



**IDEAM**

Instituto de Hidrología,  
Meteorología y  
Estudios Ambientales

## INFORME BATIMETRIA LAGO DE TOTA

Lisandro Nuñez  
Jose Ville Triana  
Nelsy Verdugo  
German Sopò  
Oscar Martinez

Grupo de Modelación  
Subdirección de Hidrología

Diciembre de 2014

**Tabla de contenido**

**INTRODUCCIÓN .....4**

**1 LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO .....5**

**2 INFORMACIÓN PRIMARIA UTILIZADA.....6**

2.1 **INFORMACIÓN CLIMATOLÓGICA ..... 6**

2.2 **INFORMACIÓN HIDROLÓGICA ..... 6**

2.3 **INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA..... 7**

**3 CLIMATOLOGÍA DEL LAGO DE TOTA .....8**

3.1 **PRECIPITACIÓN..... 8**

3.2 **EVAPORACIÓN..... 10**

3.3 **TEMPERATURA..... 10**

3.4 **HUMEDAD RELATIVA ..... 11**

3.5 **BRILLO SOLAR ..... 11**

**4 ANÁLISIS HIDROLÓGICO DE LAS CUENCAS DEL LAGO DE TOTA.....12**

**4.1 PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS ESTIMADOS..... 12**

4.1.1 **ÁREA DE DRENAJE DE LA CUENCA (AC) [KM<sup>2</sup>] 12**

4.1.2 **PERÍMETRO DE LA CUENCA 13**

4.1.3 **COTA DE NACIMIENTO (M,S,N,M,) 13**

4.1.4 **COTA EN EL SITIO DE ESTUDIO (M,S,N,M,) 13**

4.1.5 **LONGITUD RECTA DE LA CUENCA 14**

4.1.6 **ANCHO DE LA CUENCA (W) [KM] 14**

4.1.7 **PENDIENTE MEDIA DEL CAUCE 14**

4.1.8 **LONGITUD DEL CAUCE (L) [KM] 14**

4.1.9 **LONGITUD DE LA CUENCA (LC) [KM] 14**

4.1.10 **RELACIÓN DEL RELIEVE 14**

4.1.11 **PENDIENTE MEDIA DE LA CUENCA 14**

4.1.12 **ELEVACIÓN MEDIA DE LA CUENCA 15**

**4.2 COEFICIENTES MORFOMÉTRICOS..... 15**

4.2.1 **FACTOR DE FORMA (KF) 15**

4.2.2 **ÍNDICE DE ALARGAMIENTO 16**

4.2.3 **ÍNDICE DE GRAVELIUS (KC) 16**

4.2.4 **LONGITUD PROMEDIO DE FLUJO SUPERFICIAL 16**

4.2.5 **COEFICIENTE DE COMPACIDAD 17**

4.2.6 **RELACIÓN DE ELONGACIÓN 17**

4.2.7 **RELACIÓN DE HORTON 17**

4.2.8 **DENSIDAD DE DRENAJE 18**

4.2.9 **SINUOSIDAD DEL CAUCE PRINCIPAL 18**

**4.3 PARÁMETROS Y COEFICIENTES MORFOMÉTRICOS CALCULADOS ..... 18**

4.3.1 **ZONA A 20**

4.3.2 **ZONA C 23**

4.3.3 **ZONA D 26**

4.3.4 **ZONA E 29**

**5 HIDROLOGÍA .....32**

**5.1 RÍO OLARTE ..... 32**

**5.2 QUEBRADA LAS CINTAS ..... 32**

**5.3 QUEBRADA LOS POZOS..... 33**

**5.4 NIVELES DEL LAGO DE TOTA ..... 33**

**5.5 CURVA DE CAPACIDAD DEL LAGO DE TOTA..... 35**

**6 CONCLUSIONES.....40**

## LISTA DE CUADROS

|  |    |
|--|----|
| <b>CUADRO 1.</b> ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS Y CLIMATOLÓGICAS UTILIZADAS .....         | 6  |
| <b>CUADRO 2.</b> ESTACIONES HIDROLÓGICAS UTILIZADAS .....                            | 6  |
| <b>CUADRO 2.</b> VALORES TOTALES MENSUALES DE PRECIPITACIÓN (MMS) (MONOMODALES)..... | 8  |
| <b>CUADRO 4.</b> VALORES TOTALES MENSUALES DE PRECIPITACIÓN (MMS) (BIMODALES).....   | 9  |
| <b>CUADRO 5.</b> DEFINICIÓN DE CUENCAS .....   | 12 |
| <b>CUADRO 6.</b> ÁREA POR ZONA .....   | 18 |
| <b>CUADRO 7.</b> CORRIENTE UTILIZADA POR CADA ZONA .....                             | 19 |
| <b>CUADRO 8.</b> PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS DEL RÍO TOBAL .....                        | 21 |
| <b>CUADRO 9.</b> COEFICIENTES MORFOMÉTRICOS DEL RÍO TOBAL .....                      | 22 |
| <b>CUADRO 10.</b> PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS DEL RÍO OLARTE .....                      | 24 |
| <b>CUADRO 11.</b> PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS DEL RÍO OLARTE .....                      | 25 |
| <b>CUADRO 12.</b> PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS DE LA QUEBRADA GUAYACHAL.....             | 27 |
| <b>CUADRO 13.</b> COEFICIENTES MORFOMÉTRICOS DE LA QUEBRADA GUAYACHAL.....           | 28 |
| <b>CUADRO 14.</b> PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS DEL RÍO HATOLAGUNA .....                  | 30 |
| <b>CUADRO 15.</b> COEFICIENTES MORFOMÉTRICOS DEL RÍO HATOLAGUNA .....                | 31 |

## LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| <b>FIGURA 2.1.</b> UBICACIÓN DE LA ESTACIONES HIDROMETEOROLÓGICAS .....           | 7  |
| <b>FIGURA 3.1.</b> VALORES TOTALES MENSUALES DE PRECIPITACIÓN (MONOMODALES) ..... | 8  |
| <b>FIGURA 3.2.</b> VALORES TOTALES MENSUALES DE PRECIPITACIÓN (BIMODALES) .....   | 9  |
| <b>FIGURA 3.3.</b> EVAPORACIÓN MEDIA MENSUAL .....                                | 10 |
| <b>FIGURA 3.4.</b> VALORES MEDIOS MENSUALES DE TEMPERATURA.....                   | 10 |
| <b>FIGURA 3.5.</b> VALORES MEDIOS MENSUALES DE HUMEDAD RELATIVA .....             | 11 |
| <b>FIGURA 3.6.</b> VALORES TOTALES MENSUALES DE BRILLO SOLAR .....                | 11 |
| <b>FIGURA 4.1.</b> ÁREA DE DRENAJE TÍPICA .....                                   | 13 |
| <b>FIGURA 4.2.</b> ÁREA DE DRENAJE VISTA EN 3D.....                               | 13 |
| <b>FIGURA 4.3.</b> LONGITUD DEL CAUCE PRINCIPAL (L) Y DE LA CUENCA (LC).....      | 14 |

## LISTA DE FOTOGRAFÍAS

|   |    |
|---|----|
| <b>FOTOGRAFÍA 1.</b> LOCALIZACIÓN DEL SECTOR DE ESTUDIO .....                               | 5  |
| <b>FOTOGRAFÍA 2.</b> LAGO DE TOTA .....   | 35 |
| <b>FOTOGRAFÍA 3.</b> LAGO DE TOTA .....   | 37 |
| <b>FOTOGRAFÍA 4.</b> LAGO DE TOTA .....   | 37 |
| <b>FOTOGRAFÍA 5.</b> LAGO DE TOTA .....   | 38 |
| <b>FOTOGRAFÍA 6.</b> EQUIPO ADCP PARA EL LEVANTAMIENTO BATIMÉTRICO EN EL LAGO DE TOTA ..... | 38 |

## INTRODUCCIÓN

El presente documento tiene como objetivo principal realizar un análisis hidrológico del Lago de Tota, que hacen parte del estudio de aplicación de modelos hidrológicos/hidráulicos orientados a la evaluación de amenazas.

El objetivo de estos estudios es la determinación de los caudales medios de los afluentes que poseen medición de niveles con estaciones Limnimétricas operadas por el IDEAM, además de realizar un levantamiento batimétrico del Lago de Tota con el equipo ADCP para estimar la curva de capacidad del lago.

## 1 LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO

El Lago de Tota se encuentra ubicado al oriente del departamento de Boyacá, en una elevada depresión de la cordillera oriental de los Andes Colombianos. Las cuencas hidrográficas que surten al lago se encuentran en Jurisdicción de los municipios de Aquitania, Tota y Cuitiva, con relieves que presentan altitudes que van desde los 2.950 hasta los 3.900 m.s.n.m.

El Lago está situado a 15 km al sur de Sogamoso por la vía que de este municipio conduce a Aquitania.

Las coordenadas geográficas que demarcan los límites son las siguientes:

Latitud: 5° 28' 13"N – 5° 39' 14" N  
 Longitud: 72° 50' 38"W – 73° 00' 00" W



**Fotografía 1.** Localización del sector de estudio  
**Fuente:** Google Earth

## 2 INFORMACIÓN PRIMARIA UTILIZADA

A continuación se presenta la información primaria utilizada para el desarrollo del capítulo de la climatología y de los parámetros morfométricos en el Lago de Tota.

### 2.1 INFORMACIÓN CLIMATOLOGICA

En el Cuadro 1, se presenta la relación de las estaciones climatológicas principales identificada dentro y/o cerca de la zona del estudio y cuya información fue recopilada para el presente estudio. En el cuadro antes mencionado se describe el código de la estación, la categoría, las coordenadas geográficas, la elevación, la corriente o cuenca y el municipio donde se encuentran.

Estas estaciones hacen parte de la red hidrometeorológica del INSTITUTO DE HIDROLOGÍA METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES – IDEAM y la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca - CAR. En la Figura 2.1 se presenta la localización de las estaciones.

**Cuadro 1.** Estaciones pluviométricas y climatológicas utilizadas

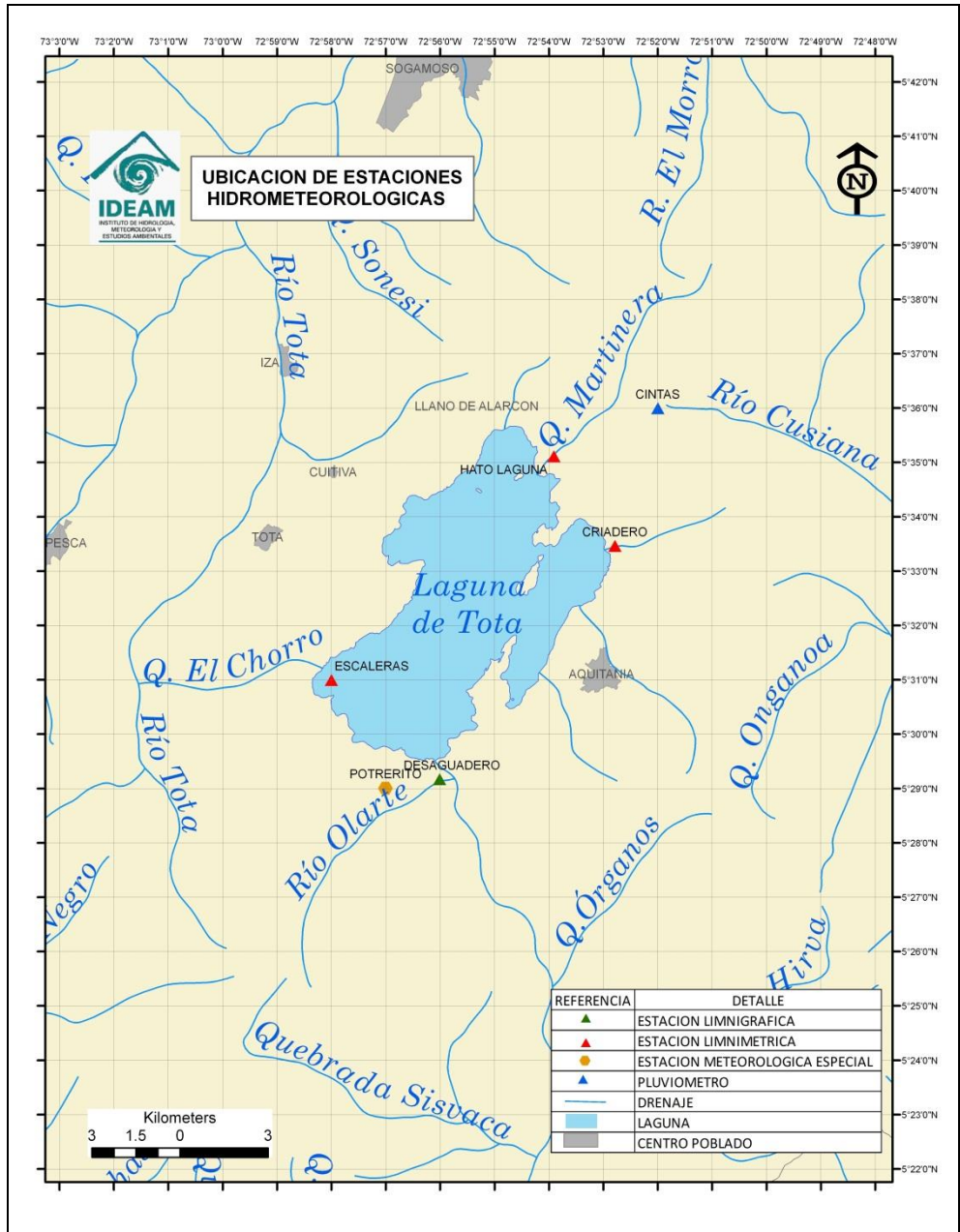
| Estación     | Código   | Tipo | Coordenadas |         | Elevación<br>m.s.n.m | Corriente     | Municipio |
|--------------|----------|------|-------------|---------|----------------------|---------------|-----------|
|              |          |      | Norte       | Este    |                      |               |           |
| Toquilla     | 35190020 | PM   | 5° 31'      | 72° 42' | 2.690                | Cusiana       | Aquitania |
| Cintas       | 35190010 | PG   | 5° 36'      | 72° 52' | 3.400                | Q. Las Cintas | Sogamoso  |
| Guamo        | 35090070 | PM   | 5° 22'      | 72° 55' | 2.575                | Upia          | Aquitania |
| Potrerito    | 35095050 | ME   | 5° 29'      | 72° 57' | 3.225                | Olarte        | Aquitania |
| Las Villitas | 35095080 | ME   | 5° 37'      | 72° 55' | 3.150                | Q. El Salitre | Aquitania |
| Tunguavita   | 24035170 | AM   | 5° 44'      | 73° 06' | 2.470                | Salitre       | Paipa     |
| El Crucero   | 24030760 | PM   | 5° 38'      | 72° 55' | 3.225                | Chicamocha    | Sogamoso  |
| El Túnel     | 35095030 | CO   | 5° 34'      | 72° 52' | 3.000                | Lago de Tota  | Cuitiva   |
| Tota         | 35095060 | ME   | 5° 34'      | 72° 59' | 2.900                | Tota          | Tota      |

### 2.2 INFORMACIÓN HIDROLOGICA

En el Cuadro 2, se presenta la relación de las estaciones hidrológicas identificadas en la zona de estudio y cuya información fue recopilada para el presente estudio. En el cuadro antes mencionado se describe el código de la estación, la categoría, las coordenadas geográficas, la elevación, la corriente o cuenca y el municipio donde se encuentran.

**Cuadro 2.** Estaciones hidrológicas utilizadas

| Estación    | Código   | Tipo | Coordenadas |         | Elevación<br>m.s.n.m | Corriente    | Municipio |
|-------------|----------|------|-------------|---------|----------------------|--------------|-----------|
|             |          |      | Norte       | Este    |                      |              |           |
| Desaguadero | 35097010 | LM   | 5° 29'      | 72° 56' | 3.007                | Olarte       | Aquitania |
| Hato Laguna | 35097030 | LM   | 5° 35'      | 72° 53' | 3.020                | Q Las Cintas | Aquitania |
| Criadero    | 35097050 | LM   | 5° 33'      | 72° 52' | 3.025                | Q. Los Pozos | Aquitania |
| Escaleras   | 35097070 | LM   | 5° 29'      | 72° 56' | 3.014                | Lago de Tota | Tota      |



**Figura 2.1.** Ubicación de la estaciones hidrometeorológicas

### 2.3 INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA

Se adelantó una investigación directa sobre cartas del IGAC que contienen la configuración y rasgos topográficos de las cuencas que drenan sus aguas al Lago de Tota y las zonas aledañas a ella, y el modelo de elevación digital para Colombia.

Con el modelo de elevación digital se utilizó para delimitar las cuencas aferentes al Lago desde su nacimiento hasta el sector de la laguna y su área correspondiente.

### 3 CLIMATOLOGÍA DEL LAGO DE TOTA

Los análisis climatológicos del presente estudio están orientados a definir las condiciones medias mensuales y las variaciones estacionales de las lluvias, temperatura, evaporación y humedad relativa en el Lago de Tota. La información climatológica será la base para conocer las características de las microcuencas que drenan sus aguas al lago.

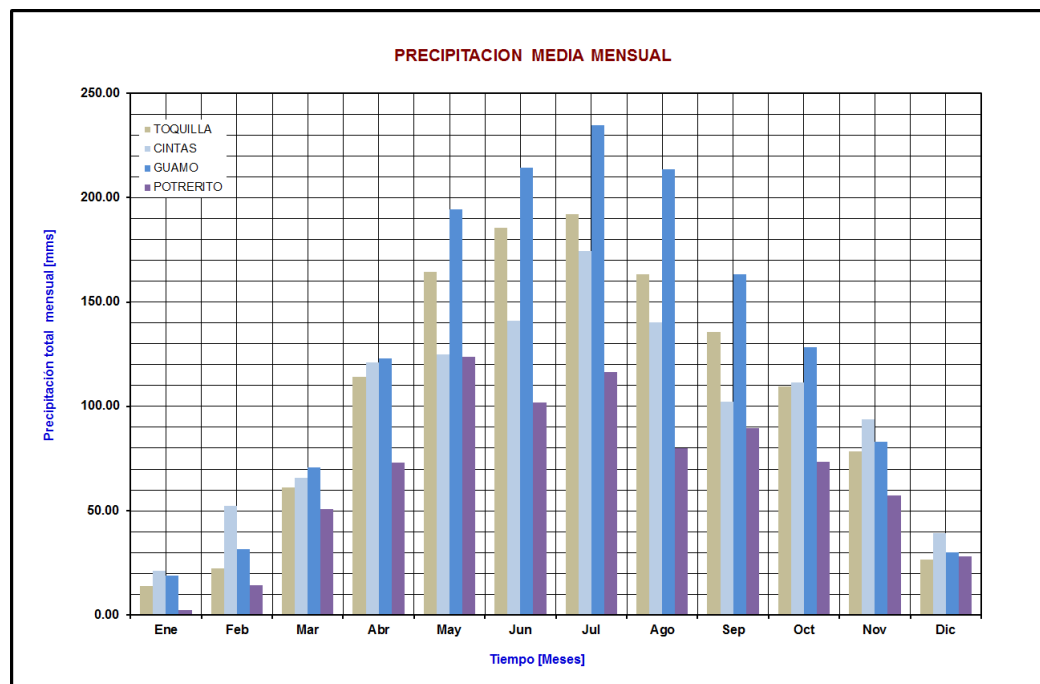
#### 3.1 Precipitación

Los resultados obtenidos se muestran en gráficas comparativas que nos permiten encontrar diferencias en cuanto a tendencias, máximos y mínimos. A continuación se muestran los resultados de precipitaciones por estación, los que se dividieron en dos graficas de acuerdo a la forma de las distribuciones.

**Cuadro 3.** Valores totales mensuales de precipitación (mms) (Monomodales)

| Estación  | Ene  | Feb  | Mar  | Abr   | May   | Jun   | Jul   | Ago   | Sep   | Oct   | Nov  | Dic  | Valor Anual |
|-----------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|-------------|
| TOQUILLA  | 13,8 | 22,6 | 61,3 | 114,2 | 164,5 | 185,7 | 191,9 | 163,3 | 135,8 | 109,4 | 78,3 | 26,6 | 1267,4      |
| CINTAS    | 21,4 | 52,2 | 65,6 | 121   | 124,8 | 141   | 174,6 | 140,1 | 102,1 | 111,4 | 93,7 | 39,4 | 1187,3      |
| GUAMO     | 19   | 31,8 | 70,6 | 123   | 194,4 | 214,5 | 234,5 | 213,7 | 163,2 | 128,4 | 83,2 | 30,2 | 1506,5      |
| POTRERITO | 2,4  | 14,4 | 51   | 72,9  | 123,9 | 102   | 116,6 | 79,8  | 89,4  | 73,3  | 57,3 | 28,2 | 811,2       |
| TOQUILLA  | 13,8 | 22,6 | 61,3 | 114,2 | 164,5 | 185,7 | 191,9 | 163,3 | 135,8 | 109,4 | 78,3 | 26,6 | 1267,4      |
| PROMEDI   | 14,2 | 30,3 | 62,1 | 107,8 | 151,9 | 160,8 | 179,4 | 149,2 | 122,6 | 105,6 | 78,1 | 31,1 | 1193,1      |

Estas estaciones presentan un comportamiento denominado como monomodal con precipitaciones máximas entre los meses entre Junio y Agosto. (Figura 3.1).

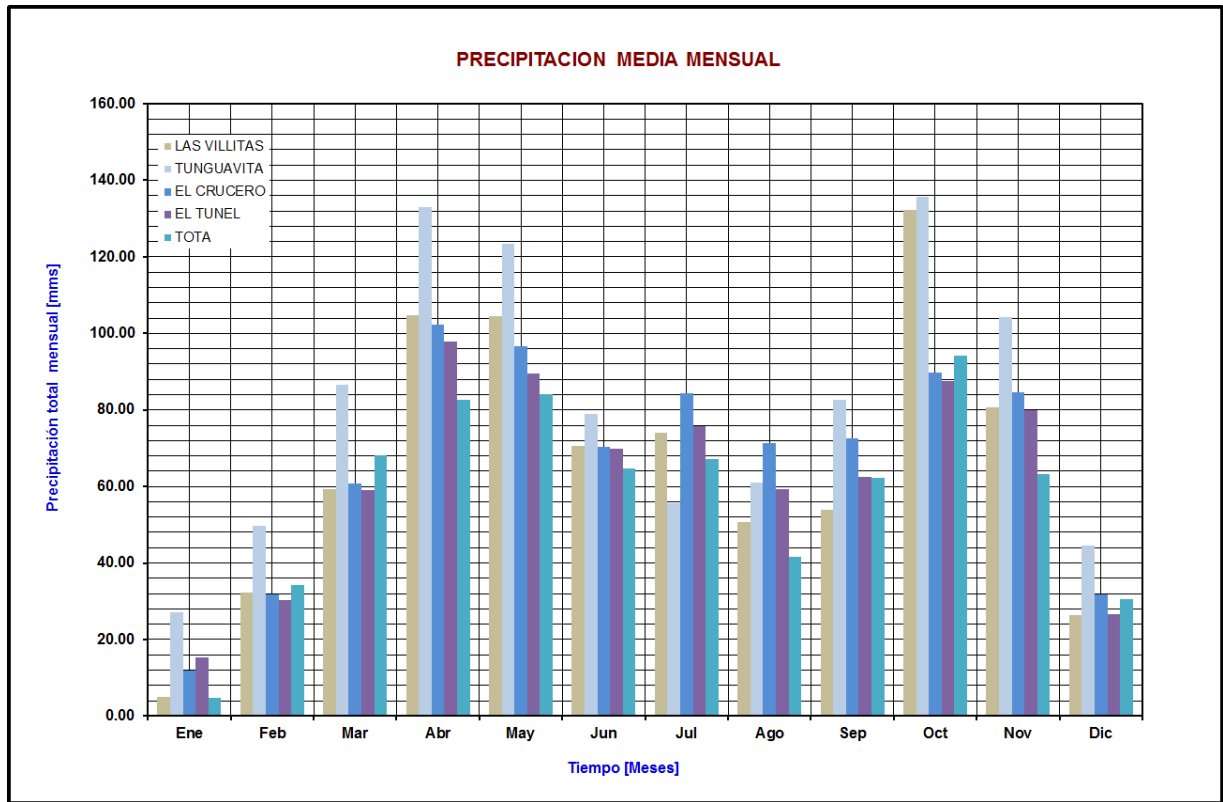


**Figura 3.1.** Valores totales mensuales de precipitación (Monomodales)



**Cuadro 4.** Valores totales mensuales de precipitación (mms) (Bimodales)

| Estación | Ene  | Feb  | Mar  | Abr   | May   | Jun  | Jul  | Ago  | Sep  | Oct   | Nov   | Dic  | Valor Anual |
|----------|------|------|------|-------|-------|------|------|------|------|-------|-------|------|-------------|
| VILLITAS | 5    | 32,3 | 59,3 | 104,7 | 104,4 | 70,7 | 74   | 50,8 | 53,8 | 132,3 | 80,7  | 26,5 | 794,5       |
| TUNGUAVI | 27,2 | 49,8 | 86,6 | 132,9 | 123,3 | 78,9 | 55,6 | 61,1 | 82,7 | 135,7 | 104,2 | 44,6 | 982,6       |
| ECRUCERO | 12   | 31,8 | 60,8 | 102,2 | 96,7  | 70,3 | 84,3 | 71,4 | 72,6 | 89,7  | 84,7  | 31,7 | 808,2       |
| EL TUNEL | 15,3 | 30,3 | 59,1 | 97,8  | 89,6  | 69,8 | 75,8 | 59,2 | 62,4 | 87,5  | 80    | 26,6 | 753,4       |
| TOTA     | 4,8  | 34,2 | 68,1 | 82,6  | 84,2  | 64,7 | 67,1 | 41,6 | 62,2 | 94,2  | 63,3  | 30,5 | 697,5       |
| PROMEDIO | 14,8 | 36,5 | 68,7 | 103,9 | 98,5  | 70,9 | 70,7 | 58,3 | 70,0 | 101,8 | 83,1  | 33,4 | 810,4       |



**Figura 3.2.** Valores totales mensuales de precipitación (Bimodales)

### 3.2 Evaporación

La estación climatológica ordinaria El Túnel en el Lago de Tota, tiene un total de evaporación de 1.215,0 milímetros anuales, Los meses de mayor evaporación son Enero y Marzo.

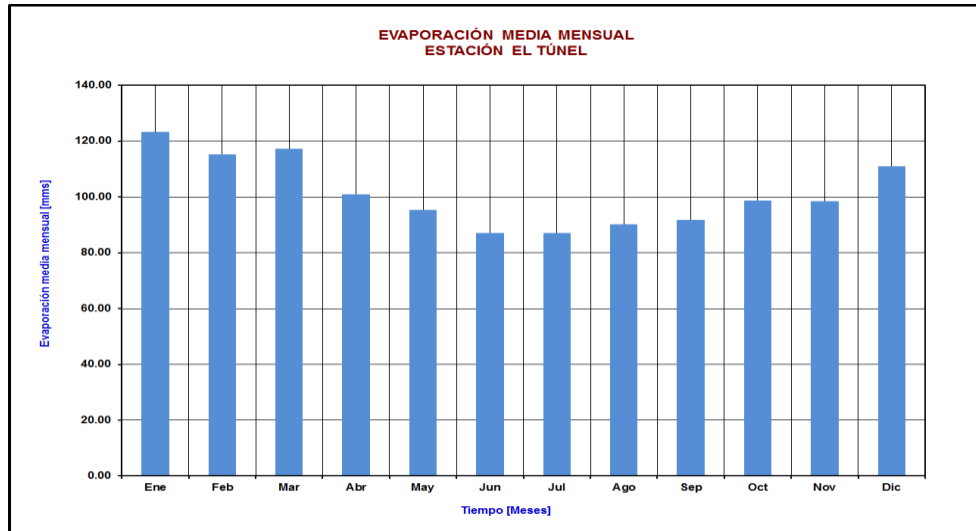


Figura 3.3. Evaporación media mensual

### 3.3 Temperatura

La temperatura media multianual observada en la estación El Túnel es de 11,40 °C. La temperatura máxima media mensual registrada es 18,10 °C. La Temperatura mínima media mensual registrada es de 5,30 °C. En la Figura 3.4 se presenta la variación de la temperatura en los diferentes meses del año.

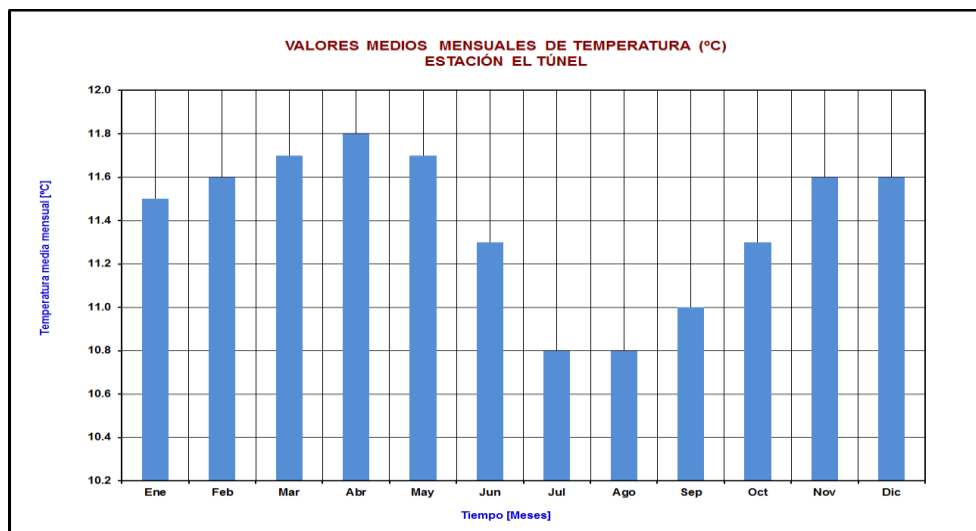


Figura 3.4. Valores medios mensuales de temperatura

### 3.4 Humedad relativa

En términos multianuales, la humedad relativa media del aire en la estación El Túnel, ubicada a 3.000 msnm, es igual a 83,0 %. Ocurren los mayores valores de este parámetro en los períodos de lluvias y menores en los períodos de verano. El mes de mayor humedad relativa multianual corresponde a abril a junio y octubre a noviembre, con el 84,0 %, mientras que, el de menor humedad relativa ocurre en el mes de enero, con 79,0 %. El histograma de la Figura 3.5 representa los valores medios mensuales multianuales de la humedad relativa en el Lago de Tota.

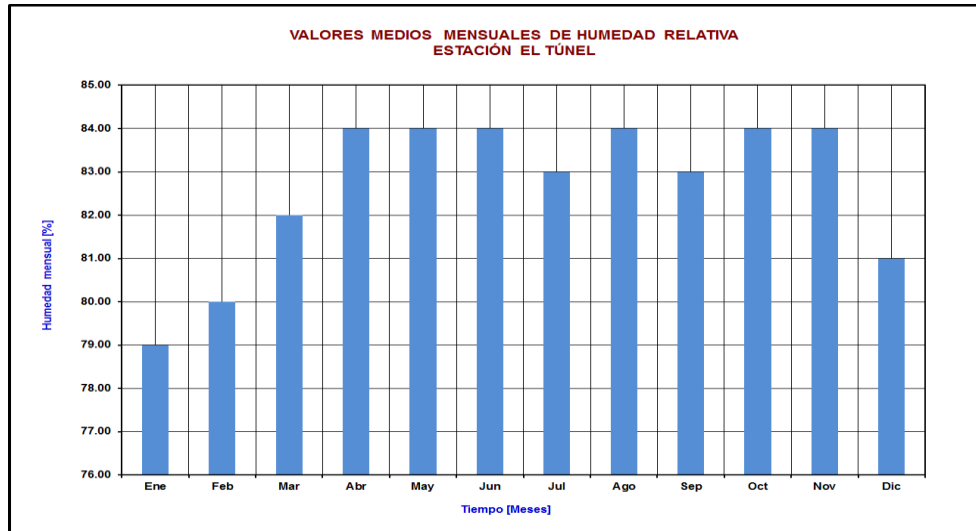


Figura 3.5. Valores medios mensuales de Humedad relativa

### 3.5 Brillo solar

La estación con registros de horas de brillo solar ubicada en el Lago de Tota es la estación El túnel, la cual se encuentra a 3.000 metros de elevación, con un valor medio anual es de 1.890,00 horas, con mayores valores en enero – diciembre y menores en junio.

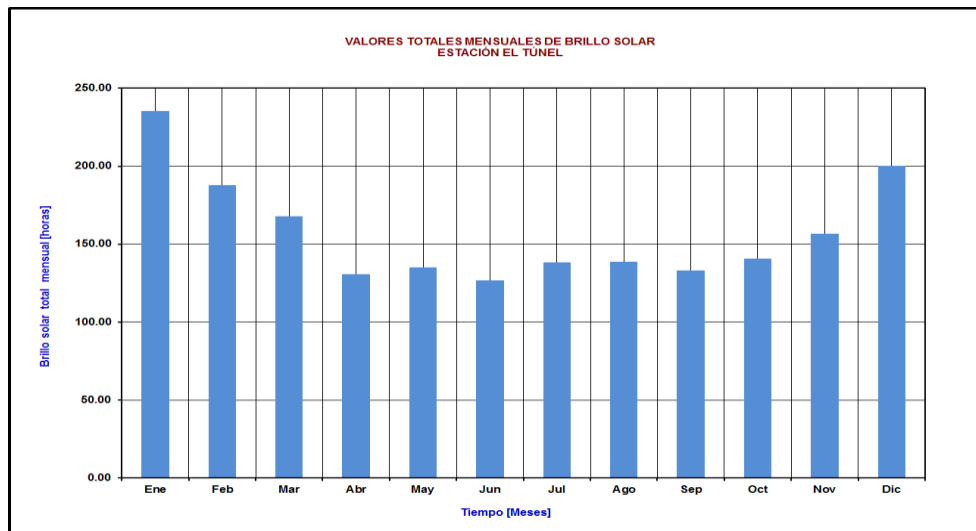


Figura 3.6. Valores totales mensuales de brillo solar

## 4 ANALISIS HIDROLÓGICO DE LAS CUENCAS DEL LAGO DE TOTA

A continuación se realizará el cálculo de los parámetros morfométricos de las microcuencas que drenan hacia el Lago de Tota, a partir del modelo de elevación digital.

### 4.1 PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS ESTIMADOS

#### 4.1.1 Área de drenaje de la cuenca (AC) [km<sup>2</sup>]

Es la proyección horizontal del área de drenaje de un sistema de escorrentía dirigido directa o indirectamente a un mismo cauce natural. El sitio que recoge toda la escorrentía que se produce en una cuenca hidrográfica se denomina punto de concentración.

De acuerdo con su extensión, existen algunas sub-áreas que se clasifican como se presenta en el siguiente Cuadro 5:

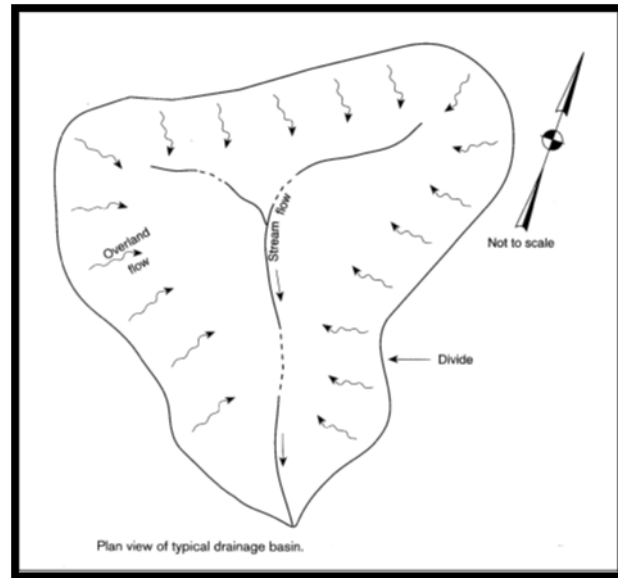
**Cuadro 5.** Definición de cuencas

| <b>(A<sub>C</sub>) [km<sup>2</sup>]</b> | <b>Nombre</b> |
|---|---------------|
| < 5                                     | Unidad        |
| 5 -20                                   | Sector        |
| 20 – 100                                | Microcuenca   |
| 100 - 300                               | Subcuenca     |
| > 300                                   | Cuenca        |

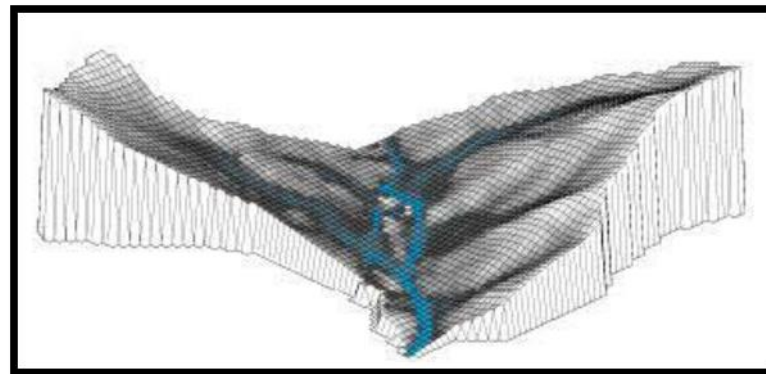
El concepto de área de drenaje y divisoria de aguas se presenta en las Figuras 4.1 y 4.2.

La delimitación de una cuenca hidrográfica se realiza a partir de restitutiones cartográficas y fotogramétricas y para ello se deben seguir las reglas básicas que se mencionan a continuación:

- a) La divisoria de aguas pasa por los puntos más altos de las cordilleras, cruzando los valles que estas delimitan.
- b) Su delimitación comienza en el punto de concentración y se continúa a cada lado de este punto con líneas siempre perpendiculares a las curvas de nivel.
- c) La divisoria de aguas nunca debe interceptar los cauces naturales.
- d) Imagine una gota de agua cayendo sobre el mapa, si la gota llegara al punto de concentración, ésta área debe pertenecer a la cuenca.



**Figura 4.1.** Área de drenaje Típica



**Figura 4.2.** Área de drenaje vista en 3D

#### 4.1.2 Perímetro de la cuenca

Corresponde a la longitud del límite exterior de la cuenca, definido por la divisoria topográfica de aguas.

#### 4.1.3 Cota de nacimiento (m,s,n,m,)

Es la cota del punto más elevado de la corriente principal.

#### 4.1.4 Cota en el sitio de estudio (m,s,n,m,)

Es la cota del punto más bajo de la cuenca, usualmente, el punto de salida de la cuenca o en el sitio de estudio, que para este caso sería hasta el Lago de Tota.

#### 4.1.5 Longitud recta de la cuenca

Es la longitud de una línea recta con dirección “paralela” al cauce principal.

#### 4.1.6 Ancho de la cuenca (w) [km]

Es la relación entre el área de drenaje de la cuenca y la longitud de la misma.

$$w = \frac{A_C}{L_C} \quad (1)$$

#### 4.1.7 Pendiente media del cauce

Se calcula como la cota superior menos la cota inferior dividida la longitud del cauce.

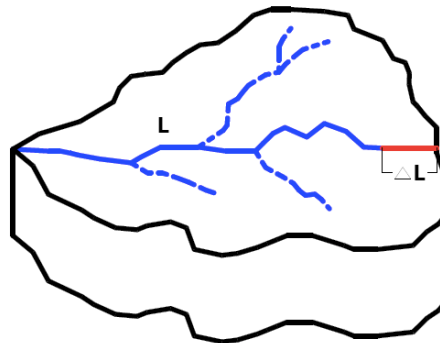
#### 4.1.8 Longitud del cauce (L) [km]

Es la longitud del cauce principal, medida desde el punto de concentración hasta el tramo de mayor longitud del mismo. Véase Figura 4.3

#### 4.1.9 Longitud de la cuenca (LC) [km]

Distancia horizontal medida desde el nacimiento del río principal hasta un punto, donde la tendencia general del río principal corte la línea de contorno de la cuenca (divisoria de aguas). Véase Figura 4.3.

$$L_C = L + \Delta L \quad (2)$$



**Figura 4.3.** Longitud del cauce principal (L) y de la cuenca (LC)

#### 4.1.10 Relación del relieve

Schumm (1956) propone una expresión muy simple para la descripción del relieve, (Relif Ratio) la Relación de Relieve (Rr) en función de la longitud de la cuenca L y de la diferencia de altura entre la salida de la cuenca y el punto más alto en la divisoria de la cuenca (h).

#### 4.1.11 Pendiente media de la cuenca

Para obtener la pendiente media de la cuenca se pondera la pendiente hallada para cada franja en función de su área.

$$S_m = \frac{L \cdot D}{A} \quad (3)$$

Dónde:

Sm: Pendiente media de la cuenca

D: Diferencia entre curvas de nivel

L: Longitud total de las curvas de nivel

A: Área de la cuenca

#### 4.1.12 Elevación Media de la Cuenca

Esta característica se determina a partir de la “curva hipsométrica” de la cuenca, La curva hipsométrica es la representación gráfica de la variación de la elevación de una cuenca, en ella puede observarse la distribución de las zonas altas, medias y bajas.

Se emplea en conjunto con los registros de precipitación para sectorizar las zonas con diferente pluviosidad y para estimar la relación entre la elevación y la precipitación.

La curva hipsométrica representa, entonces, el porcentaje de área acumulada que es igualado o excedido a una determinada cota.

La elevación media de una cuenca puede calcularse como:

$$H_{media} = \frac{\sum Area * Alt, media i}{\sum Area}$$

Esta elevación puede representarse gráficamente para la condición en la cual el área de la gráfica por encima de la elevación media es igual al área por debajo de ésta.

La elevación mediana de una cuenca es la elevación correspondiente al 50% del área total.

Es posible convertir la curva hipsométrica en una función adimensional utilizando valores relativos; es decir dividiendo los valores del eje de las abscisas entre el área total y el área de las ordenadas entre la máxima elevación, Esta función adimensional permite asociar la forma de esa curva con las edades de los cauces naturales.

## 4.2 COEFICIENTES MORFOMÉTRICOS

### 4.2.1 Factor de forma (Kf)

Índice propuesto por Gravelius, es la relación entre el área (A) de la cuenca y el cuadrado del máximo recorrido (L), Este parámetro mide la tendencia de la cuenca hacia las crecidas, rápidas y muy intensas a lentas y sostenidas, según que su factor de forma tienda hacia valores extremos grandes o pequeños.

Es la relación entre el ancho de la cuenca y su longitud.

$$K_f = \frac{A}{L^2} \quad (4)$$

| <b>f</b> | <b>Característica</b> |
|----------|-----------------------|
| < 1      | Tiende a ser alargada |
| 1        | Cuadrada              |
| > 1      | Tiende a ser achatada |

#### 4.2.2 Índice de alargamiento

Relaciona la longitud del cauce encontrada en la cuenca, medida en el sentido principal y el ancho máximo de ella, Esta define si la cuenca es alargada cuando su valor es mucho mayor a la unidad o si es muy achatada en ese sentido cuando son valores menores a la unidad.

$$I_a = \frac{L}{An} \quad (5)$$

Dónde:

L: Longitud de la cuenca

An: Ancho de la cuenca

#### 4.2.3 Índice de Gravelius (KC)

El índice de Gravelius está dado por la relación entre el área de un círculo equivalente cuyo perímetro es el perímetro de la cuenca (P), que es la misma longitud del parte aguas y el área de la cuenca, Se tiene:

$$K_c = \frac{P^2}{4 \cdot \pi \cdot A} \quad (6)$$

Dónde:

P: Perímetro de la cuenca [km]

A: Área de la cuenca [km<sup>2</sup>]

#### 4.2.4 Longitud promedio de flujo superficial

Se define como la distancia media que el agua debería escurrir sobre la cuenca para llegar a un cauce y se estima por la relación que existe entre el área y 4 veces la longitud de todos los cauces de la cuenca, o bien, la inversa de 4 veces la densidad de drenaje.

$$L_o = \frac{A_{cuenca}}{4 * \sum L_i} = \frac{1}{4D} \quad (7)$$



#### 4.2.5 Coeficiente de compacidad

Parámetro adimensional que relaciona el perímetro de la cuenca y el perímetro de un círculo de igual área que el de la cuenca, Este parámetro, al igual que el anterior, describe la geometría de la cuenca y está estrechamente relacionado con el tiempo de concentración del sistema hidrológico.

$$K_c = \frac{P_{cuenca}}{2\pi \left( \frac{A_{cuenca}}{\pi} \right)^{\frac{1}{2}}} \quad (8)$$

Dónde:

P: Perímetro de la cuenca [km]

A: Área de la cuenca [km<sup>2</sup>]

De acuerdo con este parámetro se han establecido 3 categorías:

| <b>K<sub>c</sub></b> | <b>Forma</b>                         |
|----------------------|--------------------------------------|
| 1,0 – 1,25           | Redonda a Oval - Redonda             |
| 1,25 – 1,5           | Oval – Redonda a Oval - Alargada     |
| 1,5 – 1,75           | Oval – Alargada a Oval - Rectangular |

#### 4.2.6 Relación de elongación

Se define como el cociente entre el diámetro de un círculo que tiene igual proporción al área de la cuenca y la longitud de la misma.

$$R_e = 1.128 * \frac{\sqrt{A}}{L} \quad (9)$$

Dónde:

L: Longitud de la cuenca [km]

A: Área de la cuenca [km<sup>2</sup>]

#### 4.2.7 Relación de Horton

Corresponde a la relación entre el área de la cuenca y la longitud de la misma.

$$R_f = \frac{A_{cuenca}}{L_{caucep}} \quad (10)$$

Dónde:

L = Longitud del cauce [km]

A= área de la cuenca [km<sup>2</sup>]

#### 4.2.8 Densidad de drenaje

Se define como la relación entre la longitud total de los cursos de agua de la cuenca y su área total,

$$D = \frac{\sum L_i}{A_{cuenca}} \quad (11)$$

Dónde:

L: Longitud total de los drenajes [km]

A: Área de la cuenca [km<sup>2</sup>]

#### 4.2.9 Sinuosidad del cauce principal

Es la relación que existe entre la longitud del cauce principal, L, y la longitud del valle del cauce principal medida en línea recta o curva, Lt.

$$S_i = \frac{L_{drenajep}}{L_t} \quad (12)$$

Dónde:

L: Longitud total de los drenajes [km]

Lt: Longitud del valle del cauce principal [km]

### 4.3 PARÁMETROS Y COEFICIENTES MORFOMÉTRICOS CALCULADOS

Para elaborar la caracterización morfométrica de las microcuencas se agruparon en cinco zonas, esta subdivisión se hizo basada en el Pomca del Lago de Tota. En el cuadro 6 se muestran todas las microcuencas según la zona y su área en km<sup>2</sup>:

**Cuadro 6.** Área por zona

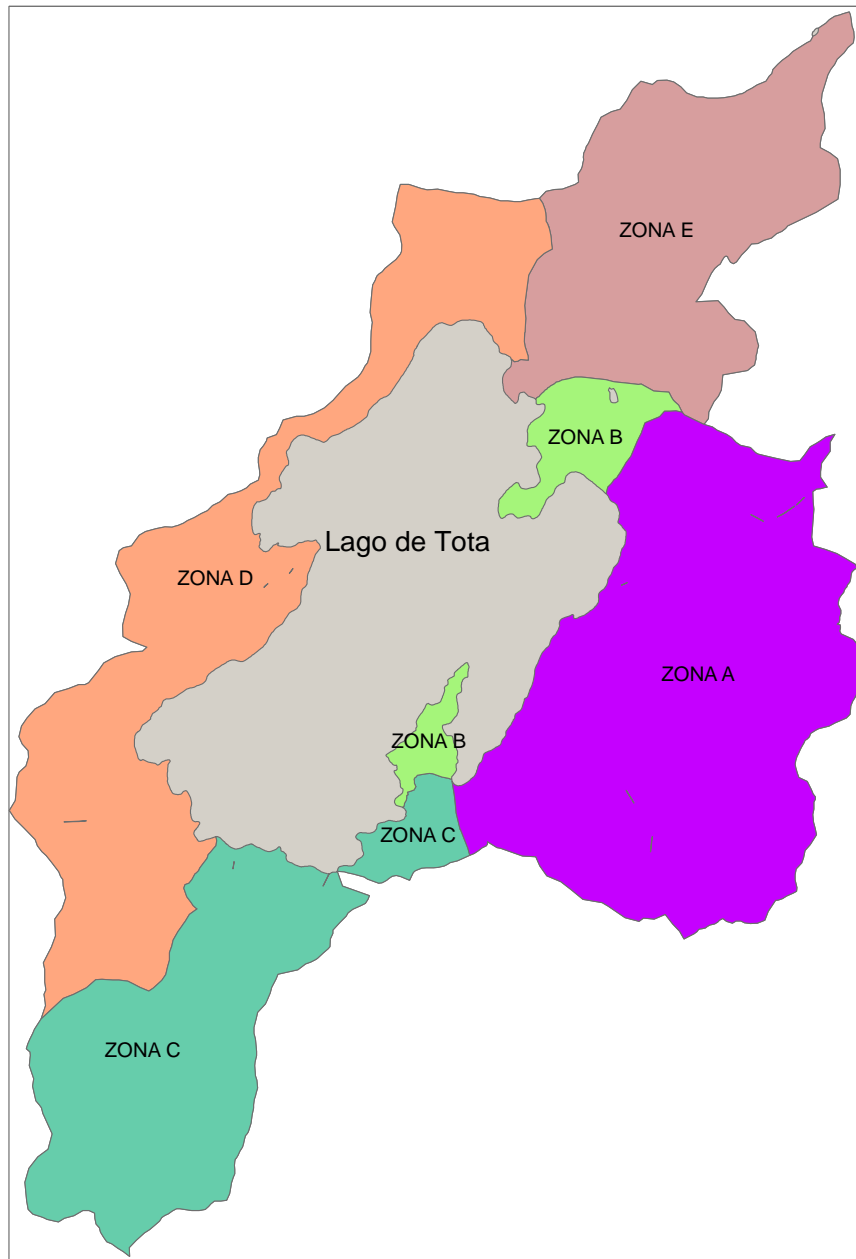
| Zonas | Área Total (km <sup>2</sup> ) |
|-------|-------------------------------|
| A     | 63,26                         |
| B     | 31,34                         |
| C     | 29,12                         |
| D     | 11,90                         |
| E     | 34,42                         |

Teniendo en cuenta lo anteriores zonas definidas en el Pomca, se realizó el cálculo de los parámetros morfométricos del río y/o quebrada representativa para cada una de las zonas, a excepción de la Zona B, por no tener un afluente de gran extensión como las otras zonas.

**Cuadro 7.** Corriente utilizada por cada zona

| Zonas | Corriente Cuenca |
|-------|------------------|
| A     | R. Tobal         |
| C     | R. Olarte        |
| D     | Q. Guayachal     |
| E     | R. Hatolaguna    |

**Figura 4.1.** Zonas identificadas en el Lago de Tota



### 4.3.1 ZONA A

Esta zona es la única que contiene una cabecera municipal que es Aquitania ubicada en la cuenca del Lago de Tota, la corriente que tiene mayor extensión es el Río Tobal, con un área de 32,6 km<sup>2</sup>, el cual tiene una pendiente media del cauce de 9% y una elevación media de la microcuenca es de 3.370,30 m,

Figura 4.2. Curva Hipsométrica del río Tobal

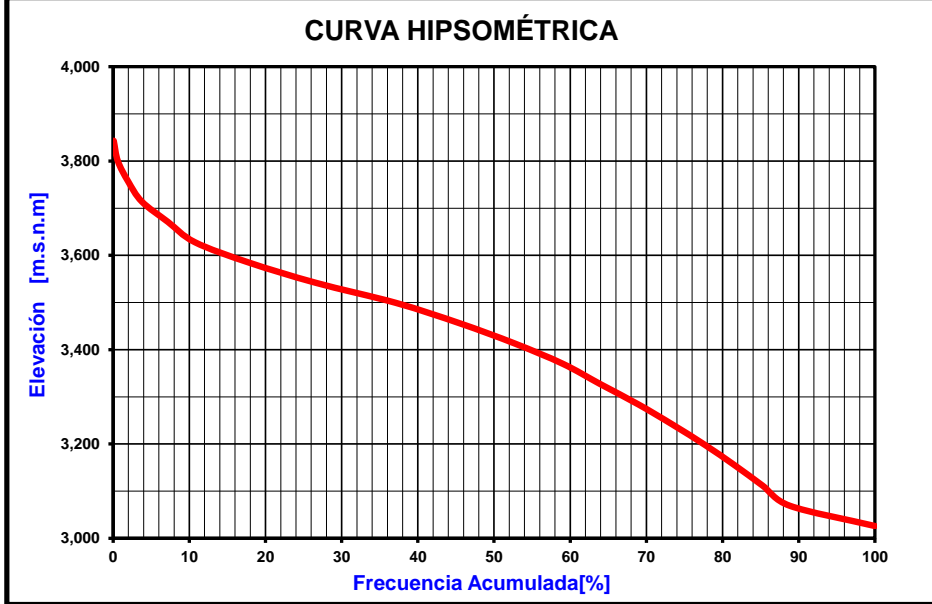
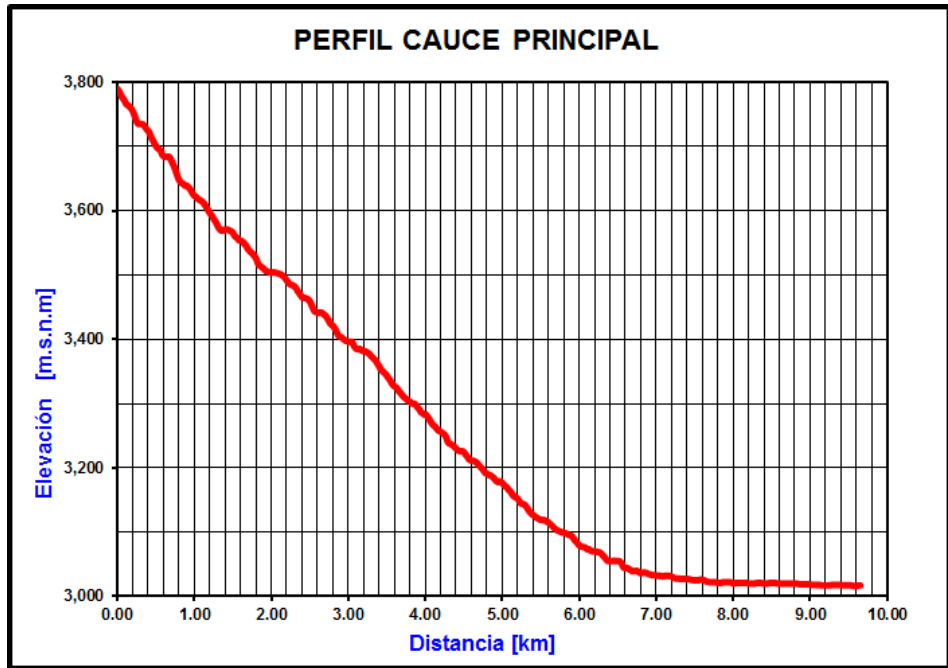


Figura 4.3. Perfil del cauce principal del río Tobal



**Cuadro 8. Parámetros morfométricos del río Tobal**

| <b>PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS</b>  |   |                       |                           |
|--|---|-----------------------|---------------------------|
| <b>ÁREA</b>  | <b>m<sup>2</sup></b>                                    | <b>km<sup>2</sup></b> | <b>millas<sup>2</sup></b> |
| Es la superficie, en proyección horizontal, delimitada por la divisoria topográfica de aguas.  | 32,646,849.0  | 32.6                  | 12.6                      |
| <b>PERÍMETRO</b>   | <b>m</b>  | <b>km</b>             | <b>millas</b>             |
| Corresponde a la longitud del límite exterior de la cuenca, definido por la divisoria topográfica de aguas.  | 29,105.1  | 29.1                  | 18.1                      |
| <b>COTA NACIMIENTO</b>   | <b>msnm</b>   |                       |                           |
| Es la cota del punto más elevado de la corriente principal   | 3,790   |                       |                           |
| <b>COTA EN EL SITIO DE ESTUDIO</b>   | <b>msnm</b>   |                       |                           |
| Es la cota del punto más bajo de la cuenca, usualmente, el punto de salida de la microcuenca.  | 3,017   |                       |                           |
| <b>LONGITUD RECTA DE LA CUENCA</b>   | <b>m</b>  | <b>km</b>             | <b>millas</b>             |
| Es la longitud de una línea recta con dirección "paralela" al cauce principal.   | 6,940   | 6.9                   | 4.3                       |
| <b>ANCHO DE LA CUENCA</b>  | <b>m</b>  | <b>km</b>             | <b>millas</b>             |
| Es la longitud en el sentido ortogonal al eje del cauce principal.   | 4,704   | 4.7                   | 2.9                       |
| <b>PENDIENTE MEDIA DEL CAUCE</b>   | <b>m / m</b>  | <b>%</b>              |                           |
| Se calcula como la cota superior menos la cota inferior dividida la longitud del cauce.  | 0.090   | 9.0                   |                           |
| <b>LONGITUD DEL CAUCE PRINCIPAL</b>  | <b>m</b>  | <b>km</b>             | <b>millas</b>             |
| Es la distancia entre el punto más alejado de la cuenca y un punto de interés específico o su desembocadura, siguiendo la dirección de drenaje. El recorrido principal, es la máxima distancia recorrida por el flujo de agua dentro de la cuenca.   | 8,574   | 8.6                   | 5.3                       |
| <b>LONGITUD TOTAL DE DRENAJE</b>   | <b>m</b>  | <b>km</b>             | <b>millas</b>             |
| Se calcula como la sumatoria de la longitud de todos los cauces.   | 74,208  | 74.2                  | 46.1                      |
| <b>RELACIÓN DE RELIEVE</b>   | <b>ECUACIÓN</b>   |                       | <b>-</b>                  |
| Schumm (1956) propone una expresión muy simple para la descripción del relieve, (Relif Ratio) la Relación de Relieve (R <sub>r</sub> ) en función de la longitud de la cuenca L y de la diferencia de altura entre la salida de la cuenca y el punto más alto en la divisoria de la cuenca (h) | $R_r = \frac{h}{L}$                                     |                       | 0.09                      |
| <b>PENDIENTE MEDIA DE LA CUENCA</b>  | <b>ECUACIÓN</b>   |                       | <b>%</b>                  |
| Para obtener la pendiente media de la cuenca se pondera la pendiente hallada para cada franja en función de su área.<br>Donde:<br>S <sub>m</sub> = Pendiente media de la cuenca<br>D = Diferencia entre curvas de nivel<br>L = Longitud total de las curvas de nivel<br>A = Área de la cuenca  | $S_m = \frac{L * D}{A_{cuenca}}$                        |                       | 21.00                     |
| <b>ELEVACIÓN MEDIA DE LA CUENCA</b>  | <b>ECUACIÓN</b>   |                       | <b>m.s.n.m.</b>           |
| La altura media se calcula como la altura mas frecuente en función del área entre curvas de nivel.   | $H_{media} = \frac{\sum Area * Alt.media_i}{\sum Area}$ |                       | 3,370.30                  |

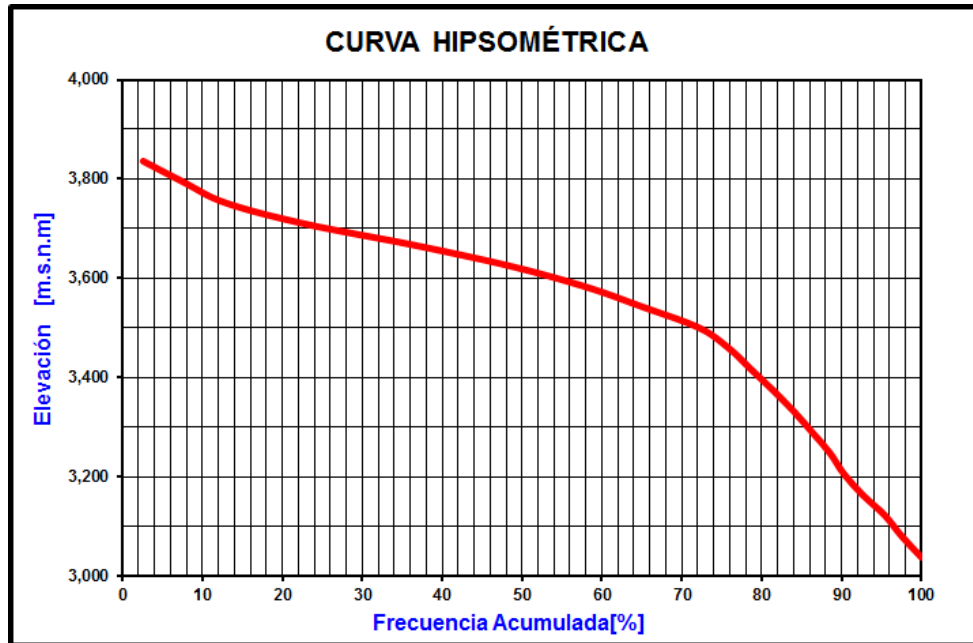
**Cuadro 9.** Coeficientes morfométricos del río Tobal

| <b>COEFICIENTES MORFOMÉTRICOS</b>  |   |           |
|--|---|-----------|
| <b>COEFICIENTE DE FORMA</b>  | <b>ECUACIÓN</b>   | <b>Kf</b> |
| Índice propuesto por Gravelius, es la relación entre el área (A) de la cuenca y el cuadrado del máximo recorrido (L). Este parámetro mide la tendencia de la cuenca hacia las crecidas, rápidas y muy intensas a lentas y sostenidas, según que su factor de forma tienda hacia valores extremos grandes o pequeños. | $K_f = \frac{A}{L^2}$   | 0,68      |
| <b>INDICE DE ALARGAMIENTO</b>  | <b>ECUACIÓN</b>   | <b>Ia</b> |
| Relaciona la longitud del cauce encontrada en la cuenca, medida en el sentido principal y el ancho máximo de ella. Esta define si la cuenca es alargada cuando su valor es mucho mayor a la unidad o si es muy achatada en ese sentido cuando son valores menores a la unidad.                                       | $I_a = \frac{\text{Longitud}_{\text{cuenca}}}{\text{Ancho}_{\text{cuenca}}}$                      | 1,48      |
| <b>INDICE DE GRAVELIUS</b>   | <b>ECUACIÓN</b>   | <b>i</b>  |
| Está dado por la relación entre el área de un círculo equivalente cuyo perímetro es el perímetro de la cuenca y el área de la cuenca   | $K_c = \frac{P^2}{4 * \Pi * A_{\text{cuenca}}}$   | 2,06      |
| <b>LONGITUD PROMEDIO DE FLUJO SUPERFICIAL</b>  | <b>ECUACIÓN</b>   | <b>Lo</b> |
| Se define como la distancia media que el agua debería escurrir sobre la cuenca para llegar a un cauce y se estima por la relación que existe entre el área y 4 veces la longitud de todos los cauces de la cuenca, o bien, la inversa de 4 veces la densidad de drenaje.   | $L_o = \frac{A_{\text{cuenca}}}{4 * \sum L_i} = \frac{1}{4D}$                                     | 0,57      |
| <b>COEFICIENTE DE COMPACIDAD</b>   | <b>ECUACIÓN</b>   | <b>Kc</b> |
| Parámetro adimensional que relaciona el perímetro de la cuenca y el perímetro de un círculo de igual área que el de la cuenca. Este parámetro, al igual que el anterior, describe la geometría de la cuenca y está estrechamente relacionado con el tiempo de concentración del sistema hidrológico.                 | $K_c = \frac{P_{\text{cuenca}}}{2\pi \left( \frac{A_{\text{cuenca}}}{\pi} \right)^{\frac{1}{2}}}$ | 1,44      |
| <b>RELACION DE ELONGACION</b>  | <b>ECUACIÓN</b>   | <b>Kc</b> |
| Se define como el cociente entre el diámetro de un círculo que tiene igual proporción al área de la cuenca y la longitud de la misma.  | $R_e = 1.128 * \frac{\sqrt{A}}{L}$  | 0,93      |
| <b>RELACION DE HORTON</b>  | <b>ECUACIÓN</b>   | <b>Rf</b> |
| Corresponde a la relación entre el área de la cuenca y la longitud de la misma.  | $R_f = \frac{A_{\text{cuenca}}}{L_{\text{caucep}}^2}$   | 0,44      |
| <b>DENSIDAD DE DRENAJE</b>   | <b>ECUACIÓN</b>   | <b>D</b>  |
| Se define como la relación entre la longitud total de los cursos de agua de la cuenca y su área total  | $D = \frac{\sum L_i}{A_{\text{cuenca}}}$  | 2,27      |
| <b>SINUOSIDAD DEL CAUCE PRINCIPAL</b>  | <b>ECUACIÓN</b>   | <b>Si</b> |
| Es la relación que existe entre la longitud del cauce principal, Lc, y la longitud del valle del cauce principal medida en línea recta o curva, Lt.  | $S_i = \frac{L_{\text{drenajep}}}{L}$   | 1,24      |

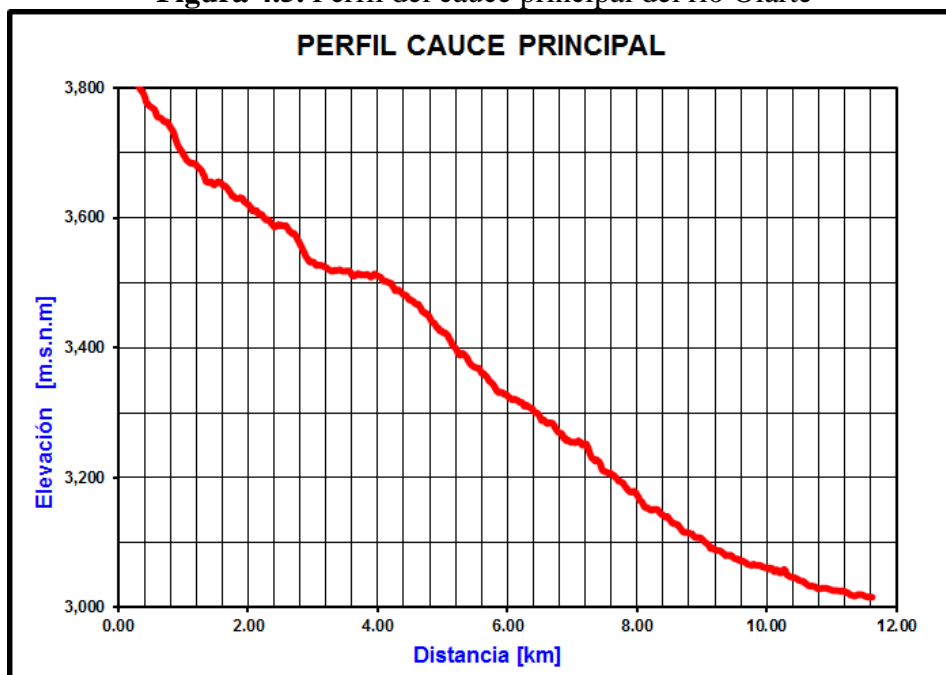
### 4.3.2 ZONA C

Esta zona es la única que contiene una cabecera municipal que es Aquitania ubicada en la cuenca del Lago de Tota, la corriente que tiene mayor extensión del río Olarte, con un área de 25,2 km<sup>2</sup>, el cual tiene una pendiente media del cauce de 7,20% y una elevación media de la microcuenca es de 3.539,98 m.

**Figura 4.4.** Curva Hipsométrica del río Olarte



**Figura 4.5.** Perfil del cauce principal del río Olarte



**Cuadro 10. Parámetros morfométricos del río Olarte**

| <b>PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS</b>   |   |                       |                           |
|---|---|-----------------------|---------------------------|
| <b>ÁREA</b>   | <b>m<sup>2</sup></b>                                    | <b>km<sup>2</sup></b> | <b>millas<sup>2</sup></b> |
| Es la superficie, en proyección horizontal, delimitada por la divisoria topográfica de aguas.   | 25.244.200,0  | 25,2                  | 9,7                       |
| <b>PERÍMETRO</b>  | <b>m</b>  | <b>km</b>             | <b>millas</b>             |
| Corresponde a la longitud del límite exterior de la cuenca, definido por la divisoria topográfica de aguas.   | 25.757,3  | 25,8                  | 16,0                      |
| <b>COTA NACIMIENTO</b>  | <b>msnm</b>   |                       |                           |
| Es la cota del punto más elevado de la corriente principal  | 3.848   |                       |                           |
| <b>COTA EN EL SITIO DE ESTUDIO</b>  | <b>msnm</b>   |                       |                           |
| Es la cota del punto más bajo de la cuenca, usualmente, el punto de salida de la microcuenca.   | 3.016   |                       |                           |
| <b>LONGITUD RECTA DE LA CUENCA</b>  | <b>m</b>  | <b>km</b>             | <b>millas</b>             |
| Es la longitud de una línea recta con dirección "paralela" al cauce principal.  | 9.270   | 9,3                   | 5,8                       |
| <b>ANCHO DE LA CUENCA</b>   | <b>m</b>  | <b>km</b>             | <b>millas</b>             |
| Es la longitud en el sentido ortogonal al eje del cauce principal.  | 2.723   | 2,7                   | 1,7                       |
| <b>PENDIENTE MEDIA DEL CAUCE</b>  | <b>m / m</b>  | <b>%</b>              |                           |
| Se calcula como la cota superior menos la cota inferior dividida la longitud del cauce.   | 0,072   | 7,2                   |                           |
| <b>LONGITUD DEL CAUCE PRINCIPAL</b>   | <b>m</b>  | <b>km</b>             | <b>millas</b>             |
| Es la distancia entre el punto más alejado de la cuenca y un punto de interés específico o su desembocadura, siguiendo la dirección de drenaje. El recorrido principal, es la máxima distancia recorrida por el flujo de agua dentro de la cuenca.                                | 11.624  | 11,6                  | 7,2                       |
| <b>LONGITUD TOTAL DE DRENAJE</b>  | <b>m</b>  | <b>km</b>             | <b>millas</b>             |
| Se calcula como la sumatoria de la longitud de todos los cauces.  | 43.698  | 43,7                  | 27,2                      |
| <b>RELACIÓN DE RELIEVE</b>  | <b>ECUACIÓN</b>   |                       | <b>-</b>                  |
| Schumm (1956) propone una expresión muy simple para la descripción del relieve, (Relif Ratio) la Relación de Relieve (Rr) en función de la longitud de la cuenca L y de la diferencia de altura entre la salida de la cuenca y el punto más alto en la divisoria de la cuenca (h) | $R_r = \frac{h}{L}$                                     |                       | 0,07                      |
| <b>PENDIENTE MEDIA DE LA CUENCA</b>   | <b>ECUACIÓN</b>   |                       | <b>%</b>                  |
| Para obtener la pendiente media de la cuenca se pondera la pendiente hallada para cada franja en función de su área.<br>Donde:<br>Sm = Pendiente media de la cuenca<br>D = Diferencia entre curvas de nivel<br>L = Longitud total de las curvas de nivel<br>A = Área de la cuenca | $S_m = \frac{L * D}{A_{cuenca}}$                        |                       | 17,25                     |
| <b>ELEVACIÓN MEDIA DE LA CUENCA</b>   | <b>ECUACIÓN</b>   |                       | <b>m.s.n.m.</b>           |
| La altura media se calcula como la altura mas frecuente en función del área entre curvas de nivel.  | $H_{media} = \frac{\sum Area * Alt.media_i}{\sum Area}$ |                       | 3.539,98                  |



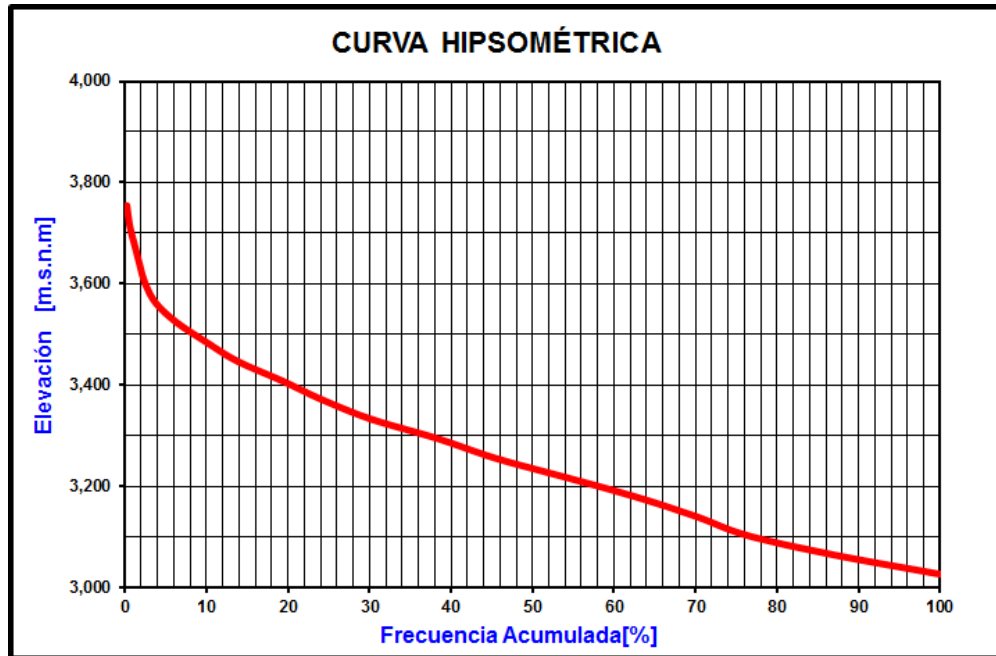
**Cuadro 11. Parámetros morfométricos del río Olarte**

| <b>COEFICIENTES MORFOMÉTRICOS</b>  |   |           |
|--|---|-----------|
| <b>COEFICIENTE DE FORMA</b>  | <b>ECUACIÓN</b>   | <b>Kf</b> |
| Índice propuesto por Gravelius, es la relación entre el área (A) de la cuenca y el cuadrado del máximo recorrido (L). Este parámetro mide la tendencia de la cuenca hacia las crecidas, rápidas y muy intensas a lentas y sostenidas, según que su factor de forma tienda hacia valores extremos grandes o pequeños. | $K_f = \frac{A}{L^2}$   | 0,29      |
| <b>INDICE DE ALARGAMIENTO</b>  | <b>ECUACIÓN</b>   | <b>Ia</b> |
| Relaciona la longitud del cauce encontrada en la cuenca, medida en el sentido principal y el ancho máximo de ella. Esta define si la cuenca es alargada cuando su valor es mucho mayor a la unidad o si es muy achatada en ese sentido cuando son valores menores a la unidad.                                       | $I_a = \frac{\text{Longitud}_{\text{cuenca}}}{\text{Ancho}_{\text{cuenca}}}$                      | 3,40      |
| <b>INDICE DE GRAVELIUS</b>   | <b>ECUACIÓN</b>   | <b>i</b>  |
| Está dado por la relación entre el área de un círculo equivalente cuyo perímetro es el perímetro de la cuenca y el área de la cuenca   | $K_c = \frac{P^2}{4 * \Pi * A_{\text{cuenca}}}$   | 2,09      |
| <b>LONGITUD PROMEDIO DE FLUJO SUPERFICIAL</b>  | <b>ECUACIÓN</b>   | <b>Lo</b> |
| Se define como la distancia media que el agua debería escurrir sobre la cuenca para llegar a un cauce y se estima por la relación que existe entre el área y 4 veces la longitud de todos los cauces de la cuenca, o bien, la inversa de 4 veces la densidad de drenaje.   | $L_o = \frac{A_{\text{cuenca}}}{4 * \sum L_i} = \frac{1}{4D}$                                     | 0,43      |
| <b>COEFICIENTE DE COMPACIDAD</b>   | <b>ECUACIÓN</b>   | <b>Kc</b> |
| Parámetro adimensional que relaciona el perímetro de la cuenca y el perímetro de un círculo de igual área que el de la cuenca. Este parámetro, al igual que el anterior, describe la geometría de la cuenca y está estrechamente relacionado con el tiempo de concentración del sistema hidrológico.                 | $K_c = \frac{P_{\text{cuenca}}}{2\pi \left( \frac{A_{\text{cuenca}}}{\pi} \right)^{\frac{1}{2}}}$ | 1,45      |
| <b>RELACION DE ELONGACION</b>  | <b>ECUACIÓN</b>   | <b>Kc</b> |
| Se define como el cociente entre el diámetro de un círculo que tiene igual proporción al área de la cuenca y la longitud de la misma.  | $R_e = 1.128 * \frac{\sqrt{A}}{L}$  | 0,61      |
| <b>RELACION DE HORTON</b>  | <b>ECUACIÓN</b>   | <b>Rf</b> |
| Corresponde a la relación entre el área de la cuenca y la longitud de la misma.  | $R_f = \frac{A_{\text{cuenca}}}{L_{\text{caucep}}^2}$   | 0,19      |
| <b>DENSIDAD DE DRENAJE</b>   | <b>ECUACIÓN</b>   | <b>D</b>  |
| Se define como la relación entre la longitud total de los cursos de agua de la cuenca y su área total  | $D = \frac{\sum L_i}{A_{\text{cuenca}}}$  | 1,73      |
| <b>SINUSIDAD DEL CAUCE PRINCIPAL</b>   | <b>ECUACIÓN</b>   | <b>Si</b> |
| Es la relación que existe entre la longitud del cauce principal, Lc, y la longitud del valle del cauce principal medida en línea recta o curva, Lt.  | $S_i = \frac{L_{\text{drenajep}}}{L}$   | 1,25      |

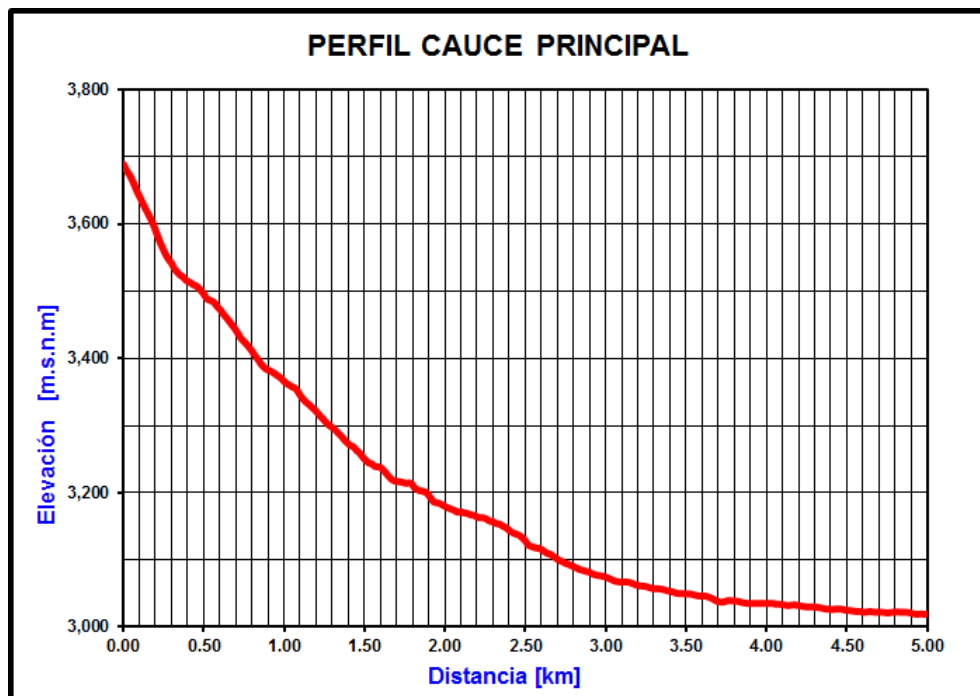
### 4.3.3 ZONA D

Esta zona es la única que contiene una cabecera municipal que es Aquitania ubicada en la cuenca del Lago de Tota, la corriente que tiene mayor extensión de la quebrada Guayachal, con un área de 8,1 km<sup>2</sup>, el cual tiene una pendiente media del cauce de 5,10% y una elevación media de la microcuenca es de 3.235,60 m.

**Figura 4.6.** Curva Hipsométrica de la quebrada Guayachal



**Figura 4.7.** Perfil del cauce principal de la quebrada Guayachal



**Cuadro 12.** Parámetros morfométricos de la quebrada Guayachal

| <b>PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS</b>  |   |                       |                           |
|--|---|-----------------------|---------------------------|
| <b>ÁREA</b>  | <b>m<sup>2</sup></b>                                    | <b>km<sup>2</sup></b> | <b>millas<sup>2</sup></b> |
| Es la superficie, en proyección horizontal, delimitada por la divisoria topográfica de aguas.  | 8.106.300,0   | 8,1                   | 3,1                       |
| <b>PERÍMETRO</b>   | <b>m</b>  | <b>km</b>             | <b>millas</b>             |
| Corresponde a la longitud del límite exterior de la cuenca, definido por la divisoria topográfica de aguas.  | 19.080,0  | 19,1                  | 11,9                      |
| <b>COTA NACIMIENTO</b>   | <b>msnm</b>   |                       |                           |
| Es la cota del punto más elevado de la corriente principal   | 3.690   |                       |                           |
| <b>COTA EN EL SITIO DE ESTUDIO</b>   | <b>msnm</b>   |                       |                           |
| Es la cota del punto más bajo de la cuenca, usualmente, el punto de salida de la microcuenca.  | 3.016   |                       |                           |
| <b>LONGITUD RECTA DE LA CUENCA</b>   | <b>m</b>  | <b>km</b>             | <b>millas</b>             |
| Es la longitud de una línea recta con dirección "paralela" al cauce principal.   | 4.375   | 4,4                   | 2,7                       |
| <b>ANCHO DE LA CUENCA</b>  | <b>m</b>  | <b>km</b>             | <b>millas</b>             |
| Es la longitud en el sentido ortogonal al eje del cauce principal.   | 1.853   | 1,9                   | 1,2                       |
| <b>PENDIENTE MEDIA DEL CAUCE</b>   | <b>m / m</b>  | <b>%</b>              |                           |
| Se calcula como la cota superior menos la cota inferior dividida la longitud del cauce.  | 0,133   | 13,3                  |                           |
| <b>LONGITUD DEL CAUCE PRINCIPAL</b>  | <b>m</b>  | <b>km</b>             | <b>millas</b>             |
| Es la distancia entre el punto más alejado de la cuenca y un punto de interés específico o su desembocadura, siguiendo la dirección de drenaje. El recorrido principal, es la máxima distancia recorrida por el flujo de agua dentro de la cuenca.   | 5.082   | 5,1                   | 3,2                       |
| <b>LONGITUD TOTAL DE DRENAJE</b>   | <b>m</b>  | <b>km</b>             | <b>millas</b>             |
| Se calcula como la sumatoria de la longitud de todos los cauces.   | 24.222  | 24,2                  | 15,1                      |
| <b>RELACIÓN DE RELIEVE</b>   | <b>ECUACIÓN</b>   |                       | <b>-</b>                  |
| Schumm (1956) propone una expresión muy simple para la descripción del relieve, (Relif Ratio) la Relación de Relieve (R <sub>r</sub> ) en función de la longitud de la cuenca L y de la diferencia de altura entre la salida de la cuenca y el punto más alto en la divisoria de la cuenca (h) | $R_r = \frac{h}{L}$                                     |                       | 0,13                      |
| <b>PENDIENTE MEDIA DE LA CUENCA</b>  | <b>ECUACIÓN</b>   |                       | <b>%</b>                  |
| Para obtener la pendiente media de la cuenca se pondera la pendiente hallada para cada franja en función de su área.<br>Donde:<br>S <sub>m</sub> = Pendiente media de la cuenca<br>D = Diferencia entre curvas de nivel<br>L = Longitud total de las curvas de nivel<br>A = Área de la cuenca  | $S_m = \frac{L * D}{A_{cuenca}}$                        |                       | 28,95                     |
| <b>ELEVACIÓN MEDIA DE LA CUENCA</b>  | <b>ECUACIÓN</b>   |                       | <b>m.s.n.m.</b>           |
| La altura media se calcula como la altura mas frecuente en función del área entre curvas de nivel.   | $H_{media} = \frac{\sum Area * Alt.media_i}{\sum Area}$ |                       | 3.235,61                  |

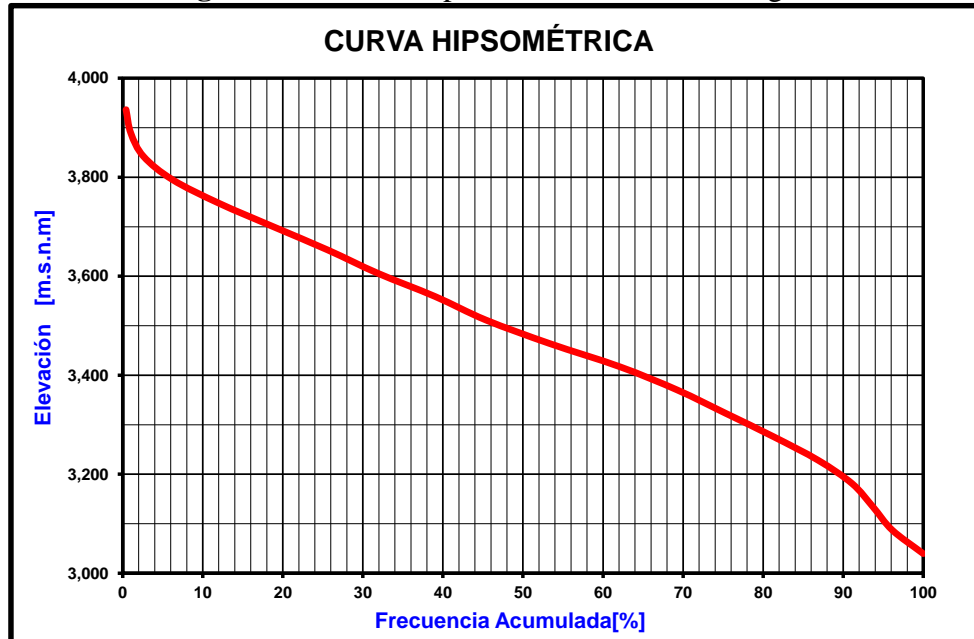
**Cuadro 13.** Coeficientes morfométricos de la quebrada Guayachal

| COEFICIENTES MORFOMÉTRICOS   |   |      |
|--|---|------|
| COEFICIENTE DE FORMA   | ECUACIÓN  | Kf   |
| Índice propuesto por Gravelius, es la relación entre el área (A) de la cuenca y el cuadrado del máximo recorrido (L). Este parámetro mide la tendencia de la cuenca hacia las crecidas, rápidas y muy intensas a lentas y sostenidas, según que su factor de forma tienda hacia valores extremos grandes o pequeños. | $Kf = \frac{A}{L^2}$  | 0,42 |
| INDICE DE ALARGAMIENTO   | ECUACIÓN  | Ia   |
| Relaciona la longitud del cauce encontrada en la cuenca, medida en el sentido principal y el ancho máximo de ella. Esta define si la cuenca es alargada cuando su valor es mucho mayor a la unidad o si es muy achatada en ese sentido cuando son valores menores a la unidad.                                       | $I_a = \frac{\text{Longitud}_{\text{cuenca}}}{\text{Ancho}_{\text{cuenca}}}$                      | 2,36 |
| INDICE DE GRAVELIUS  | ECUACIÓN  | i    |
| Está dado por la relación entre el área de un círculo equivalente cuyo perímetro es el perímetro de la cuenca y el área de la cuenca   | $Kc = \frac{P^2}{4 * \Pi * A_{\text{cuenca}}}$  | 3,57 |
| LONGITUD PROMEDIO DE FLUJO SUPERFICIAL   | ECUACIÓN  | Lo   |
| Se define como la distancia media que el agua debería escurrir sobre la cuenca para llegar a un cauce y se estima por la relación que existe entre el área y 4 veces la longitud de todos los cauces de la cuenca, o bien, la inversa de 4 veces la densidad de drenaje.   | $Lo = \frac{A_{\text{cuenca}}}{4 * \sum L_i} = \frac{1}{4D}$                                      | 0,75 |
| COEFICIENTE DE COMPACIDAD  | ECUACIÓN  | Kc   |
| Parámetro adimensional que relaciona el perímetro de la cuenca y el perímetro de un círculo de igual área que el de la cuenca. Este parámetro, al igual que el anterior, describe la geometría de la cuenca y está estrechamente relacionado con el tiempo de concentración del sistema hidrológico.                 | $K_c = \frac{P_{\text{cuenca}}}{2\pi \left( \frac{A_{\text{cuenca}}}{\pi} \right)^{\frac{1}{2}}}$ | 1,89 |
| RELACION DE ELONGACION   | ECUACIÓN  | Kc   |
| Se define como el cociente entre el diámetro de un círculo que tiene igual proporción al área de la cuenca y la longitud de la misma.  | $R_e = 1.128 * \frac{\sqrt{A}}{L}$  | 0,73 |
| RELACION DE HORTON   | ECUACIÓN  | Rf   |
| Corresponde a la relación entre el área de la cuenca y la longitud de la misma.  | $R_f = \frac{A_{\text{cuenca}}}{L_{\text{caucep}}^2}$   | 0,31 |
| DENSIDAD DE DRENAJE  | ECUACIÓN  | D    |
| Se define como la relación entre la longitud total de los cursos de agua de la cuenca y su área total  | $D = \frac{\sum L_i}{A_{\text{cuenca}}}$  | 2,99 |
| SINUOSIDAD DEL CAUCE PRINCIPAL   | ECUACIÓN  | Si   |
| Es la relación que existe entre la longitud del cauce principal, Lc, y la longitud del valle del cauce principal medida en línea recta o curva, Lt.  | $S_i = \frac{L_{\text{drenajep}}}{L}$   | 1,16 |

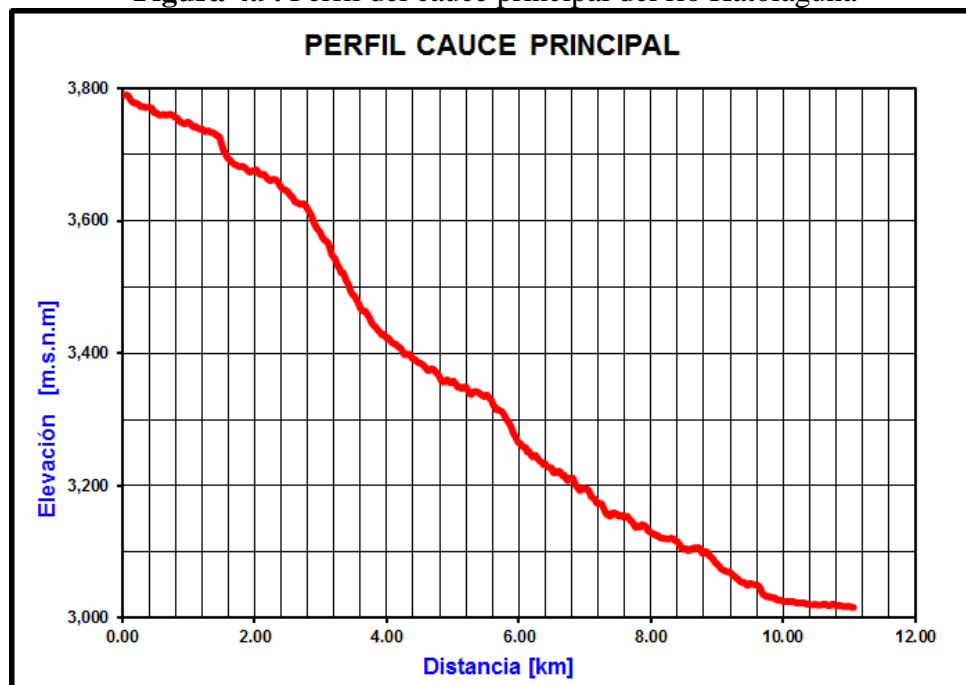
### 4.3.4 ZONA E

Esta zona es la única que contiene una cabecera municipal que es Aquitania ubicada en la cuenca del Lago de Tota, la corriente que tiene mayor extensión es el Río Hatolaguna, con un área de 30,8 km<sup>2</sup>, el cual tiene una pendiente media del cauce de 7,00% y una elevación media de la microcuenca es de 3.461,20 m.

**Figura 4.8.** Curva Hipsométrica del río Hatolaguna



**Figura 4.9.** Perfil del cauce principal del río Hatolaguna



**Cuadro 14. Parámetros morfométricos del río Hatolaguna**

| <b>PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS</b>   |   |                       |                           |
|---|---|-----------------------|---------------------------|
| <b>ÁREA</b>   | <b>m<sup>2</sup></b>  | <b>km<sup>2</sup></b> | <b>millas<sup>2</sup></b> |
| Es la superficie, en proyección horizontal, delimitada por la divisoria topográfica de aguas.   | 30.757.954,3  | 30,8                  | 11,9                      |
| <b>PERÍMETRO</b>  | <b>m</b>  | <b>km</b>             | <b>millas</b>             |
| Corresponde a la longitud del límite exterior de la cuenca, definido por la divisoria topográfica de aguas.   | 30.757,9  | 30,8                  | 19,1                      |
| <b>COTA NACIMIENTO</b>  | <b>msnm</b>   |                       |                           |
| Es la cota del punto más elevado de la corriente principal  | 3.790   |                       |                           |
| <b>COTA EN EL SITIO DE ESTUDIO</b>  | <b>msnm</b>   |                       |                           |
| Es la cota del punto más bajo de la cuenca, usualmente, el punto de salida de la microcuenca.   | 3.016   |                       |                           |
| <b>LONGITUD RECTA DE LA CUENCA</b>  | <b>m</b>  | <b>km</b>             | <b>millas</b>             |
| Es la longitud de una línea recta con dirección "paralela" al cauce principal.  | 10.423  | 10,4                  | 6,5                       |
| <b>ANCHO DE LA CUENCA</b>   | <b>m</b>  | <b>km</b>             | <b>millas</b>             |
| Es la longitud en el sentido ortogonal al eje del cauce principal.  | 2.951   | 3,0                   | 1,8                       |
| <b>PENDIENTE MEDIA DEL CAUCE</b>  | <b>m / m</b>  | <b>%</b>              |                           |
| Se calcula como la cota superior menos la cota inferior dividida la longitud del cauce.   | 0,070   | 7,0                   |                           |
| <b>LONGITUD DEL CAUCE PRINCIPAL</b>   | <b>m</b>  | <b>km</b>             | <b>millas</b>             |
| Es la distancia entre el punto más alejado de la cuenca y un punto de interés específico o su desembocadura, siguiendo la dirección de drenaje. El recorrido principal, es la máxima distancia recorrida por el flujo de agua dentro de la cuenca.                                | 11.067  | 11,1                  | 6,9                       |
| <b>LONGITUD TOTAL DE DRENAJE</b>  | <b>m</b>  | <b>km</b>             | <b>millas</b>             |
| Se calcula como la sumatoria de la longitud de todos los cauces.  | 44.938  | 44,9                  | 27,9                      |
| <b>RELACIÓN DE RELIEVE</b>  | <b>ECUACIÓN</b>   |                       | <b>-</b>                  |
| Schumm (1956) propone una expresión muy simple para la descripción del relieve, (Relif Ratio) la Relación de Relieve (Rr) en función de la longitud de la cuenca L y de la diferencia de altura entre la salida de la cuenca y el punto más alto en la divisoria de la cuenca (h) | $R_r = \frac{h}{L}$   |                       | 0,07                      |
| <b>PENDIENTE MEDIA DE LA CUENCA</b>   | <b>ECUACIÓN</b>   |                       | <b>%</b>                  |
| Para obtener la pendiente media de la cuenca se pondera la pendiente hallada para cada franja en función de su área.<br>Donde:<br>Sm = Pendiente media de la cuenca<br>D = Diferencia entre curvas de nivel<br>L = Longitud total de las curvas de nivel<br>A = Área de la cuenca | $S_m = \frac{L * D}{A_{cuenca}}$                            |                       | 25,67                     |
| <b>ELEVACIÓN MEDIA DE LA CUENCA</b>   | <b>ECUACIÓN</b>   |                       | <b>m.s.n.m.</b>           |
| La altura media se calcula como la altura mas frecuente en función del área entre curvas de nivel.  | $H_{media} = \frac{\Sigma Area * Alt.media_i}{\Sigma Area}$ |                       | 3.461,20                  |

**Cuadro 15.** Coeficientes morfométricos del río Hatolaguna

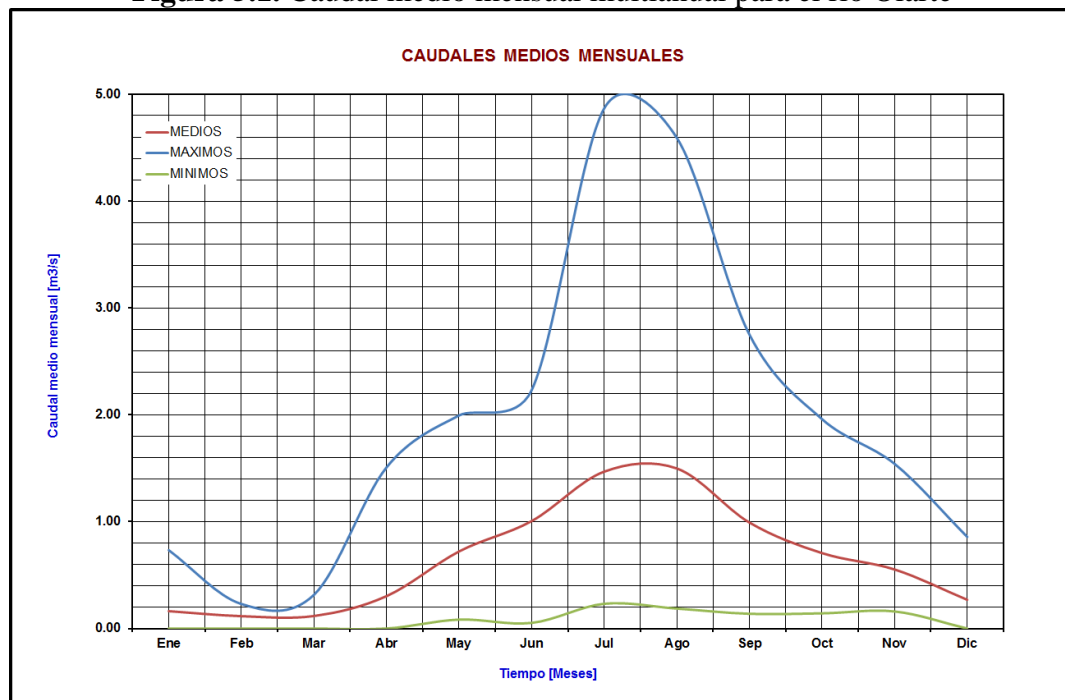
| COEFICIENTES MORFOMÉTRICOS   |   |      |
|--|---|------|
| COEFICIENTE DE FORMA   | ECUACIÓN  | Kf   |
| Índice propuesto por Gravelius, es la relación entre el área (A) de la cuenca y el cuadrado del máximo recorrido (L). Este parámetro mide la tendencia de la cuenca hacia las crecidas, rápidas y muy intensas a lentas y sostenidas, según que su factor de forma tienda hacia valores extremos grandes o pequeños. | $K_f = \frac{A}{L^2}$   | 0,28 |
| INDICE DE ALARGAMIENTO   | ECUACIÓN  | Ia   |
| Relaciona la longitud del cauce encontrada en la cuenca, medida en el sentido principal y el ancho máximo de ella. Esta define si la cuenca es alargada cuando su valor es mucho mayor a la unidad o si es muy achatada en ese sentido cuando son valores menores a la unidad.                                       | $I_a = \frac{\text{Longitud}_{\text{cuenca}}}{\text{Ancho}_{\text{cuenca}}}$                      | 3,53 |
| INDICE DE GRAVELIUS  | ECUACIÓN  | i    |
| Está dado por la relación entre el área de un círculo equivalente cuyo perímetro es el perímetro de la cuenca y el área de la cuenca   | $K_c = \frac{P^2}{4 * \pi * A_{\text{cuenca}}}$   | 2,45 |
| LONGITUD PROMEDIO DE FLUJO SUPERFICIAL   | ECUACIÓN  | Lo   |
| Se define como la distancia media que el agua debería escurrir sobre la cuenca para llegar a un cauce y se estima por la relación que existe entre el área y 4 veces la longitud de todos los cauces de la cuenca, o bien, la inversa de 4 veces la densidad de drenaje.   | $L_o = \frac{A_{\text{cuenca}}}{4 * \sum L_i} = \frac{1}{4D}$                                     | 0,37 |
| COEFICIENTE DE COMPACIDAD  | ECUACIÓN  | Kc   |
| Parámetro adimensional que relaciona el perímetro de la cuenca y el perímetro de un círculo de igual área que el de la cuenca. Este parámetro, al igual que el anterior, describe la geometría de la cuenca y está estrechamente relacionado con el tiempo de concentración del sistema hidrológico.                 | $K_c = \frac{P_{\text{cuenca}}}{2\pi \left( \frac{A_{\text{cuenca}}}{\pi} \right)^{\frac{1}{2}}}$ | 1,56 |
| RELACION DE ELONGACION   | ECUACIÓN  | Ke   |
| Se define como el cociente entre el diámetro de un círculo que tiene igual proporción al área de la cuenca y la longitud de la misma.  | $R_e = 1.128 * \frac{\sqrt{A}}{L}$  | 0,60 |
| RELACION DE HORTON   | ECUACIÓN  | Rf   |
| Corresponde a la relación entre el área de la cuenca y la longitud de la misma.  | $R_f = \frac{A_{\text{cuenca}}}{L_{\text{caucep}}^2}$   | 0,25 |
| DENSIDAD DE DRENAJE  | ECUACIÓN  | D    |
| Se define como la relación entre la longitud total de los cursos de agua de la cuenca y su área total  | $D = \frac{\sum L_i}{A_{\text{cuenca}}}$  | 1,46 |
| SINUSIDAD DEL CAUCE PRINCIPAL  | ECUACIÓN  | Si   |
| Es la relación que existe entre la longitud del cauce principal, Lc, y la longitud del valle del cauce principal medida en línea recta o curva, Lt.  | $S_i = \frac{L_{\text{drenajep}}}{L}$   | 1,06 |

## 5 HIDROLOGIA

### 5.1 RIO OLARTE

En la estación hidrológica Desaguadero, ubicada en el municipio de Aquitania, parte sur del Lago de Tota, cuenta con un área de drenaje de 207,0 km<sup>2</sup>; la distribución de los caudales en esta parte de la cuenca del Lago de Tota para el período 1968-2012, es de tipo monomodal, característica del régimen de la Orinoquia, en donde los meses altos se presentan entre Julio y agosto, destacándose de manera especial valores altos en el mes de julio. El caudal medio mensual multianual estimado para el río Olarte es 0,66 m<sup>3</sup>/s y caudal máximo instantáneo es 4,87 m<sup>3</sup>/s.

**Figura 5.1.** Caudal medio mensual multianual para el río Olarte

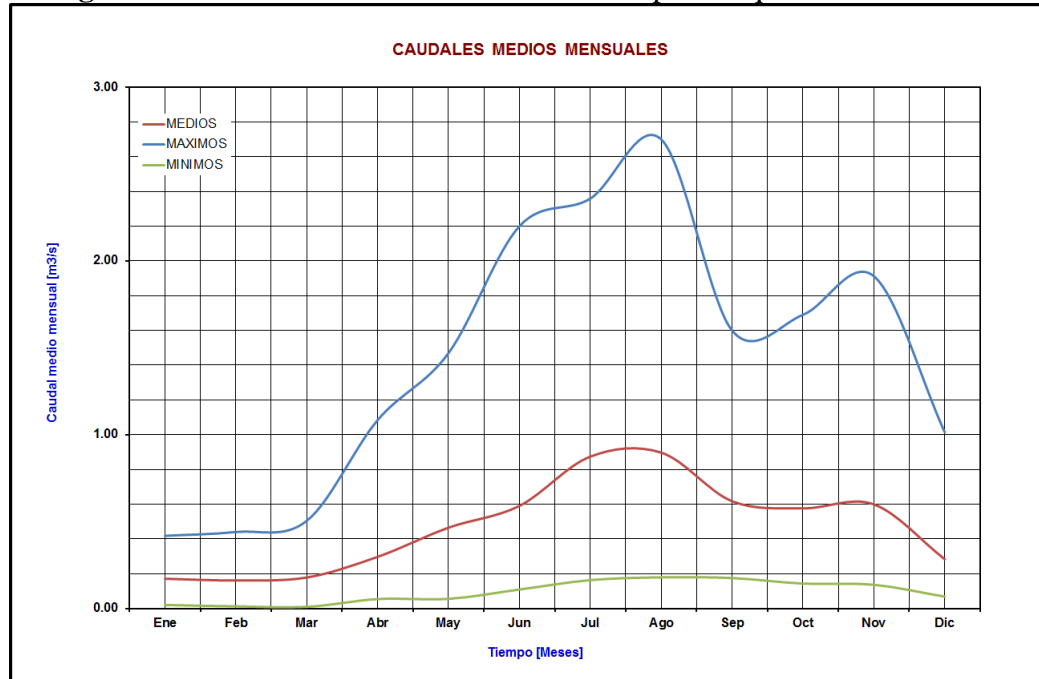


### 5.2 QUEBRADA LAS CINTAS

En la estación hidrológica Hato Laguna, ubicada en el municipio de Aquitania, parte norte del Lago de Tota, cuenta con un área de drenaje de 34,0 km<sup>2</sup>; la distribución de los caudales en esta parte de la cuenca del Lago de Tota para el período 1971-2012 es mas de tipo bimodal, característica del régimen de la región Andina, en donde los meses altos se presentan entre Agosto y Noviembre. El caudal medio mensual multianual estimado para la quebrada 0,48 m<sup>3</sup>/s y caudal máximo instantáneo es 2,70 m<sup>3</sup>/s.



**Figura 5.2.** Caudal medio mensual multianual para la quebrada Las Cintas



### 5.3 QUEBRADA LOS POZOS

En la estación hidrológica Criadero, ubicada en el municipio de Aquitania, parte norte del Lago de Tota, cuenta con un área de drenaje de 6,0 km<sup>2</sup>; la distribución de los caudales en esta parte de la cuenca del Lago para el período 1971-2012, es de tipo bimodal, en donde los meses altos se presentan entre junio y octubre. . El caudal medio mensual multianual estimado para la quebrada 0,27 m<sup>3</sup>/s y caudal máximo instantáneo es 1,81 m<sup>3</sup>/s.

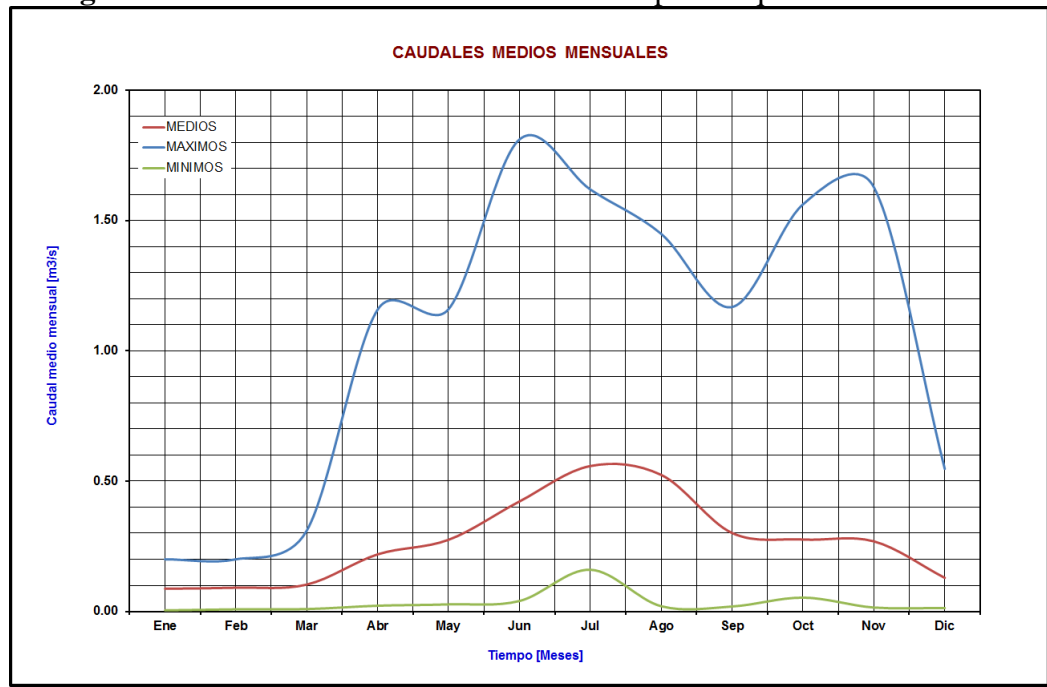
### 5.4 NIVELES DEL LAGO DE TOTA

Desde 1958 hasta el presente se ha llevado a cabo un registro continuo de niveles en el lago (niveles medios, máximos y mínimos). Para efectos de este análisis se evaluaron los niveles medios mensuales obtenidos a partir del trabajo “Balance hidrológico del lago Tota y estudio preliminar del comportamiento hidráulico en lagos” (Cañón y Rodríguez, 2001), el cual muestra una recopilación de 40 años de niveles, esta serie se completó con los datos de mediciones de niveles dados por Corpoboyacá.

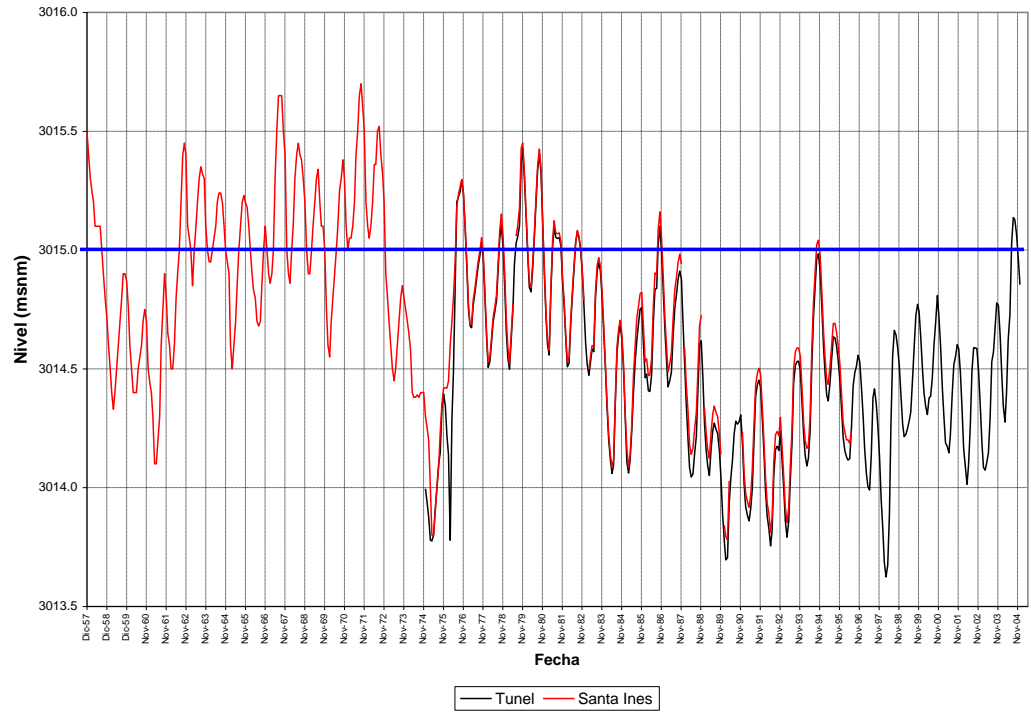
La serie de niveles del lago obtenida fue la siguiente (Figura 5.4):

Se puede observar en la serie de datos la línea de la cota 3015 (línea azul) y los niveles máximos y mínimos históricos de la serie que equivalen a 3015.70 y 3013.69 respectivamente. Por otra parte, es fácil darse cuenta de la tendencia de los niveles del lago a descender a partir de 1987, pero es imposible determinar hasta cuándo va a llegar esa tendencia con la información disponible.

**Figura 5.3.** Caudal medio mensual multianual para la quebrada Los Pozos



**Figura 5.4.** Serie de Niveles del Lago Estaciones Túnel y Santa Inés (Tomado de Reglamentación de las Aguas Derivadas del lago de Tota a través del Túnel de Cuitiva (Pedraza, 2005))



### 5.5 CURVA DE CAPACIDAD DEL LAGO DE TOTA

Para conocer la configuración del vaso del Lago de Tota, se realizó el correspondiente levantamiento de las batimetrías cada 250 m y se obtuvo el relieve y forma que se muestran en la Figura 5.5



**Fotografía 2.** Lago de Tota

**Figura 5.5** Modelo de elevación digital del Lago Tota

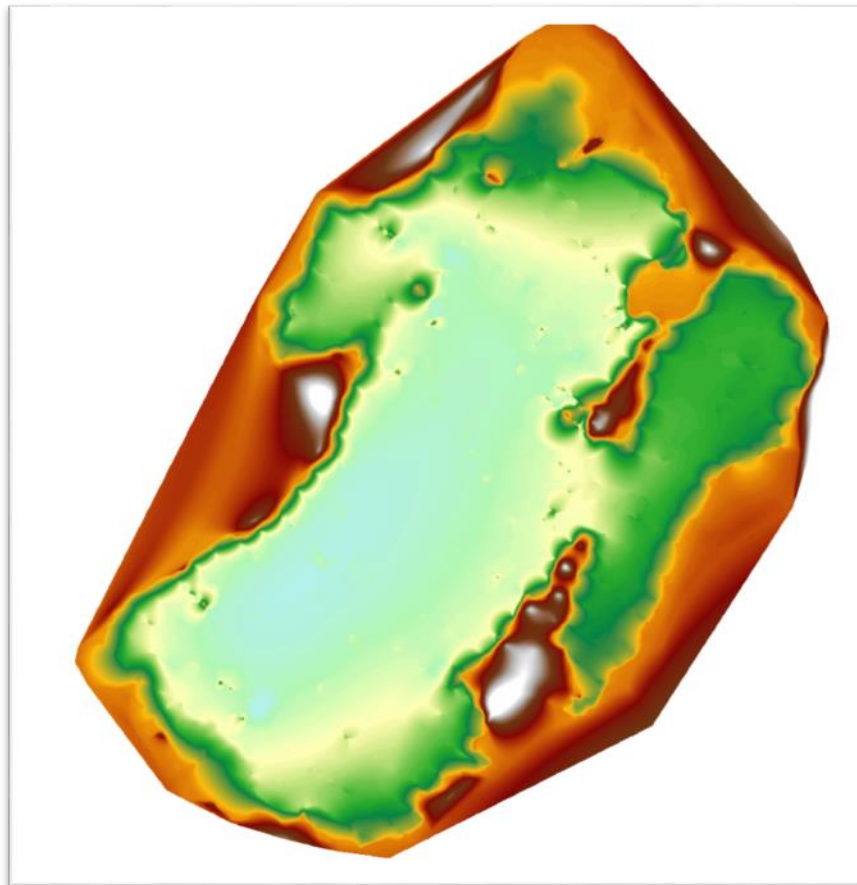
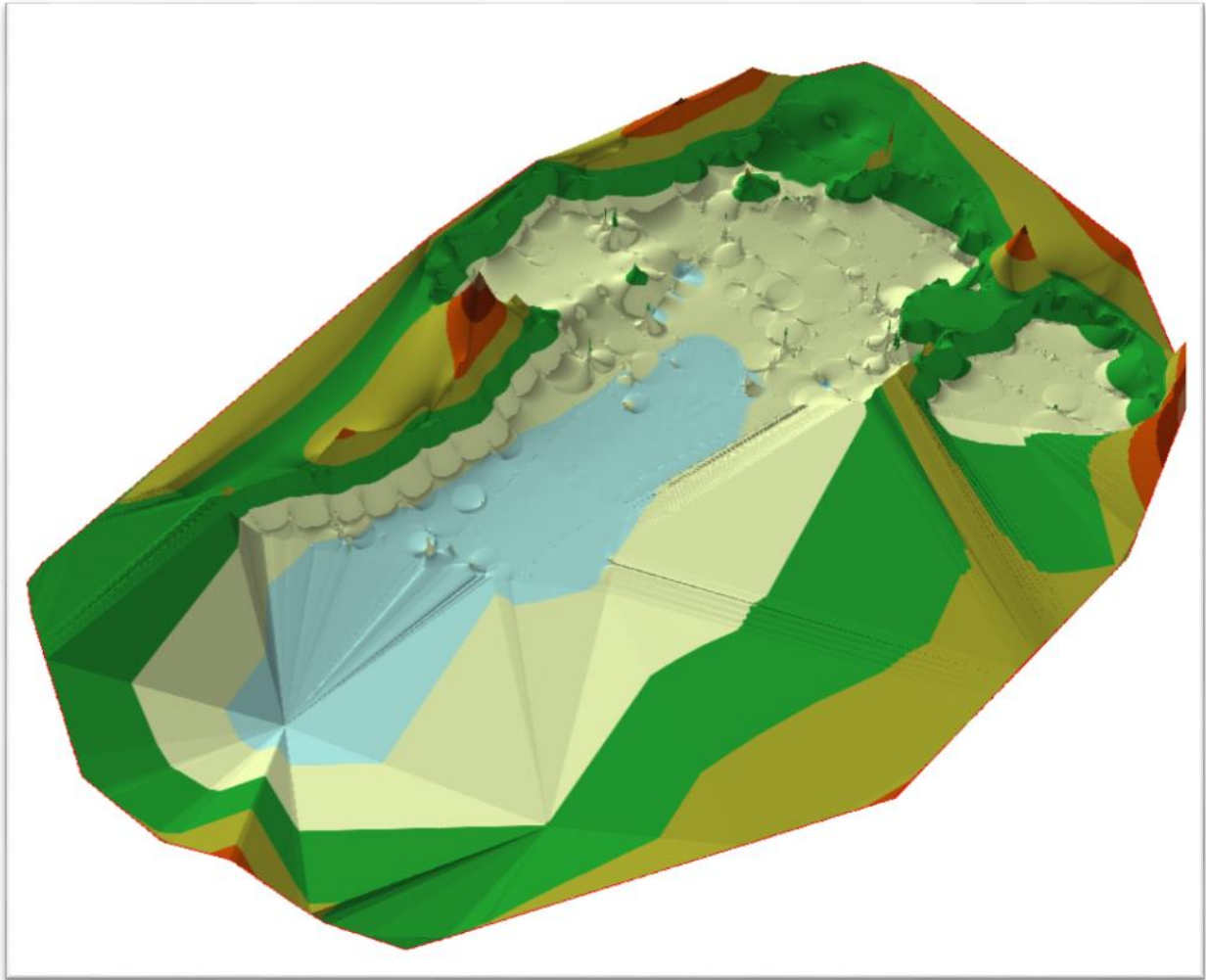


Figura 5.6 Modelo de elevación digital en 3D del Lago Tota





**Fotografía 3.** Lago de Tota



**Fotografía 4.** Lago de Tota



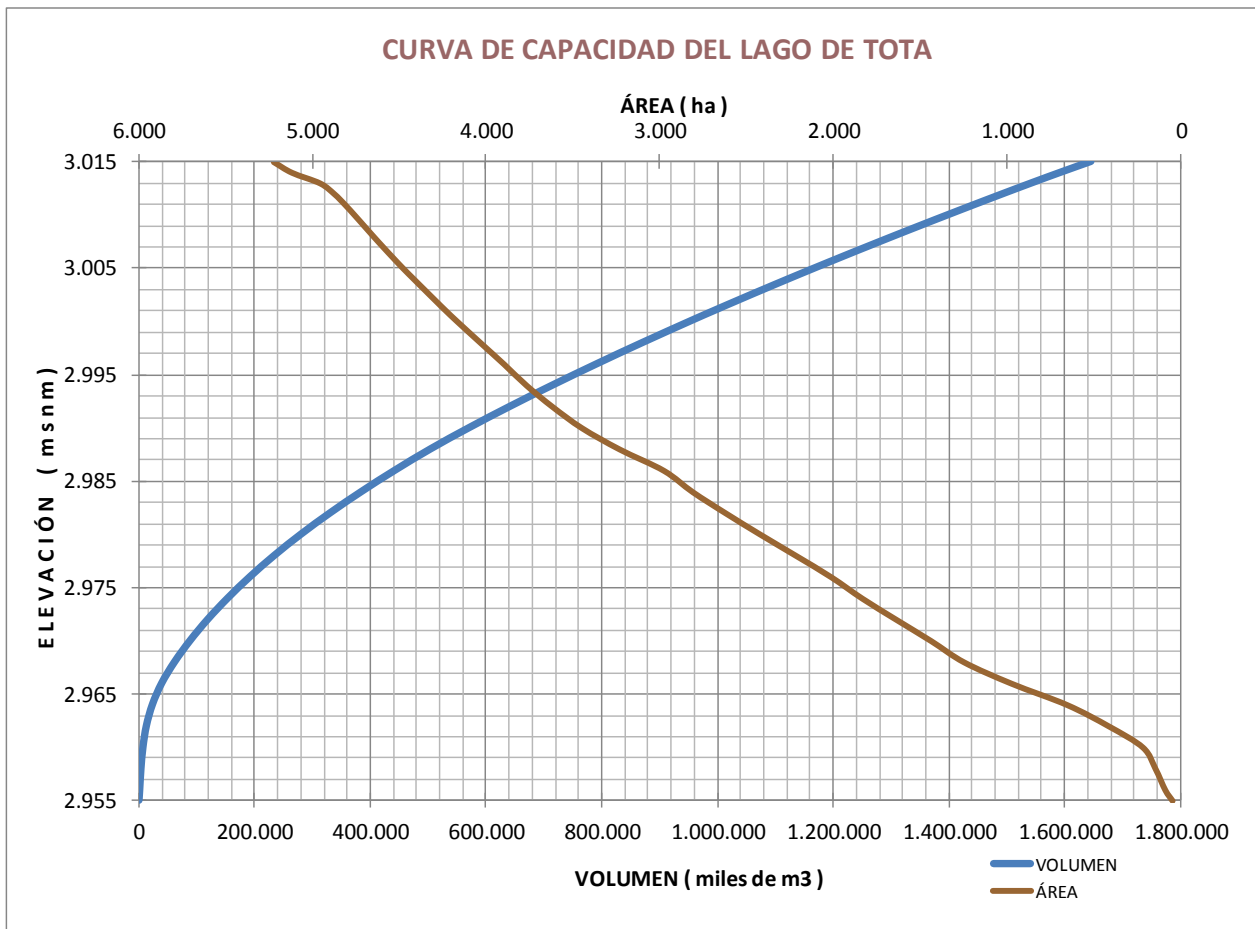
**Fotografía 5.** Lago de Tota



**Fotografía 6.** Equipo ADCP para el levantamiento batimétrico en el Lago de Tota

Utilizando los resultados de los levantamientos batimétricos realizado con el ADCP, se construyó la curva de capacidad del lago que representa, para cada nivel de la superficie del agua, el volumen total embalsado. Ver Figura 5.7.

**Figura 5.7.** Curva de capacidad del Lago de Tota



Las condiciones topográficas y de relieve en el lago, permiten crear un embalse por lo menos hasta la cota 3.015 m.s.n.m. que corresponde a la ubicación de un vertedero del lago al Río Olarte.

Como se ve, la máxima capacidad de almacenamiento del lago es de 1.650 Mm<sup>3</sup> con el Nivel de Aguas Máximas Ordinario en la cota 3.015 m.s.n.m.

## 6 CONCLUSIONES

El presente informe contiene los resultados el análisis hidrológico realizado al Lago de Tota, como el cálculo de los parámetros morfométricos de las cuencas principales que drenan al lago, estimación de los caudales medios mensuales de los ríos Olarte, Las Cintas y quebrada Los Pozos, donde el IDEAM tiene medición de niveles por medio de estaciones limnimétricas.

Los caudales medios multianuales aportantes al lago de Tota de las microcuencas de los ríos Olarte, Las Cintas y Los Pozos, aportantes al lago de Tota se observan en el siguiente cuadro:

**Caudales de microcuencas aportantes al Lago de Tota**

| Cuenca     | Q medio(m <sup>3</sup> /s) |
|------------|----------------------------|
| Las Cintas | 0,48                       |
| Olarte     | 0,66                       |
| Los Pozos  | 0,27                       |

En general, debido a que las microcuencas aportantes son de un tamaño pequeño, los aportes promedios de caudal por cada una de ellas no superan 1 m<sup>3</sup>/seg

Según la curva de capacidad de almacenamiento del lago a la cota máxima del lago de 3015 m.s.n.m, el volumen máximo almacenado esta del orden de 1.650 Mm<sup>3</sup>

Durante de levantamiento de la batimetría, se encontraron profundidades máximas cercanas a los **65.5 metros** de profundidad, localizadas estas muy cercanas al sector de “ Playa Blanca”

De acuerdo con lo anterior se puede decir que el volumen de almacenamiento de agua del Lago de Tota (1.650 Mm<sup>3</sup>) cercano al volumen que almacena el Embalse de Betania (1.900 Mm<sup>3</sup>), localizada en el departamento del Huila.

En cuanto a aéreas cubiertas por el espejo de agua, el embalse de Betania (74.000 Ha ) es superior al área del lago de Tota el cual esta del orden de 52.000 Ha. en su cota máxima (3015 m.s..n.m.)