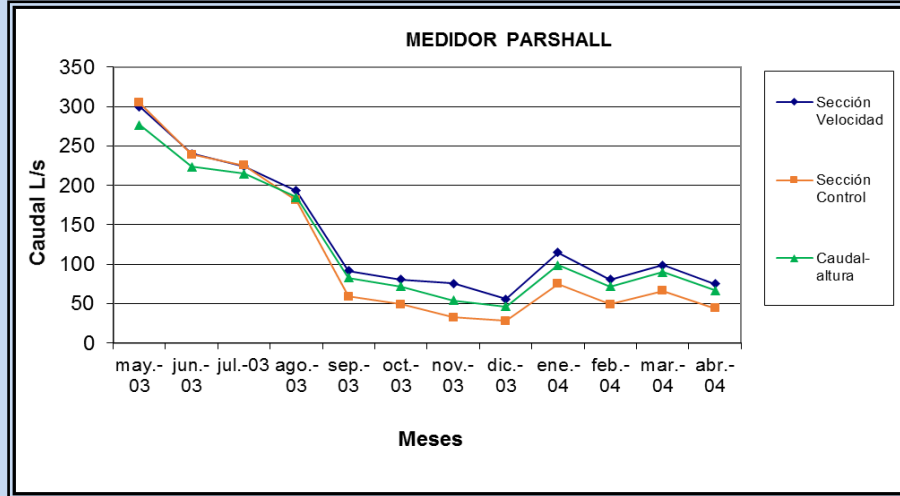


Figura 30 Hidrógramas, para la estación río Mongoy, según método de aforo

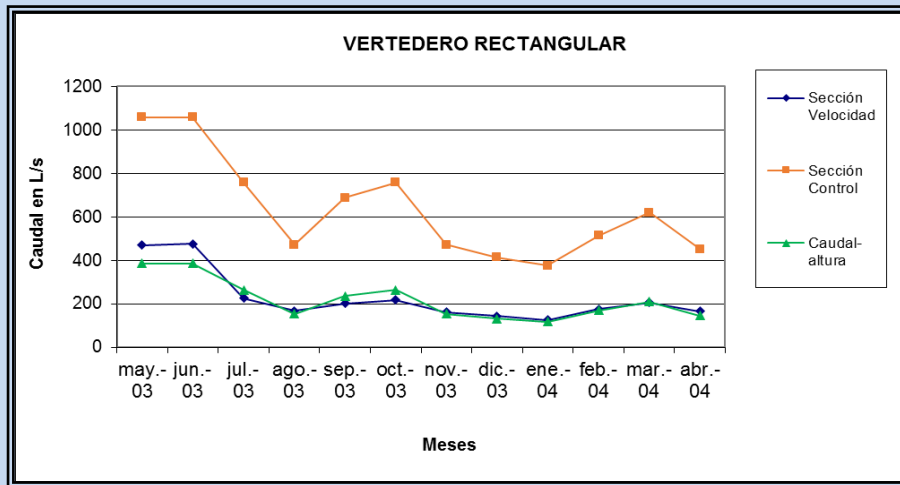


Figura 31 Hidrógramas, para la estación río Cantil, según método de aforo, vertedero rectangular

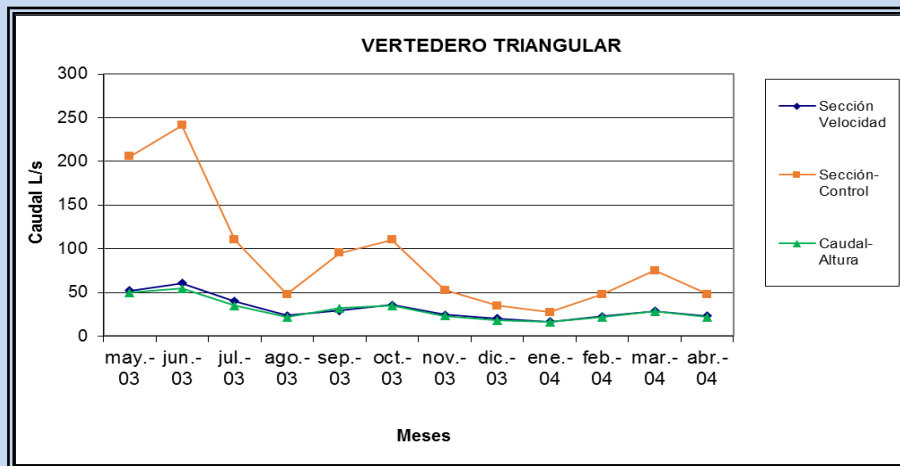


Figura 32 Hidrógramas, para la estación río Cantil, según método de aforo, en el vertedero triangular.

En la [figura 29](#) se observa el hidrógrama para la estación río Cometa, se distingue que el método sección control (Canal rectangular) reporta mayores caudales que el método relación altura-caudal y el método sección velocidad, los tres métodos se comportan de forma similar en la determinación de caudales cuando estos están por debajo de los 100 L/s, esto ocurre de Octubre a Abril con caudales que van de los 50 L/s a 100 L/s, cuando se da el menor gasto en esta estación. Los mayores caudales se reportan en Septiembre 300 L/s y Julio 350 L/s. En la [figura 30](#) se observa el hidrógrama para la estación río Mongoy, se distingue que los tres métodos sección control, método relación altura-caudal y el método sección velocidad, se comportan de forma similar en la determinación de caudales aunque el medidor Parshall o método sección control reporta caudales debajo de los reportados por los otros dos métodos, esto ocurre entre Septiembre a Abril con caudales que van de 50 L/s a 100 L/s, que es donde se da el menor gasto en esta estación. Los mayores caudales se reportan en Agosto 200 L/s y Mayo 300 L/s. En las [figuras 31 y 32](#) se observan los hidrógramas para la estación río Cantil, se distingue que el método sección control (Vertedero rectangular y triangular), no presentan un comportamiento de forma similar en la determinación de caudales, los vertederos reportan caudales muchos mayores de los reportados por los métodos sección velocidad y relación altura caudal. Para el caso del vertedero rectangular los caudales van de los 400 L/s a 1000 L/s como el caudal máximo, mientras los otros métodos sus mayores caudales son 500 L/s, para ambos casos esto se da durante Mayo y Junio. Los métodos sección velocidad y relación altura caudal mantienen el mismo comportamiento durante la mayor parte del tiempo (Agosto a Abril) con caudales que no sobrepasan los 200 L/s, caso contrario sucede con el vertedero rectangular que presenta mucha irregularidad en el mismo tiempo (Agosto a Abril) donde presenta caudales de 400 L/s hasta 800 L/s. Igual que en el caso anterior el vertedero triangular presenta el mismo comportamiento, reporta caudales mayores (De 50 L/s hasta los 250 L/s), que los métodos sección velocidad y relación altura caudal los cuales reportan caudales de 50 L/s como los mayores caudales y se dan de Mayo a Julio, de Agosto a Abril estos métodos reportan caudales por debajo de los 50 L/s, durante este mismo tiempo (Agosto a Abril) el vertedero triangular reporta caudales que oscilan entre los 50 L/s a 100 L/s. Esto se debe como se dijo con anterioridad a que en la estación se forman remansos y a la mala construcción de los vertederos.

## 7.7 Determinación de los costos de construcción de las estructuras de aforo.

Cuadro 26 Costos de construcción para el canal rectangular, río Cometa

Concepto	Unidad medida	Cantidad	Precio unitario	Subtotal	Total
<b>Costos Directos</b>					
<b>Mano de obra</b>					
Zanqueo	Jornales	6	Q50.00	Q300.00	
Fundición y levantamiento	Jornales	15	Q50.00	Q750.00	
Zabieta	Jornales	5	Q50.00	Q250.00	
<b>Insumos y/o materiales</b>					
Cemento	Saco de 45 kg	75	Q40.00	Q3,000.00	
Piedrin	Metro cubico	1	Q175.00	Q175.00	
Piedra	Metro cubico	20	Q125.00	Q2,500.00	
Arena	Metro cubico	1	Q120.00	Q120.00	
Hierro 3/8	Quintal	2	Q200.00	Q400.00	
Hierro 1/4	Quintal	1	Q200.00	Q200.00	
Alambre	Libra	2	Q5.00	Q10.00	
Otros costos					
Fletes	Viajes	4	Q50.00	Q200.00	
<b>Total C.Directos</b>				Q7,905.00	Q7,905.00
<b>Costos Indirectos</b>					
Imprevistos (5% S/CD)				Q395.25	Q395.25
<b>Total Construcción</b>					Q8,300.25



Cuadro 27 Costos de construcción medidor Parshall, río Mongoy.

Concepto	Unidad medida	Cantidad	Precio unitario	Subtotal	Total
<b>Costos Directos</b>					
<b>Mano de obra</b>					
Zanqueo	Jornales	7	Q50.00	Q350.00	
Fundición y levantamiento	Jornales	20	Q50.00	Q1,000.00	
Zabieta	Jornales	6	Q50.00	Q300.00	
<b>Insumos y/o materiales</b>					
Cemento	saco de 45 kg	85	Q40.00	Q3,400.00	
Piedrin	Metro cubico	1	Q175.00	Q175.00	
Piedra	Metro cubico	22	Q125.00	Q2,750.00	
Arena	Metro cubico	1	Q120.00	Q120.00	
Hierro 3/8	Quintal	2	Q200.00	Q400.00	
Hierro 1/4	Quintal	1	Q200.00	Q200.00	
Alambre	Libra	2	Q5.00	Q10.00	
Otros costos					
Fletes	Viajes	5	Q50.00	Q250.00	
<b>Total C.Directos</b>				Q8,955.00	Q8,955.00
<b>Costos Indirectos</b>					
Imprevistos (5% S/CD)				Q447.75	Q447.75
<b>Total Construcción</b>					Q9,402.75

Cuadro 28 Costos de construcción vertederos, río Cantil

Concepto	Unidad medida	Cantidad	Precio unitario	Subtotal	Total
<b>Costos Directos</b>					
<b>Mano de obra</b>					
Zanqueo	Jornales	10	Q50.00	Q500.00	
Fundición y levantamiento	Jornales	25	Q50.00	Q1,250.00	
Zabieta	Jornales	8	Q50.00	Q400.00	
<b>Insumos y/o materiales</b>					
Cemento	saco de 45 kg	135	Q40.00	Q5,400.00	
Piedrin	Metro cubico	1.5	Q175.00	Q262.50	
Piedra	Metro cubico	30	Q125.00	Q3,750.00	
Arena	Metro cubico	1.5	Q120.00	Q180.00	
Hierro 3/8	Quintal	2	Q200.00	Q400.00	
Hierro 1/4	Quintal	1.5	Q200.00	Q300.00	
Alambre	Libra	3	Q5.00	Q15.00	
Otros costos					
Fletes	Viajes	8	Q50.00	Q400.00	
<b>Total C.Directos</b>				Q12,857.50	Q12,857.50
<b>Costos Indirectos</b>					
Imprevistos (5% S/CD)				Q642.88	Q692.25
<b>Total Construcción</b>					Q13,549.75

En los cuadros 26, 27 y 28, se muestran los costos que implicaron la construcción de las estructuras de aforo, siendo el canal rectangular el que presenta el menor costo (Q 8,300.25), aunque solo se realizaron los cálculos para su construcción, ya que se utilizó el puente que pasa sobre el río, como estructura de aforo, debido a la falta de fondos para construir dicha estructura. El medidor Parshall tiene un costo de Q 9,402.75 y es el segundo más económico. La estructura que presentó el mayor costo fue, la presa con los vertederos, construidos en el río Cantil, la cual asciende a Q 13,549.75 sin considerar el costo que implica la hechura y colocación de las compuertas las cuales tienen un costo aproximado de Q 5,500.00 cada una.



## 8.- CONCLUSIONES.

- 8.1 Las estaciones hidrométricas, quedaron ubicadas entre los paralelos  $90^{\circ} 48' 00''$  longitud oeste y  $14^{\circ} 21' 00''$  latitud norte, con una altura promedio de 680 msnm, rodeadas por tres tipos de vegetación; bosques mixtos, cultivo de caña de azúcar y cultivo de café. La distancia del casco de la finca a la estación río Cometa es de 1.76 Km, del río Cantil es de 2.31 Km, la estación río Mongoy está a 2.0 Km.
- 8.2 Las estructuras de aforo quedaron ubicadas de la siguiente manera, medidor o vertedero Parshall, en el río Mongoy, El canal rectangular en el río Cometa, y los vertederos triangular y rectangular es una presa en el río Cantil.
- 8.3 La curva de calibración de caudales ésta representada por el modelo  $[Q=a(h\pm b)^n]$ , los modelos obtenidos que representan la curva de calibración de caudales son, para el río Cometa, canal rectangular  $Q = 12.613(h-0.45)^{1.16}$ , río Mongoy medidor o vertedero Parshall  $Q=18.975(h-0.45)^{0.98}$ , río Cantil vertedero triangular  $Q=0.2544(h-0.40)^{1.39}$ , y río Cantil vertedero rectangular  $Q=0.368(h-0.2)^{1.70}$ . Existen tres métodos para determinar los parámetros “a” y “n”, método analítico, método gráfico y utilizando herramientas de computación como Excel de Microsoft, para el parámetro “ $\pm b$ ”, existen tres métodos, logarítmico, Johnson y Running.
- 8.4 Según las curvas características o curvas de duración de caudales para la microcuenca río cantil, se tiene un caudal mínimo o estiaje de 251.37 lps para el 100 % del tiempo, un caudal medio de 466.58 lps para el 50% del tiempo y un caudal máximo de 1,375.95 lps que se da durante el 3 % del tiempo. El mayor tributario de la microcuenca es el río Cantil, el segundo tributario es el río Mongoy y el río Cometa el menor tributario.
- 8.5 El canal rectangular se puede utilizar para aforar el río Cometa.  
El medidor Parshall no presenta problemas al utilizarlo como aforador en el río Mongoy.  
Los vertederos triangular y rectangular ubicados en la estación río Cantil se pueden utilizar como aforadores.
- 8.6 Según el hidrograma para la estación Río Cometa los mayores caudales ocurrieron en Septiembre y Julio, teniéndose el caudal pico en Julio, para la estación Río Mongoy los mayores caudales se dieron de Mayo a Agosto, teniéndose el caudal pico en Mayo. La estación Río Cantil, sus mayores caudales se tuvieron en Mayo, Junio, Septiembre y Octubre, teniéndose el caudal pico en Mayo y Junio.
- 8.7 El costo total de construcción de las infraestructuras haciende a Q 22,952.50, sin considerar el canal rectangular, con un costo calculado de Q 8,300.25. La presa ubicada en la estación río Cantil tiene un costo de Q 13,549.75, seguido por el medidor Parshall con un costo de Q 9,402.75.

## 9.- RECOMENDACIONES

- 9.1 Por la ubicación donde se encuentran las estaciones hidrométricas, es necesario realizar por lo menos una vez al mes una limpieza de malezas, rastrojos que caen dentro de las estructuras y sedimentos, lo cual puede alterar las lecturas del limnómetro, esta limpieza se debe considerar principalmente en los meses de Octubre a Febrero donde se presenta la temporada de vientos los cuales arrastran grandes cantidades de hojarascas.
- 9.2 Es necesario que cada vez que se realice un aforo se verifique la sedimentación, en el canal rectangular, por otra parte lo más conveniente es construir un canal que no presente columnas salidas, que interfieran con la corriente del río. Para la estación río Mongoy la remoción de las piedras que se encuentran en la entrada del medidor Parshall. En los vertederos es necesario fabricar las compuertas, hacer por lo menos dos aforos diarios con el método sección-velocidad para determinar con mayor certeza los parámetros que determinen la curva de calibración y verificar la funcionalidad de las estructuras.
- 9.3 Es necesario verificar las curvas de calibración por lo menos dos veces en el año, durante la época seca y durante la época lluviosa, se recomienda realizar las curvas de calibración con el mayor número de registros, para tener el mejor ajuste de la curva y que la ecuación obtenida, presente una mayor certeza al momento de obtener los caudales o gastos. En la estación del río Cometa es necesario hacer las compuertas de los vertederos o bien cuando se va aforar tapar uno de los vertederos. El número de aforos mínimos debe ser de 8 veces por mes y lo ideal es uno diario.
- 9.4 Se recomienda realizar la curva de duración de caudales, con registros diarios para conocer el comportamiento de los caudales o gastos durante un año, de no ser posible el registro diario el número de aforos mínimos debe ser de 8 por mes.
- 9.5 Se recomienda determinar la gráfica de caudales característicos, con nuevos datos principalmente entre los caudales que reporte el método sección velocidad y el método altura caudal que no presentan deficiencias. Es necesario la realización de más aforos y relacionar la altura del tirante que pasa por las estructuras, ya que los vertederos triangular y rectangular no cumplen con las medidas estipuladas para su construcción, también deben construirse las compuertas por otra parte el medidor Parshall se ve afectado en la parte de transición de entrada lo cual afecta el flujo y el tirante, otro aspecto que se debe considerar es la formación de remanso en la parte de transición de salida del medidor. El canal rectangular presenta problemas de sedimentación y de remansos.
- 9.6 La estructura más adecuada para realizar aforos por su costo, es el canal rectangular, por lo cual es el recomendado bajo este aspecto, ya que las estructuras como los vertederos y el medidor Parshall, son más costosas y su construcción es más difícil.

## 10.- BIBLIOGRAFIA

1. Acajabón Mendoza, AD. 1972. Estudio hidrológico básico de la cuenca del río Samalá. Tesis Ing. Civil. Guatemala, USAC, Facultad de Ingeniería. 68 p.
2. Aparicio M, FJ. 2001. Fundamentos de hidrología de superficie. México, Limusa. 302 p.
3. Bandes, T; Duque C, RA. 1984. Curso interamericano sobre planificación de los recursos naturales renovables, recurso agua. Mérida, Venezuela, CIDIAT. 57 p.
4. Calderón, MCG. 2004. Medición de calidad de agua; última revisión (en línea). México, Comisión Nacional del Agua –CNA- / Instituto Mexicano de Tecnología del Agua IMTA. Serie Autodidáctica. Consultado 20 set 2005. Disponible en <http://www.cna.gob.mx/eCNA/Español/transparencia/ArticuloXIV/GIM/manuales/unidades%20Tecnodid%20ctica/Aforos.pdf>
5. Condori, LH. 2002. Hidrometría [en línea]. Lima, Perú. Consultado 20 set 2005. Disponible en <http://www.monografias.com/trabajos20/hidrometría/hidrometria.shtml>
6. Contreras T, CJ; Niño R, R. 1999. Proceso y calidad de la información hidrológica básica [en línea]. Bogotá, Colombia. Consultado 20 set 2005. Disponible en [www.ideam.gov.co/temas/guiaagua/anexos%208.pdf](http://www.ideam.gov.co/temas/guiaagua/anexos%208.pdf)
7. Cruz S, JR De la. 1982. Clasificación de zonas de vida de Guatemala a nivel de reconocimiento. Guatemala, Instituto Nacional Forestal. 42 p.
8. Estrada Girón, RG. 1970. Estudio hidrológico básico de la cuenca del río Paz. Guatemala, USAC, Facultad de Ingeniería. 140 p.
9. FAO, IT. 1994. El agua, germen de la vida. Italia. 25 p.
10. Giles, VR. 1969. Mecánica de los fluidos e hidráulica. Trad. por Jaime Moneva Moneva. 2 ed. México, McGraw-Hill. 273 p.
11. Herrera Ibáñez, RI. 1995. Manual de hidrología. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 223 p.
12. \_\_\_\_\_. 2002. Hidrogeología práctica. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. v. 1, 128 p.
13. IGN (Instituto Geográfico Nacional, GT). 1978. Mapa de cuencas de la república de Guatemala. Guatemala. Esc. 1:500,000. 4 Hojas. Color.
14. IGN (Instituto Geográfico Nacional, Unidad de Catastro, GT). 2004. Levantamiento topográfico con coordenadas totales de la Fca. Sabana Grande, Escuintla. Guatemala. Esc. 1:50,000.

15. Linsley, RK Jr. 1988. Hidrología para ingenieros. 2 ed. México, Mc-Graw-Hill. 357 p.
16. Monsalves, SG. 1999. Hidrología en la ingeniería. 2 ed. México, Alfa Omega. 377 p.
17. Nij R, EE. 2002. Diagnóstico del área de bosque en la Unidad Docente Productiva Sabana Grande El Rodeo, Escuintla, con el fin de determinar los puntos estratégicos para el establecimiento de un sendero ecológico en su segunda fase. EPSA Diagnóstico. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 35 p.
18. Simmons, CH; Tarano, JM; Pinto, JH. 1956. Carta agrológica de reconocimiento de la república de Guatemala: hoja Escuintla. Guatemala, Servicio Cooperativo Interamericano de Cooperación para la Agricultura. Esc. 1:400,000.
19. Silva M, GA. 2003. Proyecto de suministro de agua en cuencas pequeñas [en línea]. Bogotá, Colombia. Consultado 20 set 2005. Disponible en <http://www.geocities.com/gsi/vam/cauces.htm>
20. Sotelo, AG. 1982. Fundamentos de hidráulica general. México, Limusa. v. 1, p. 241-276.
21. Streeter, LV; Wylie, EB. 1988. Mecánica de los fluidos. Trad. Andrés García-Rejón. 3 ed. México, McGraw-Hill. 594 p.
22. Universidad Nacional del Nordeste, AR. 2000. Hidrometría [en línea]. Argentina. Disponible en <http://www.ing.unne.edu.ar/pub/hidro.pdf>. Consultado Septiembre 2005
23. Yol Zamora, VE. 2002. Evaluación y propuesta de manejo sostenible del recurso hídrico de la finca Sabana Grande, El Rodeo, Escuintla. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 113 p.

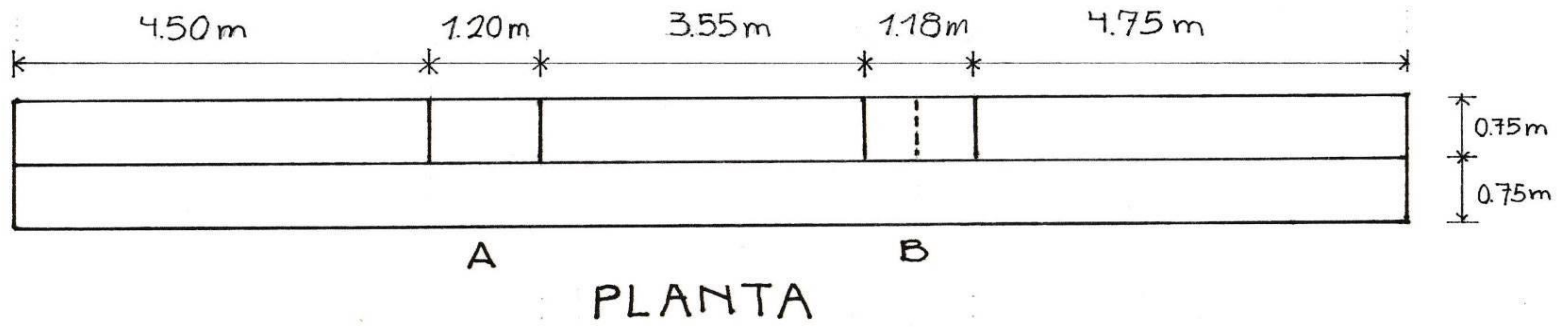
## 11.-APENDICES

### 11.1 Diseño estructuras de Aforo.

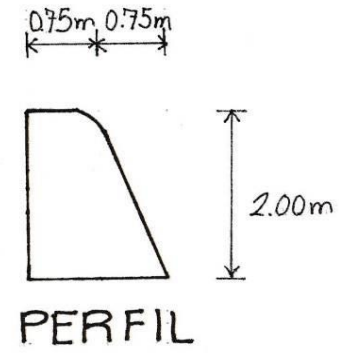
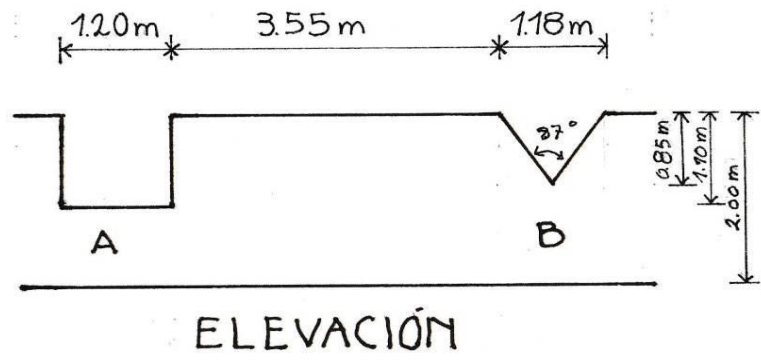
Vertederos Rio, Cantil  
Presa vertederos, Rio Cantil  
Medidor Parshall, Rio Mongoy.  
Canal Rectangular, Río Cometa.

### 11.2 Método Grafico para determinar los parámetros “a” y “b” del modelo $Q = a (h \pm b)^n$

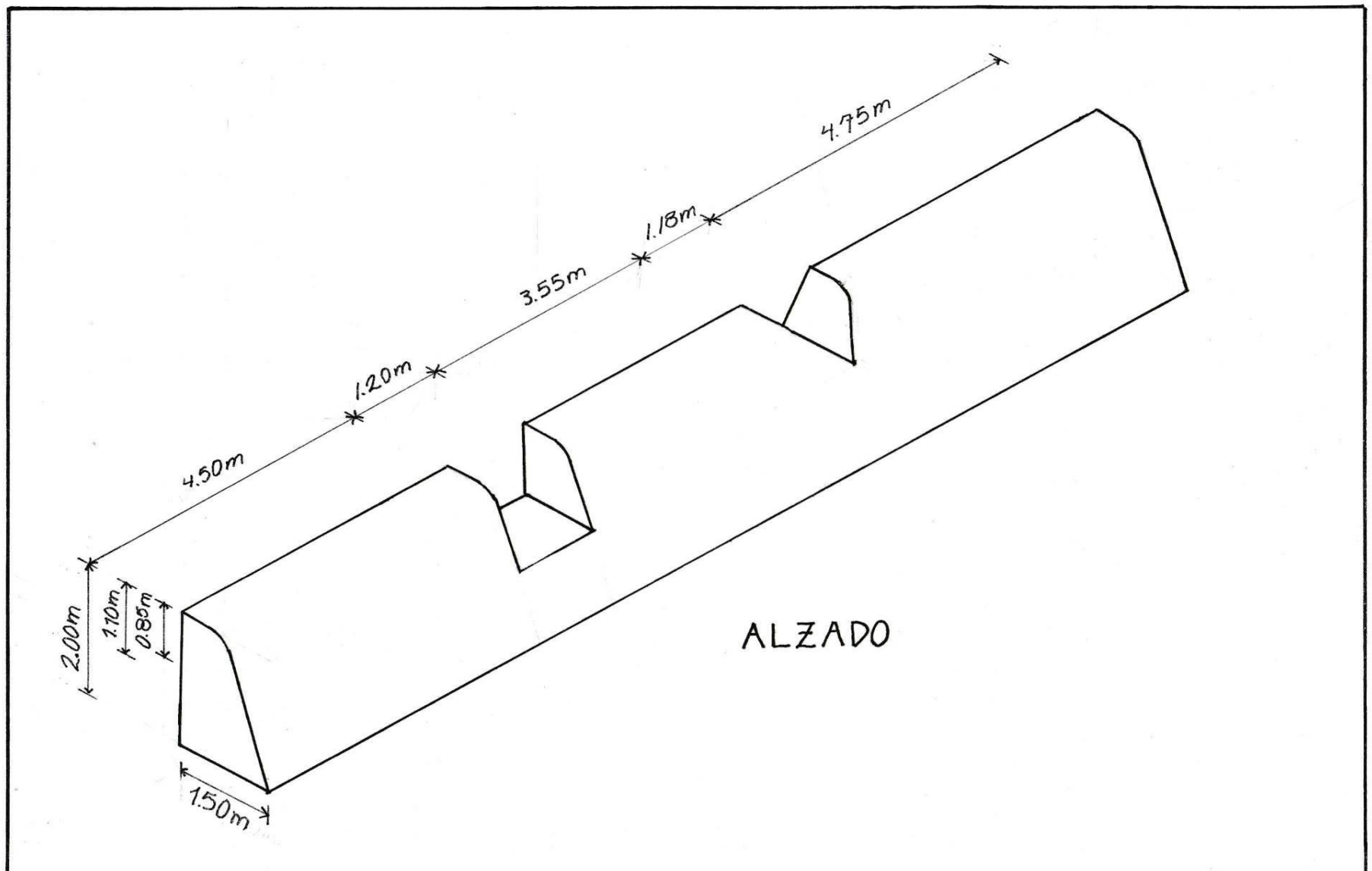
Gráfica, valores logarítmicos, escala logarítmica.  
Gráfica, valores aritméticos, escala logarítmica.  
Gráfica, valores logarítmicos, escala aritmética.  
Gráfica, valores aritméticos, escala aritmética.



A Vertedero Rectangular  
 B Vertedero Triangular



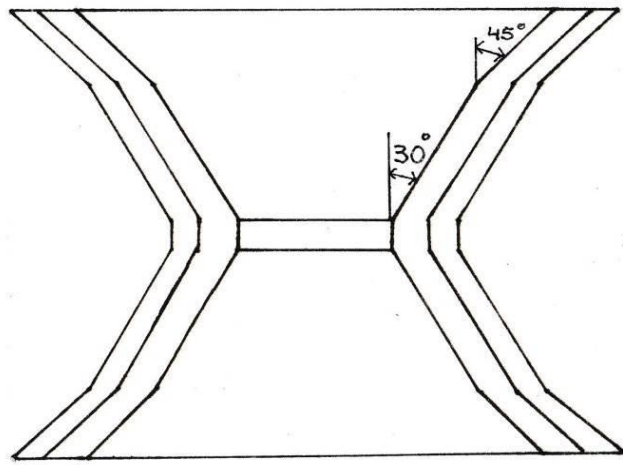
FACULTAD DE AGRONOMIA	VERTEDEROS RIO CANTIL	12-08-2006
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS	RODOLFO PATZAN YOC	ESC.1:75 N.1



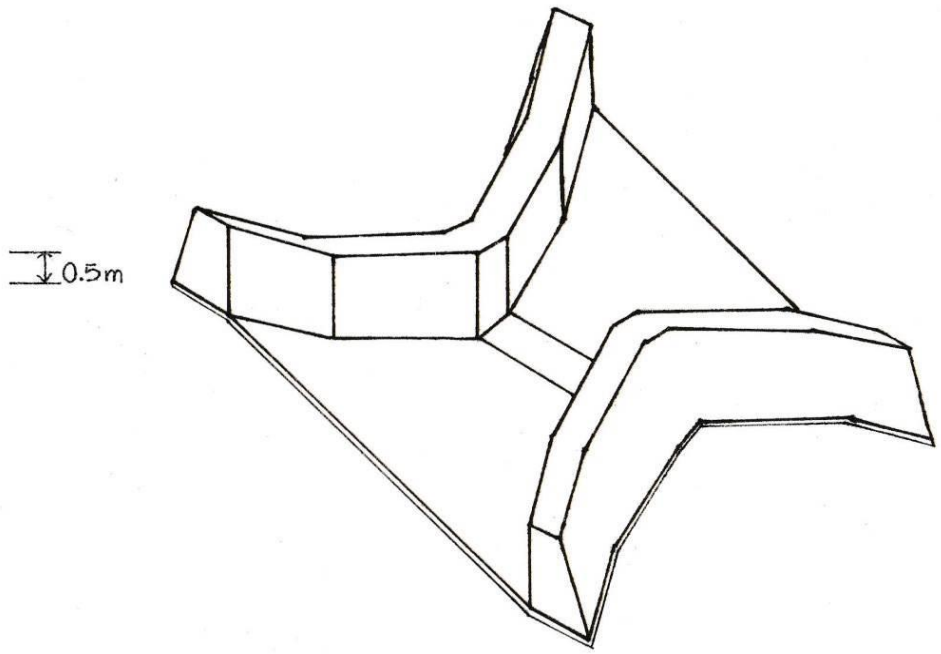
FACULTAD DE AGRONOMIA	VERTEDEROS RIOCANTIL	12-08-2006
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS	RODOLFO PATZAN YOC	ESC. 1:75 N. 2



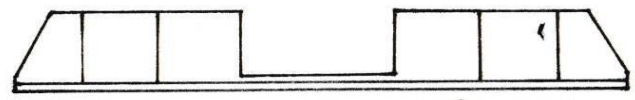
0.7 1.40m 1.50m 2.80m 1.50m 1.40m 0.5



PLANTA



ALZADO



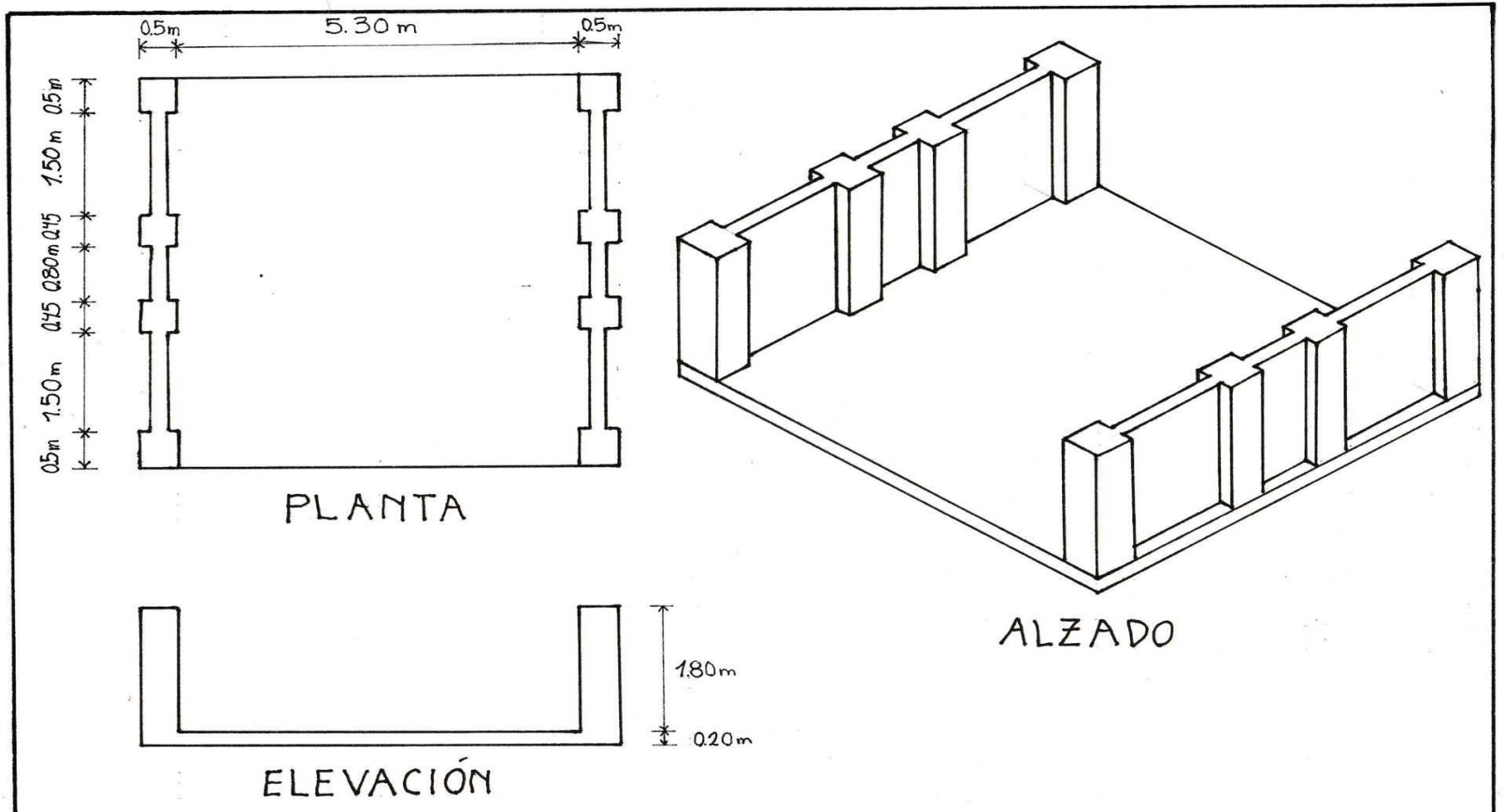
ELEVACIÓN

1.20m 1.45m  
8.15m



PISO

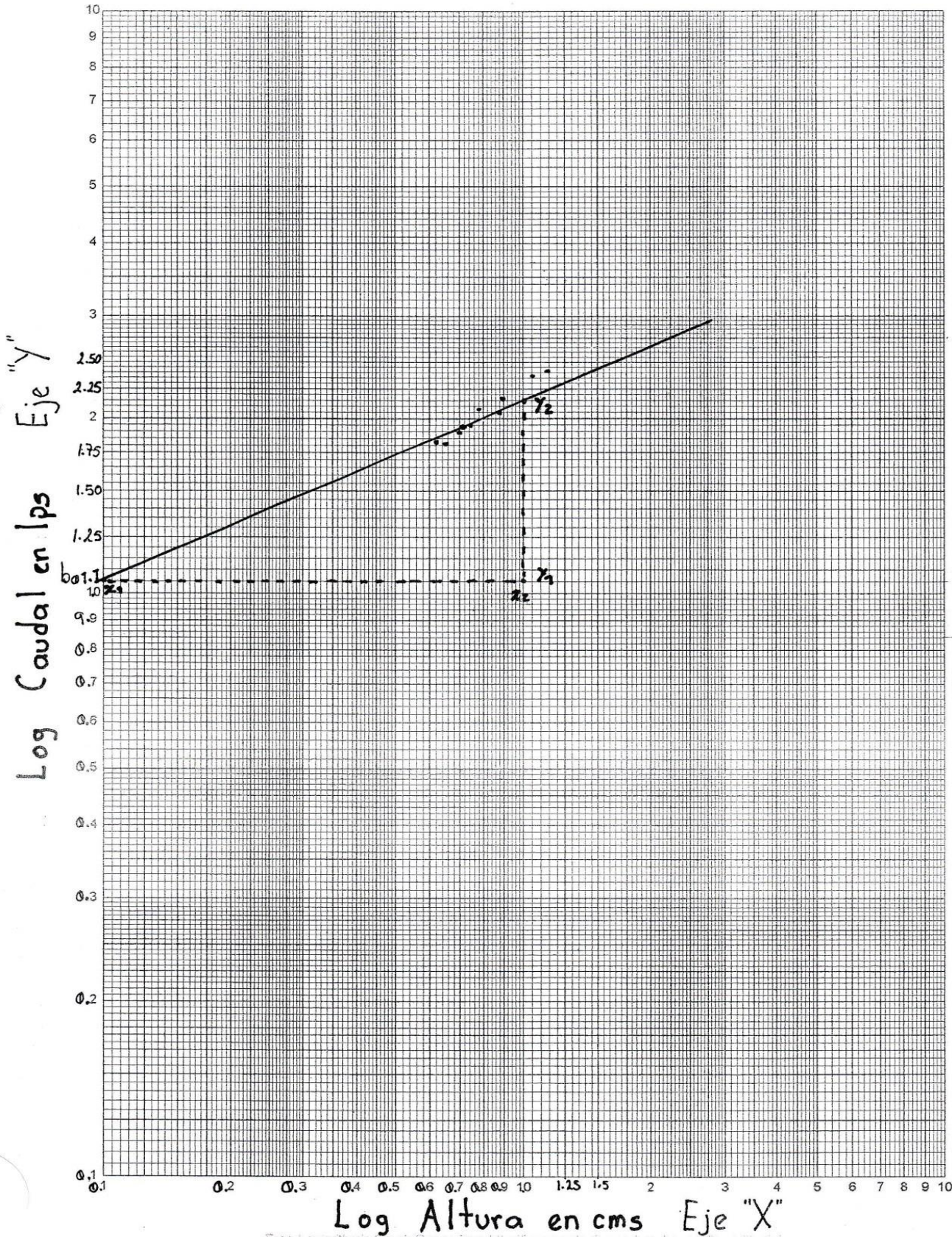
FACULTAD DE AGRONOMIA	MEDIDOR PARSHALL	12-08-2006
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS	RODOLFO PATZAN YOC	ESC. 1:125 N.3



FACULTAD DE AGRONOMIA	CANAL RECTANGULAR	12-08-2006
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS	RODOLFO PATZAN YOC	ESC. 1:75 N. 4



# Determinación de "b<sub>1</sub>" y "b<sub>0</sub>". Valores Logarítmicos (Log) **A-1**



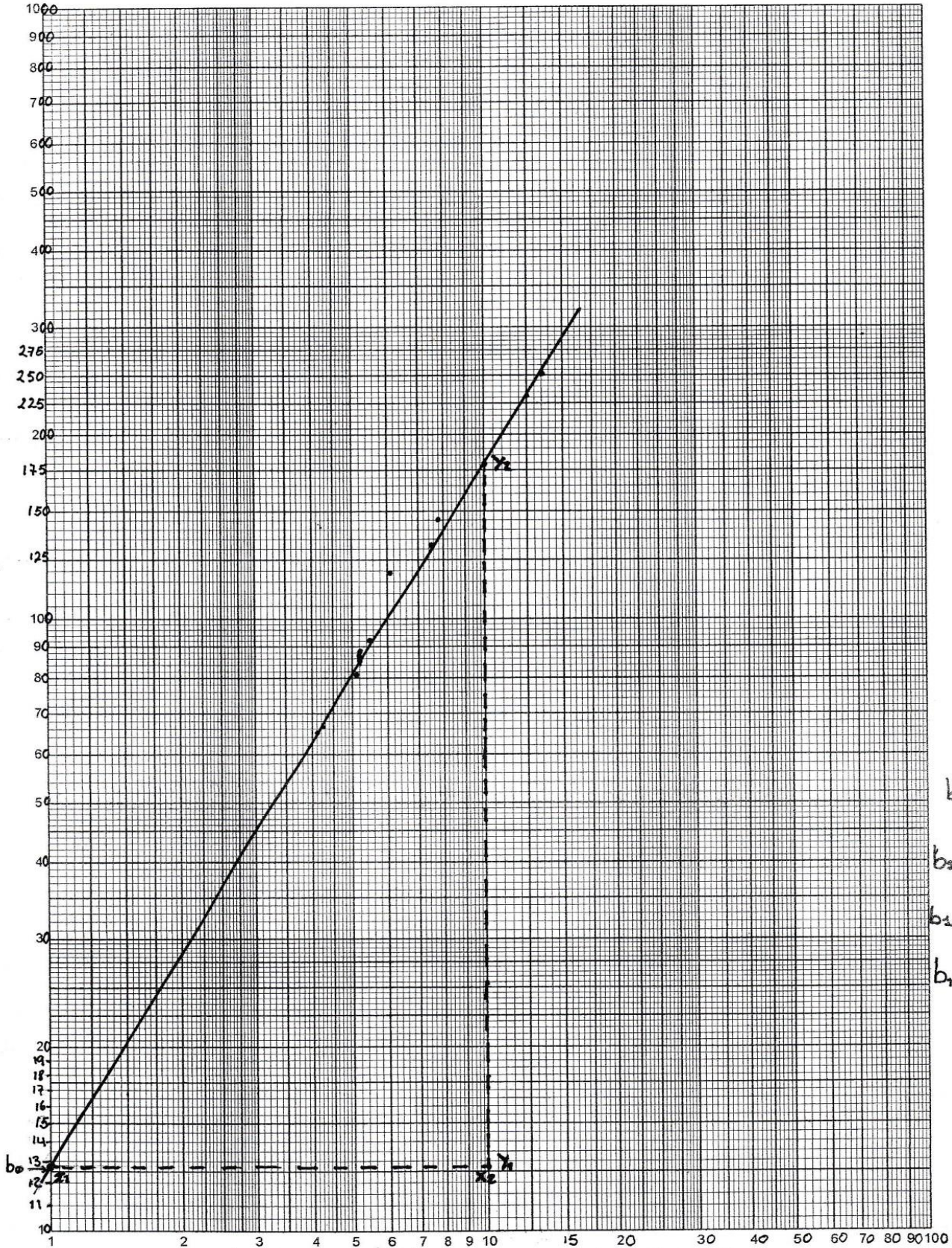
$b_0 = 1.1$   
 $b_0 = \text{antilog } 1.1$   
 $b_0 = 12.589$   
 $b_1 = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$   
 $b_1 = \frac{2.15 - 1.1}{1 - 0.1}$   
 $b_1 = 1.166$



# Determinación de "b" y "b<sub>0</sub>" Valores Aritméticos

A-2

Caudal en lps Eje "Y"



$b_0 = 12.6$

$b_1 = \frac{\log(Y_2/X_2)}{\log(X_2/X_1)}$

$b_1 = \frac{\log(180/12)}{\log(70/1)}$

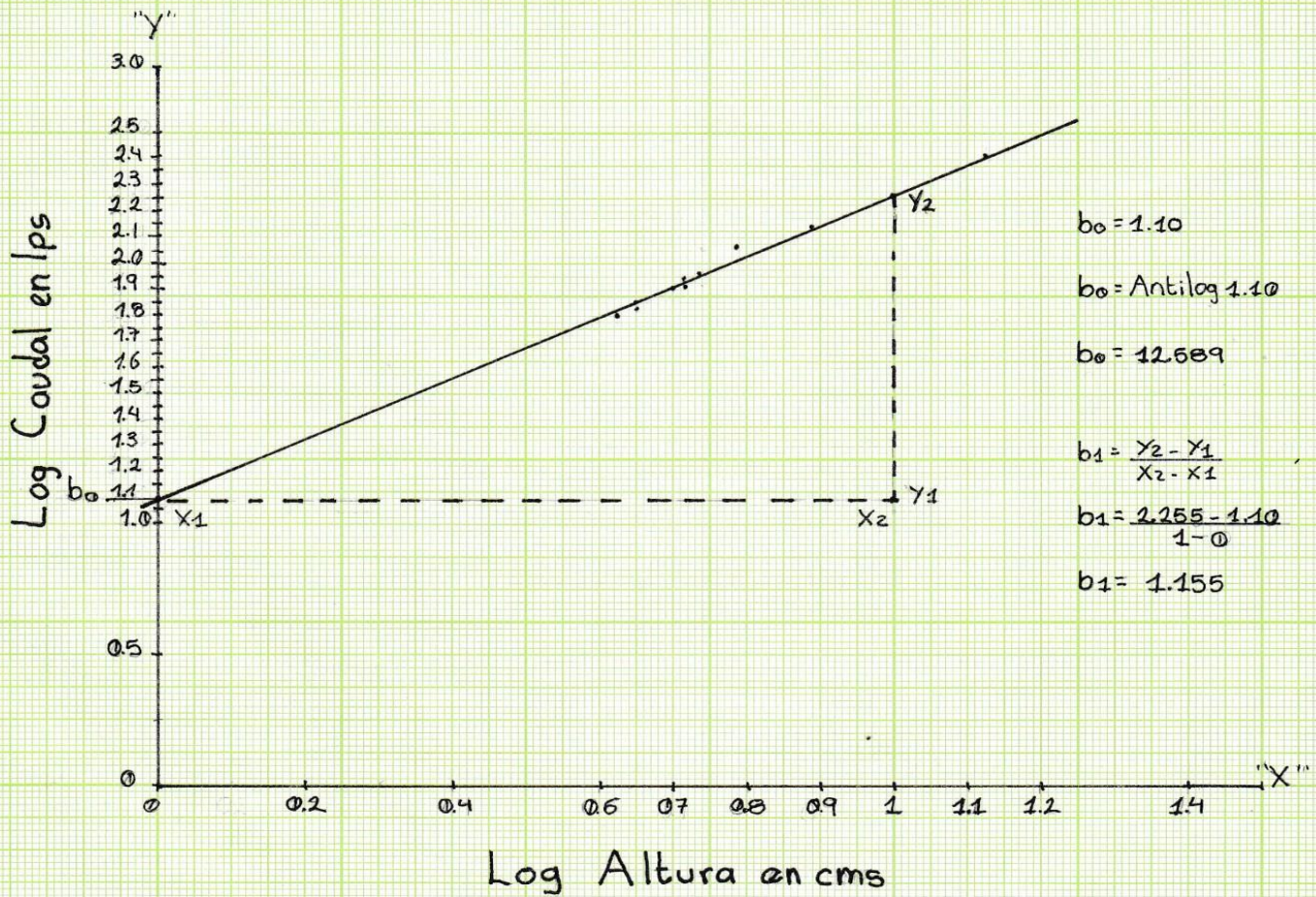
$b_1 = 1.1549$

Altura en cms Eje "X"



A-3

## Determinación de "b<sub>1</sub> y b<sub>0</sub>" Valores Logarítmicos (Log)





A-4

Determinación de "b<sub>1</sub> y b<sub>2</sub>", Valores Aritmeticos