

# CONTENIDO

<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>15</b>
1.1. OBJETIVOS.....	18
1.1.1. General.....	18
1.1.2. Específicos .....	18
1.2. PREGUNTA DIRECTRIZ .....	19
<b>2. REVISIÓN DE LITERATURA.....</b>	<b>21</b>
2.1. LA HIDROLOGÍA.....	21
2.2. EL CICLO DEL AGUA .....	21
2.2.1. Régimen Hidrológico.....	24
2.3. CUENCA HIDROGRÁFICA.....	25
2.3.1. Componentes de una Cuenca .....	25
2.3.2. Caracteres de los Componentes de una Cuenca.....	25
2.3.2.1. Factores Físicos.....	26
2.3.2.2. Factores Biológicos.....	27
2.3.2.3. Factores Humanos.....	28
2.3.2.4. Factores Ambientales.....	28
2.4. DISTRIBUCIÓN ESTACIONAL DE LAS LLUVIAS .....	29
2.4.1. Relación, Temperatura y Precipitación .....	29
2.4.2. Bosque Húmedo Tropical .....	29
2.4.2.1. Localización y Superficie.....	30
2.4.2.2. Características Climáticas .....	30
2.4.2.3. Uso Actual y Potencial.....	31
2.5. ESTACIONES METEOROLÓGICAS.....	32
2.5.1. Clasificación .....	32
2.5.2. Observaciones Climatológicas:.....	33
2.5.3. Observaciones de la Precipitación: .....	33
2.6. ESPECIFICACIONES SOBRE EL REGISTRO Y PROCESAMIENTO DE DATOS .....	34
2.6.1. Instalación de las Estaciones e Instrumental.....	34
2.6.2. Definiciones relacionadas con la Estación Meteorológica.....	34
2.7. MEDICIÓN DEL AGUA SUPERFICIAL.....	40
2.7.1. Velocidad de Flujo.....	40
2.7.2. Caudal .....	41
2.7.3. Cálculo del Caudal.....	41
2.8. CAUDAL ECOLÓGICO .....	42
2.8.1. Definiciones y Conceptos .....	42
2.8.2. Determinación del Caudal Ecológico.....	43
2.8.3. Los Requisitos.....	44
2.8.4. Caudal Ecológico y criterios para su aplicación en los ríos.....	45
2.8.5. Método Tennant <sup>(Ref.37)</sup> .....	46
2.9. ANTECEDENTES DE LOS DERRAMES EN EL CAMPO SHUSHUQUI.....	51
2.9.1. Estación Shushuqui.....	51
2.9.2. Daños Ambientales .....	53

2.10. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA AFECTADA POR EL DERRAME EN LA LÍNEA DE FLUJO DEL POZO SHUSHUQUI 13.....	53
2.10.1. Objetivos .....	55
2.10.1.1. Objetivo General .....	55
2.10.1.2. Objetivos Específicos.....	55
2.10.1.3. Alcance Técnico.....	55
2.10.1.4. El PRAS y la Caracterización del Área afectada por el Derrame .....	56
<b>3. MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>59</b>
3.1. MATERIALES .....	59
3.2. MÉTODOS .....	60
3.2.1. Caracterización del Área de Estudio .....	60
3.2.1.1. Geología.....	60
3.2.1.2. Geomorfología .....	60
3.2.1.3. Clima.....	61
3.2.1.4. Hidrología .....	61
3.2.1.5. Paisaje .....	61
3.2.1.6. Flora .....	61
3.2.1.7. Fauna.....	62
3.2.1.8. Mastofauna.....	62
3.2.1.9. Peces, Anfibios y Reptiles .....	62
3.2.2. Topografía y Cartografía del Área de Influencia .....	62
3.2.2.1. Topografía.....	62
3.2.2.2. Niveles de Inundación.....	63
3.2.2.3. Cartografía .....	64
3.2.2.4. Procedimiento para la Delimitación.....	65
3.2.3. Metodología para la obtención de Parámetros Meteorológicos.....	68
3.2.3.1. Implantación de la Estación Meteorológica .....	68
3.2.3.2. Funcionamiento de la Estación Meteorológica .....	70
3.2.3.3. Sensores de la Estación Meteorológica.....	71
3.2.3.4. Descarga de datos de la Estación Meteorológica .....	74
3.2.3.5. Análisis de Parámetros obtenidos en la Estación Meteorológica.....	74
3.2.4. Metodología para Aforar o Medición de Caudales .....	77
3.2.4.1. Sección de Aforo.....	77
3.2.4.2. Técnicas de Aforo .....	77
3.2.4.3. Molinete Electrónico.....	78
3.2.4.4. Aforo utilizando Vertederos.....	86
3.2.4.5. Aforo con Flotadores de Superficie .....	91
3.2.4.6. Aforo Químico .....	96
3.2.4.7. Método Volumétrico .....	96
3.2.5. Metodologías para cuantificar el caudal ecológico.....	97
3.2.5.1. Metodología Hidrológica <sup>(Ref.40)</sup> .....	98
3.2.5.2. Método Tennant .....	99
<b>4. RESULTADOS Y DISCUSIONES.....</b>	<b>103</b>

4.1.	CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO .....	104
4.1.1.	Descripción del Medio Físico .....	104
4.1.1.1.	Geología del Área de Estudio .....	104
4.1.1.2.	Geomorfología del Área de estudio .....	106
4.1.1.3.	Paisaje del Área.....	107
4.1.2.	Descripción del Medio Biótico .....	109
4.1.2.1.	Flora .....	109
4.1.2.2.	Fauna.....	113
4.2.	LEVANTAMIENTO CARTOGRÁFICO Y TOPOGRÁFICO DEL ÁREA DE INFLUENCIA 117	
4.2.1.	Parámetros Geométricos y Morfométricos .....	117
4.2.2.	Levantamiento Topográfico.....	119
4.2.3.	Área y Tiempo de Retención del Caudal .....	120
4.2.4.	Trampa de Hidrocarburos .....	121
4.2.5.	Pendiente de la Microcuenca .....	123
4.3.	PROCESAMIENTO E INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS OBTENIDOS DE LA ESTACIÓN METEOROLÓGICA .....	123
4.3.1.	Análisis de la Precipitación y Temperatura Mensual en las estaciones presentes en la región.....	126
4.3.1.1.	Estación Meteorológica Shushuqui.....	126
4.3.1.2.	Estación Nuevo Rocafuerte.....	127
4.3.1.3.	Estación Lago Agrio .....	128
4.3.1.4.	Estación Tena.....	131
4.3.1.5.	Estación Coca.....	132
4.4.	CAUDALES MENSUALES Y CURVAS DE DESCARGA .....	133
4.4.1.	Caudales obtenidos mediante el uso del Vertedero Triangular.....	135
4.4.1.1.	Caudal promedio Método Vertedero Triangular Thompson.....	146
4.4.2.	Caudales obtenidos mediante el uso del Molinete Electrónico.....	146
4.4.3.	Caudales Mensuales obtenidos mediante el Método de Polígonos de Thiesen 152	
4.4.3.1.	Caudal promedio anual Método Polígono de Thiesen .....	154
4.4.3.2.	Caudal promedio anual Método Isoyetas periodo 2010.....	154
4.4.3.3.	Caudal Promedio de la microcuenca del río “San Vicente” .....	155
4.5.	CAUDAL ECOLÓGICO PROMEDIO MENSUAL .....	157
4.5.1.	Caudal de Máximas Crecidas.....	159
<b>5.</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>162</b>
<b>6.</b>	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>165</b>
<b>7.</b>	<b>RESUMEN.....</b>	<b>168</b>
<b>8.</b>	<b>SUMMARY .....</b>	<b>172</b>
<b>9.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>176</b>
<b>10.</b>	<b>ANEXOS.....</b>	<b>180</b>

## LISTA DE TABLAS

Tabla 3.1 Valores Expresión para el cálculo del Caudal, Vertedero Triangular....	89
Tabla 3.2 Cálculo del Caudal Vertedero Triangular Thompson.....	90
Tabla 3.3 Ejemplo Cálculo del Caudal Vertedero Triangular.....	91
Tabla 4.1 Parámetros Físicos y Morfológicos de la Microcuenca.....	116
Tabla 4.2 Área de Influencia en la Construcción de Diques.....	119
Tabla 4.3 Área de Influencia y Tiempo de Retención del Caudal.....	121
Tabla 4.4 Pendiente de la Microcuenca del río San Vicente.....	122
Tabla 4.5 Valores Promedios Estación Meteorológica Shushuqui.....	125
Tabla 4.6 Valores Promedios Estación Nuevo Rocafuerte.....	126
Tabla 4.7 Valores Promedios Estación Lago Agrio.....	128
Tabla 4.8 Valores Promedios Estación Tena.....	129
Tabla 4.9 Valores Promedios Estación Coca .....	130
Tabla 4.10 Caudal Vertedero Triangular Octubre.....	133
Tabla 4.11 Caudal Vertedero Triangular Noviembre.....	134
Tabla 4.12 Caudal Vertedero Triangular Diciembre.....	136
Tabla 4.13 Caudal Vertedero Triangular Enero.....	138
Tabla 4.14 Caudal Vertedero Triangular Febrero.....	139
Tabla 4.15 Caudal Vertedero Triangular Marzo.....	141
Tabla 4.16 Caudal promedio esteros de la microcuenca del Río San Vicente...	143
Tabla 4.17 Georeferenciación Puntos de aforo en la Microcuenca.....	144
Tabla 4.18 Caudal Molinete Electrónico Diciembre.....	144
Tabla 4.19 Caudal Enero Molinete Electrónico Enero.....	145
Tabla 4.20 Caudal Molinete Electrónico Febrero.....	146
Tabla 4.21 Caudal Molinete Electrónico Marzo.....	148
Tabla 4.22 Caudal Polígonos de Thiesen Febrero.....	150
Tabla 4.23 Caudal Polígonos de Thiesen Marzo.....	150
Tabla 4.24 Caudal promedio anual método- polígonos de Thiesen.....	151
Tabla 4.25 Caudal promedio anual método Isoyetas.....	151
Tabla 4.26 Caudal Ecológico Estero 1.....	154
Tabla 4.27 Caudal Ecológico Estero 2.....	155

Tabla 4.28 Caudal Ecológico Río San Vicente.....	155
Tabla 4.29 Caudal Ecológico Estero 3.....	156
Tabla 4.30 Caudales de Máximas Crecidas en un Semestre.....	148

## **LISTA DE CUADROS**

Cuadro 2.1 Derrames en la Estación Shushuqui.....	52
Cuadro 3.1 Materiales y Equipos empleados en la Investigación.....	59
Cuadro 3.2 Personas dueñas de los predios.....	64
Cuadro 3.3 Valores del Coeficiente n de Rugosidad de Manning.....	94
Cuadro 4.1 Ubicación de la Microcuenca del Río “San Vicente”.....	103
Cuadro 4.2 Especies de Flora presentes en la Microcuenca.....	109
Cuadro 4.3 Listado de Aves registradas en la Microcuenca.....	112
Cuadro 4.4 Listado de Mastofauna registradas en la Zona de Estudio.....	114
Cuadro 4.5 Listado de Reptiles, Peces y Anfibios Registrados en el Área.....	115
Cuadro 4.6 Resumen de Caudal periodo 2010.....	153

## **LISTA DE GRÁFICOS**

Gráfico 2.1 El ciclo del agua .....	23
Gráfico 3.1 Datos de la Estación Meteorológica programa Box Car Pro 4.....	74
Gráfico 3.2 Nomograma para resolver la fórmula de Manning. Si se conocen tres variables, es posible encontrar la cuarta.....	95
Gráfico 3.3 Enfoques para determinar el Caudal Ecológico.....	97
Gráfico 4.1 Parámetros Meteorológicos Programa Box Car Pro 4.....	124
Gráfico 4.2 Diagrama Ombrotérmico Estación Shushuqui.....	125
Gráfico 4.3 Diagrama Ombrotérmico Estación Nuevo Rocafuerte.....	127
Gráfico 4.4 Diagrama Ombrotérmico Estación Lago Agrio.....	128
Gráfico 4.5 Diagrama Ombrotérmico Estación Tena.....	129
Gráfico 4.6 Diagrama Ombrotérmico Estación Coca.....	131
Gráfico 4.7 Puntos de aforo en la microcuenca del río “San Vicente”.....	132
Gráfico 4.8 Hidrograma Vertedero Triangular Octubre.....	134

Gráfico 4.9 Hidrograma Vertedero Triangular Noviembre.....	136
Gráfico 4.10 Hidrograma Vertedero Triangular Diciembre.....	137
Gráfico 4.11 Hidrograma Vertedero Triangular Enero.....	139
Gráfico 4.12 Hidrograma Vertedero Triangular Febrero.....	141
Gráfico 4.13 Hidrograma Vertedero Triangular Marzo.....	142
Gráfico 4.14 Hidrograma Molinete Electrónico Diciembre.....	145
Gráfico 4.15 Hidrograma Molinete Electrónico Enero.....	146
Gráfico 4.16 Hidrograma Molinete Electrónico Febrero.....	147
Gráfico 4.17 Hidrograma Molinete Electrónico Marzo.....	149
Gráfico 4.18 Caudal Método Polígonos de Thiesen.....	149
Gráfico 4.19 Hidrograma de máximas crecidas.....	156

## **LISTA DE ANEXOS**

### **ANEXO 1. MAPAS**

1.- Mapa de Ubicación de la microcuenca del río “San Vicente”.....	177
2.- Mapa Base de la microcuenca del río “San Vicente” .....	178
3.- Mapa de Orden de las Corrientes.....	179
4.- Mapa de Puntos de Contaminación por Pasivos Ambientales en la microcuenca del río “San Vicente” .....	180
5.- Mapa de Pendientes de la microcuenca del río “San Vicente”.....	181
6.- Mapa de área de influencia en la Construcción de Diques.....	182

### **ANEXO 2. HOJAS DE REGISTRO DEL CAUDAL**

1.- Hoja de registro del caudal método vertedero Triangular Thompson.....	183
2.- Hoja registro del caudal método del Molinete Electrónico Rickly Hidrological Co.....	184
3.- Hoja resultado del caudal, por medio de altura de agua en el vertedero Triangular de 90°, Thompson.....	185

### **ANEXO 3. FOTOGRAFÍA AÉREA**

- Fotografía aérea del área de investigación escaneada.....186

### **ANEXO 4. GRÁFICO**

- Gráfico del empleo de la Herramienta de ARC GIS 9.3, para la delimitación de la microcuenca del río “San Vicente” .....187

### **ANEXO 5. FOTOGRAFÍAS**

Fotografías 1. Aforos en la microcuenca del río “San Vicente”.....	188
Fotografías 2. Colocación de Recipientes - medición de la Evaporación.....	190
Fotografías 3. Colocación de la Estación Meteorológica.....	191
Fotografías 4. Colocación de Rótulos en los puntos de aforo.....	192
Fotografías 5. Construcción de Vertederos.....	193
Fotografías 6. Fauna en la microcuenca (Observación Directa).....	194
Fotografías 7. Máximas Crecidas en los esteros.....	196
Fotografías 8. Recolección de Parámetros Meteorológicos.....	198

### **ANEXO 6. PUNTOS GPS**

- Puntos1. Obtenidos a través del GPS para georeferenciación estero 1.....199
- Puntos 2. Obtenidos a través del GPS para georeferenciación del estero 2.....201

### **ANEXO 7. TABLAS**

- Tabla 1.Datos Diarios recopilados, Estación Meteorológica Shushuqui (11-12 de En. 2010).....205

- Tabla 2. Parámetros Diarios, Semanales y Mensuales. Microsoft Excel 2007-2010, Abril del 2010. (Ver todos los datos obtenidos, CD, CTT - FICAYA).....207

## **ANEXO 8. DIAGRAMAS**

- Diagrama 1 Ombrotérmico Mensual. Estación Shushuqui, mes de marzo 2010. (Ver todos los Diagramas CD.CTT – FICAYA) .....209
- Diagrama 2. Parámetros obtenidos de la Estación Meteorológica Shushuqui. (Ver todos los diagramas, CD. CTT – FICAYA).....210

## **ANEXO 9. EJEMPLO DE CÁLCULO DEL CAUDAL MOLINETE ELECTRÓNICO**

- Datos Aforo 13 de febrero del 2010 (Ver todos los Cálculos, CD. CTT – FICAYA) Moliente Electrónico Rickly Hidrological Co.....211



## 1. INTRODUCCIÓN

El Ecuador es un país que cuenta con poca extensión territorial a nivel mundial, se caracteriza por tener una mega diversidad de climas, paisajes, culturas y tradiciones que hacen de él, un centro turístico para las personas nacionales y extranjeras.

Por la variabilidad de pisos altitudinales, se puede encontrar diversas zonas de vida, en donde es notorio, la flora y fauna representativa y en algunos casos única en nuestro planeta.

Esta dividido en regiones, las cuales por su ubicación geográfica, son ricas en recursos naturales, los mismos, que deben ser aprovechados y manejados sustentablemente, para llegar a un equilibrio con el ambiente.

Esta investigación se desarrolla en la región amazónica, en donde debido a la falta de información, se debió georeferenciar los esteros existentes, delimitar la microcuenca, generar una base de datos de caudales y parámetros meteorológicos (precipitación, temperatura, humedad relativa, etc.), a través de la instalación de una mini estación meteorológica. Y con el análisis respectivo de estos, conocer el régimen hidrológico de la microcuenca del rio san Vicente, es decir el estado medio de las condiciones atmosféricas, principalmente las precipitaciones, caracterizado por la evolución del tiempo atmosférico.

Esta investigación surge como una necesidad, en el proyecto de remediación que realiza la Universidad Técnica del Norte a través del Centro de Transferencia de Tecnologías CTT, por conocer como se manifiestan los fenómenos atmosféricos en un periodo de tiempo largo, su posible protección ante estos, pero también para conseguir ciertos beneficios y aplicaciones útiles de los caracteres que el tiempo ofrece cada día.

El régimen hidrológico en la microcuenca se presenta con caudales pequeños en la mayoría del tiempo del año, sin embargo existe épocas en que la precipitación aumenta considerablemente, afectando principalmente las zonas cercanas a los esteros que tienen un relieve plano, en donde se producen inundaciones que afectan principalmente a las obras de infraestructura, y plantaciones de café, cacao, yuca entre otras.

El tiempo y el régimen hidrológico predominante de la microcuenca, son más recordados por los comuneros, por sus efectos negativos en el transcurso de la historia, que por los grandes beneficios que ofrece continuamente a la comunidad.

La espectacularidad como se presentan los eventos adversos como son; las precipitaciones fuertes e inundaciones, han provocado la flotación y arrastre del crudo (metales pesados), que se encuentra enterrado (pasivos ambientales) en la parte alta de la microcuenca, y tiene como consecuencia la contaminación de esteros y partes bajas de la misma, afectando a todos sus componentes.

El conocimiento del régimen hidrológico y su comportamiento en la microcuenca del río San Vicente, para la agricultura, y las entidades que trabajan en esta zona, es un extraordinario beneficio, ya que es de gran ayuda, dentro de la planificación de campo, en la selección de cultivos y especies, así como en la elección de las técnicas a aplicar.

La concreción de los períodos de estiaje y lluvias es muy importante no solo para las siembras, sino para cualquier obra de infraestructura a realizarse dentro de esta región, teniendo en cuenta el tiempo en que se presentan los riegos en relación con las características pluviométricas.

Sin embargo la fuerte ola de contaminación a nivel mundial y el mal manejo de los recursos naturales, dan como consecuencia uno de los problemas más graves, que es el calentamiento global, en el que se presenta un conjunto de alteraciones en el clima terrestre que afectan a cada uno de parámetros climáticos

(precipitaciones, temperatura, humedad relativa, etc.).<sup>(Ref. 18)</sup> que son analizados en este estudio, por lo que se debió hacer una comparación y una relación con datos existentes desde hace más de 25 años, con las estaciones pluviométricas más cercanas al área de estudio y que son certificadas por el INAMHI.

Este estudio también servirá, para tener datos reales de la cantidad de caudal que pasa por los esteros de la microcuenca y diseñar diques los cuales sirvan como una barrera frente a la contaminación existente en la parte alta de la microcuenca, y ante posibles efectos negativos como son derrames o rupturas de las líneas de flujo que se han evidenciado y que afectan a todos los componentes de un cuenca.

## **1.1. Objetivos**

### 1.1.1. General

Determinar el régimen hidrológico de la microcuenca del río San Vicente correspondiente al área de influencia de la línea de flujo del pozo Shushuqui 13.

### 1.1.2. Específicos

- ✘ Realizar la caracterización del área de estudio.
- ✘ Realizar el levantamiento topográfico y cartográfico del área de influencia.
- ✘ Analizar y cuantificar los componentes del balance hídrico, precipitación, evapotranspiración e infiltración en el área.
- ✘ Procesar e interpretar los datos obtenidos de la estación meteorológica digital.
- ✘ Determinar los caudales mensuales y curvas de descarga.
- ✘ Determinar el caudal ecológico promedio mensual.
- ✘ Calcular el nivel de inundación al construir los diques, en el área de influencia.

## **1.2. Pregunta Directriz**

- ↗ ¿Influirá el régimen hidrológico en la construcción de obras civiles en la microcuenca del río San Vicente?
  
- ↗ ¿El incremento del nivel de agua en el embalse, afectará a las unidades experimentales?



## **2. REVISIÓN DE LITERATURA**

### **2.1. La Hidrología**

Es la parte de la Geografía Física que estudia origen, distribución y propiedades de las aguas en la naturaleza. En un sentido más amplio, estudia los fenómenos relacionados con el ciclo del agua en la naturaleza conocido también como ciclo hidrológico.

La evaluación de los recursos hídricos de una región, se lleva a cabo examinando cuantitativamente el balance hídrico de los ríos. Esto es determinando las entradas de agua que llega en forma de lluvia o nieve y restándole a esta las salidas en forma de escurrimiento por los ríos el agua que se infiltra en el subsuelo, el agua evaporada y transpirada por las plantas, esta complementada con los estudios sobre la influencia que el hombre ejerce sobre el ciclo, su contaminación y sus efectos a cambios ambientales ocasionados. Todos estos campos son de dominio de la hidrología. <sup>(Ref. 1)</sup><sup>1</sup>

### **2.2. El Ciclo del Agua**

Se pudiera admitir que la cantidad total de agua que existe en la Tierra, en sus tres fases: sólida, líquida y gaseosa, se ha mantenido constante desde la aparición de la Humanidad.

El agua de la Tierra - que constituye la hidrósfera - se distribuye en tres reservorios principales: los océanos, los continentes y la atmósfera, entre los cuales existe una circulación continua - el ciclo del agua o ciclo hidrológico.

El movimiento del agua en el ciclo hidrológico es mantenido por la energía radiante del sol y por la fuerza de la gravedad.

---

<sup>1</sup> Referencia 1. Burbano F. Manual de Hidrología

El ciclo hidrológico se define como la secuencia de fenómenos por medio de los cuales el agua pasa de la superficie terrestre, en la fase de vapor, a la atmósfera y regresa en sus fases líquida y sólida. La transferencia de agua desde la superficie de la Tierra hacia la atmósfera, en forma de vapor de agua, se debe a la evaporación directa, a la transpiración por las plantas y animales y por sublimación (paso directo del agua sólida a vapor de agua).

La cantidad de agua movida, dentro del ciclo hidrológico, por el fenómeno de sublimación es insignificante en relación a las cantidades movidas por evaporación y por transpiración, cuyo proceso conjunto se denomina evapotranspiración.

El vapor de agua es transportado por la circulación atmosférica y se condensa luego de haber recorrido distancias que pueden sobrepasar 1,000 km. El agua condensada da lugar a la formación de nieblas y nubes y, posteriormente, a precipitación.

La precipitación puede ocurrir en la fase líquida (lluvia) o en la fase sólida (nieve o granizo). El agua precipitada en la fase sólida se presenta con una estructura cristalina, en el caso de la nieve, y con estructura granular, regular en capas, en el caso del granizo.

La precipitación incluye el agua que pasa de la atmósfera a la superficie terrestre por condensación del vapor de agua (rocío) o por congelación del vapor (helada) y por interceptación de las gotas de agua de las nieblas (nubes que tocan el suelo o el mar).

El agua que precipita en tierra puede tener varios destinos. Una parte es devuelta directamente a la atmósfera por evaporación; otra parte escurre por la superficie del terreno, escorrentía superficial, que se concentra en surcos y va a originar las líneas de agua. El agua restante se infiltra, esto es penetra en el interior del suelo;

esta agua infiltrada puede volver a la atmósfera por evapotranspiración o profundizarse hasta alcanzar las capas freáticas.

Tanto el escurrimiento superficial como el subterráneo van a alimentar los cursos de agua que desaguan en lagos y en océanos. <sup>(Ref. 32)<sup>2</sup></sup> (Ver Gráfico 2.1)



***Gráfico 2.1 El ciclo del agua (Ref. 27)***

La escorrentía superficial se presenta siempre que hay precipitación y termina poco después de haber terminado la precipitación. Por otro lado, el escurrimiento subterráneo, especialmente cuando se da a través de medios porosos, ocurre con gran lentitud y sigue alimentando los cursos de agua mucho después de haber terminado la precipitación que le dio origen.

<sup>2</sup> Ref. 32 <http://www.jmarcano.com/nociones/ciclo1.html> 2010

Así, los cursos de agua alimentados por capas freáticas presentan unos caudales más regulares.

El agua que precipita sobre los suelos va a repartirse, a su vez, en tres grupos: una que es devuelta a la atmósfera por evapotranspiración y dos que producen escurrimiento superficial y subterráneo. Esta división está condicionada por varios factores, unos de orden climático y otros dependientes de las características físicas del lugar donde ocurre la precipitación.

Así, la precipitación, al encontrar una zona impermeable, origina escurrimiento superficial y la evaporación directa del agua que se acumula y queda en la superficie. Si ocurre en un suelo permeable, poco espeso y localizado sobre una formación geológica impermeable, se produce entonces escurrimiento superficial, evaporación del agua que permanece en la superficie y aún evapotranspiración del agua que fue retenida por la cubierta vegetal. En ambos casos, no hay escurrimiento subterráneo; este ocurre en el caso de una formación geológica subyacente permeable y espesa.

La energía solar es la fuente de energía térmica necesaria para el paso del agua desde las fases líquida y sólida a la fase de vapor, y también es el origen de las circulaciones atmosféricas que transportan el vapor de agua y mueven las nubes.

La fuerza de gravedad da lugar a la precipitación y al escurrimiento. El ciclo hidrológico es un agente modelador de la corteza terrestre debido a la erosión y al transporte y deposición de sedimentos por vía hidráulica. Condiciona la cobertura vegetal y, de una forma más general, la vida en la Tierra. <sup>(Ref. 33)</sup>

### 2.2.1. Régimen Hidrológico

El régimen hidrológico del agua dulce es el modelo predominante del flujo de aguas en un periodo de tiempo.

Más específicamente, hace referencia a la duración de las épocas de inundaciones como resultado de la cantidad de agua que hay en superficie (agua de superficie), las precipitaciones y el flujo de las aguas subterráneas. <sup>(Ref. 30)</sup><sup>3</sup>

### **2.3. Cuenca Hidrográfica**

“Es una unidad de territorio que capta la precipitación, transita el escurrimiento y la escorrentía hasta un punto de salida en el cauce principal” o “es un área delimitada por una divisoria topográfica que drena a un cauce común” <sup>(Ref. 3)</sup><sup>4</sup>

También de la misma concepción se sostiene que cuenca hidrográfica “Es toda el área que genera escorrentía aguas arriba de un punto de referencia en el cauce principal” <sup>(Ref. 21)</sup>

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

Los componentes de una cuenca hidrográfica son todos aquellos recursos naturales que forman parte del ambiente incluyendo al hombre; todos estos componentes son vivos y dinámicos permanecen condicionados e interactúan mutuamente de manera estrecha. Por tanto, en el estudio de una cuenca o microcuenca, todos sus componentes son interdependientes y deben ser considerados como un conjunto.

La cuenca como unidad tiene características geográficas, físicas, biológicas similares, que le hacen funcionar como un ecosistema. Es por esto que Las cuencas hidrográficas son la mejor unidad geográfica para la planificación del desarrollo regional. <sup>(Ref. 7)</sup><sup>5</sup>

#### **2.3.2. Caracteres de los Componentes de una Cuenca**

---

<sup>3</sup> Ref. 30 . Fuente: Green Facts. Definición de Régimen Hidrológico.

<sup>4</sup> Ref. 3. Brooks K.N. 1985.- Definiciones de cuenca hidrográfica.

<sup>5</sup> Ref. 7. Galarza G. 1994, citado por Edwin Bladimir Haro Vaca

Los componentes de una Cuenca Hidrográfica se describen a continuación haciendo mención las características más representativas de cada componente.

#### 2.3.2.1. Factores Físicos

Son aquellos que tienen que ver con el relieve, la corteza terrestre y los elementos naturales que lo modifican. <sup>(Ref. 7)</sup>

- **Relieve.-** Es la forma del terreno. Sus elevaciones, desigualdades, tienen gran importancia en el manejo de Cuencas Hidrográficas por estar íntimamente ligados con la formación de los suelos, drenaje superficial e interno, erosión, etc.
- **Topografía.-** Íntimamente ligada al relieve, determina una serie de unidades tales como: valles, colinas, mesetas, montañas y otras que definen de forma más completa el relieve.
- **Hidrología.-** Este factor hace referencia al régimen de caudales, es decir al volumen de escorrentía, sedimentación y clasificación de corrientes en temporales y permanentes.
- **Hidrografía.-** Se refiere a las sub cuencas que conforman la Cuenca, sus sectores, forma de la Cuenca y en general el análisis morfométrico del área de captación de la Cuenca y su red de drenaje.
- **Geología.-** Determina el tipo de roca y suelo que predominan en una región, dependiendo del material original de formación.
- **Geomorfología.-** Trata de la forma que posee la corteza terrestre, está ligada, con algunos factores formadores del suelo (clima, relieve, material parental, tiempo de formación del suelo). La geomorfología nos permite conocer datos de carácter práctico como condiciones de drenaje, peligro de erosión y otros.

- El clima.- Es uno de los factores más importantes a tener en cuenta en el manejo de Cuencas, el clima condiciona los usos que se puede dar al suelo en determinada región y es uno de los agentes que provoca la erosión y degradación de los suelos. En el clima se debe analizar parámetros tales como: la precipitación, temperatura, humedad relativa, el viento y la nubosidad.
- El suelo.- Puede ser considerado como factor físico por cuanto es la base donde se asienta cualquier tipo de construcción o infraestructura física, mientras que se considera como biológico por contener gran cantidad de organismos vivos indispensables en el desarrollo agrícola y productivo. Es necesario estudiar todas las características de los suelos material de origen, relieve, pendiente media, fertilidad, el uso que se le está dando y su uso potencial, etc.

#### 2.3.2.2. Factores Biológicos

Son aquellos factores dinámicos que forman parte de la microcuenca. <sup>(Ref. 7)</sup>

- Vegetación.- Se debe tomar en cuenta tanto los bosques naturales como bosques secundarios, la clase de cultivos existentes, pastos o praderas naturales, vegetación existente y otros tipos de cubierta vegetal.
- Fauna.- Es un integrante activo de los ecosistemas naturales por lo que la fauna silvestre no debe quedar de lado ya que participa en el ciclo de formación de nutrientes, cadenas tróficas, contribuyendo a estructurar el medio biológico para el hombre a más de tener valor científico, estético, recreativo, etc.
- Ecología.- En las microcuencas es necesario estudiar el medio desde el punto de vista ecológico tanto en áreas en estado natural como intervenidas.

La ecología puede ser estudiada por varias metodologías, una de ellas es la clasificación de regiones por zonas de vida, provincias biogeográficas, macroecosistemas, etc. Todas conducen a definir lugares con características

naturales similares donde en condiciones normales se dará una misma clase de formas biológicas y condiciones de vida.

#### 2.3.2.3. Factores Humanos

El elemento fundamental del desarrollo de una Cuenca es el hombre base de toda planificación, puesto que él será el beneficiario directo de los planes que se adelanten en el desarrollo, de aquí que es necesario estudiar de las condiciones prevalecientes de la forma de vida humana dentro de la Cuenca para buscar mejorar las condiciones existentes. El manejo integrado de una Cuenca Hidrográfica permite introducir cambios sociales, fomentar el desarrollo económico y mejorar la condiciones de vida no solo materiales, sino culturales y espirituales de los poblados inmersos en la misma. Estos son los motivos esenciales que justifican los esfuerzos requeridos para implementar un plan de manejo. <sup>(Ref. 7)</sup>

#### 2.3.2.4. Factores Ambientales

El medio ambiente, es decir todo lo que nos rodea está centrado en el hombre y consiste en la forma y función de aquellos ecosistemas que rodean la vida humana. Un ecosistema se puede definir como una “Comunidad de los seres vivos cuyos procesos vitales se relacionan entre sí y se desarrollan en función de los factores físicos de un mismo ambiente”. <sup>(Ref. 18)<sup>6</sup></sup>

Un ecosistema grande, como es una Cuenca Hidrográfica contiene muchos otros ecosistemas, bosques, lagos, ríos, terrenos agrícolas e incluso en algunos casos ciudades, que a pesar de su aparente independencia lo que se haga a uno de ellos influirá en los demás puesto que son interdependientes. De ésta interacción surge la necesidad de estudiar los aspectos ambientales que condicionan las relaciones

---

<sup>6</sup> Ref. 18. MICROSOFT® ENCARTA® 2009. © 1993-2008 Microsoft.- Definiciones de ecosistema.

de los recursos con el fin de evaluar en un momento determinado el impacto que le causa al ambiente el uso que se haga de ellos.

## **2.4. Distribución Estacional de las Lluvias**

El patrón de distribución de la precipitación media mensual en el país, es susceptible de analizarse de manera cualitativa, sin hacer referencia a sus cantidades absolutas. Tal análisis muestra que existen 3 regímenes de lluvia perfectamente diferenciados, el de la costa, sierra y oriente.

En el Oriente, las lluvias se incrementan en forma notable en la zona contigua a las estribaciones de la cordillera, disminuyendo en su magnitud a medida que nos internamos en la región amazónica. Estas lluvias son típicamente de carácter Ecuatorial.

Se presentan durante todo el año, siendo los meses de intensas lluvias los de abril junio, y julio, y menos intensos los de septiembre y octubre. En general la estación seca (el periodo de menos lluvias), si así lo podemos denominar, corresponde a los meses de diciembre y febrero <sup>(Ref. 4)<sup>7</sup> pg. 14.</sup>

### **2.4.1. Relación, Temperatura y Precipitación**

Dos elementos climáticos simples, la temperatura y precipitación promedia anual, con sus variaciones en el curso del año, se utiliza frecuentemente para la determinación cuantitativa del clima predominante en una región o localidad. En el Ecuador la temperatura media anual y mensual varía muy poco. El factor climático que puede volverse limitante, es la precipitación y su distribución en el año, el cual modela en el último término, la distribución de la vegetación. <sup>(Ref. 4)</sup>

### **2.4.2. Bosque Húmedo Tropical**

---

<sup>7</sup> Ref. 4. CAÑADAS CRUZ, L. Mapa Bioclimático y Ecológico del Ecuador. Quito, 1983.

#### 2.4.2.1. Localización y Superficie

La formación bosque húmedo tropical, comprende a una franja selvática que corre paralela con el bosque seco tropical.

En la región Oriental, esta formación ocupa toda la llanura amazónica a partir de los 600 metros de altitud, excluyendo las zonas descritas en el bosque seco Tropical y el bosque muy húmedo tropical. Esta zona de vida, es visiblemente, varias veces más extensa que cualquier otra existente en el Ecuador, ocupa 8.235.133 Has, que representa el 31,94% del territorio nacional. <sup>(Ref. 4)</sup>

#### 2.4.2.2. Características Climáticas

Esta formación tanto en la Costa como en el Oriente está confinada a la misma faja altitudinal que el bosque seco Tropical, como también a sus rangos de temperatura, pero recibe una precipitación media anual entre 2000 y 4000 milímetros.

Predominan en estas regiones la estación lluviosa, la seca se restringe a los meses de julio y agosto o hasta septiembre, es decir de 2 a 3 meses secos, sin que exista diferencia en la temperatura media mensual entre una y otra estación, como ocurre en Amancay, Puerto Lla y La Maná.

En la parte noroccidental del país, teniendo como representativas las estaciones meteorológicas de San Lorenzo, Borbón, Cayapas, Viche y la Concordia, y en la región Oriental con Putumayo, Tiputini, Curaray, Limoncocha y Taisha, se registran lluvias durante todos los meses del año en una cantidad tal, que superan al doble del valor de su temperatura promedia mensual, por tanto no existen meses ecológicamente secos.

Los meses menos húmedos varían de acuerdo a influencias locales, sin embargo existe una tendencia a que el periodo menos lluvioso se presente entre diciembre,

enero, febrero. Como las lluvias exceden a la evapotranspiración potencial el régimen es húmedo, el cual en cierto sentido limita el establecimiento de determinados cultivos anuales. <sup>(Ref. 4)</sup>

#### 2.4.2.3. Uso Actual y Potencial

En el oriente, una parte de la población está formada de indígenas pertenecientes a diferentes grupos étnicos, seminómadas que viven de la caza, la pesca y el cultivo de pequeñas “chacras” temporales de subsistencia especialmente sobre las orillas de los ríos.

De la población total sin embargo, una mayor proporción de gente foránea a la región, se radica en los pueblos y caseríos dispersos a lo largo de las carreteras abiertas por la explotación petrolera, o al lado de los ríos principales.

El colono aprovecha solamente los terrenos más fértiles y accesibles, en especial aquellos ubicados sobre diques naturales, o sobre terrazas aluviales poco inundables, sus predios en general no tienen límites fijos y el cultivo temporal es la práctica común. En cualquier año, solamente una parte de estos buenos terrenos son activamente cultivados, la mayor extensión queda descansando barbecho, del cual emerge el matorral típico bosque secundario joven que devuelve la fertilidad de los suelos sin ningún costo o esfuerzo. Sobre todo en las playas se cultiva yuca, arroz, plátano, maíz, chontaduro, papaya, etc.

Cada familia, practica un tipo de agricultura muy rudimentaria y produce únicamente para satisfacer sus propias demandas y a veces algo extra para pequeñas ventas locales o comerciantes flotantes.

El Oriente y en esta área, a pesar de su gran extensión, a excepción del petróleo, contribuye muy poco a la economía o vida socioeconómica del país. En su mayor parte esta deshabilitada y cubierta por tupidas selvas.

El potencial de esta región para su futuro desarrollo económico, social y su integración efectiva en la vida nacional, aunque aún desconocidos por falta de estudios básicos en lo que se refiere a *recursos naturales renovables*, es aparentemente muy superior al obtenido al amparo del desarrollo actual.

Esta zona de vida, constituye también el medio ambiente de una gran variedad de herbáceas, arbustos y árboles de actual o potencial valor económico por sus hojas, flores, látex, resinas, fibras, aceites y derivados fotoquímicas de uso industrial o medicinal. Debido a la falta de investigación adecuada o experimentación con su cultivo, la mayoría son desconocidos y no han tenido el desarrollo económico que se merecen. Se menciona solamente unas pocas: el cacao silvestre, el caucho, el maní de árbol, el chontaduro, la palma, el jengibre, la guayusa, la canela, etc.

Cualquiera de la política de explotación y aprovechamiento de los recursos, es una necesidad delimitar áreas destinadas en primer lugar a reservas etnográficas, que son el patrimonio cultural del país. Reservas de flora y fauna silvestres a manera de bancos de germoplasma, de insospechado valor científico. <sup>(Ref.4) pg. 115.</sup>

## **2.5. Estaciones Meteorológicas**

Las observaciones se realizan en lugares establecidos, donde es necesario contar con datos meteorológicos para una o varias finalidades, ya sea en tiempo real, en tiempo diferidos o ambos. Estos lugares deben reunir determinadas condiciones técnicas normalizadas y se los denomina "**estaciones meteorológicas**".

De acuerdo a lo establecido por la Organización Meteorológica Mundial (OMM), las estaciones meteorológicas se clasifican de la siguiente manera:

### 2.5.1. Clasificación

**Según su finalidad:** Sinóptica, Climatológica, Agrícolas, Especiales Aeronáuticas.

**De acuerdo a la magnitud de las observaciones:** Principales, Ordinarias, Auxiliares o adicionales.

**Por el nivel de observación:** Superficie Altitud.

**Según el lugar de observación:** Terrestre, Aéreas, Marítimas.

Como se puede observar una estación meteorológica puede tener diferentes fines, dependiendo de los propósitos para los cuales fue instalada. La información se utiliza en varias aplicaciones u observaciones adicionales que le dan sus características. Por consiguiente, en una estación meteorológica pueden conjugarse dos o más categorías simultáneamente.

#### 2.5.2. Observaciones Climatológicas:

Son observaciones que se efectúan para estudiar el clima, es decir, el conjunto fluctuante de las condiciones atmosféricas, caracterizados por los estados y las evaluaciones del tiempo en una porción determinada del espacio. Estas observaciones difieren muy poco de las sinópticas en su contenido y se realizan también a horas fijas, tres o cuatro veces al día (por lo menos) y se complementan con registros continuos diarios o semanales, mediante instrumentos registradores.

#### 2.5.3. Observaciones de la Precipitación:

Son observaciones relativas a la frecuencia, intensidad y cantidad de precipitación, ya sea en forma de lluvia, llovizna, aguanieve, nieve o granizo y constituyen elementos esenciales de diferentes tipos de observaciones. Dada la gran variabilidad de las precipitaciones tanto desde el punto de vista espacial como temporal se debe contar con un gran número de estaciones suplementarias de observación de la precipitación. <sup>(Ref.27)</sup><sup>8</sup>

---

<sup>8</sup>Ref.27 <http://www.ambiente.gob.ec/WEB/Publicaciones/Archivos%20pdf/DIANOSTICOfinal.pdf> 2010.

## **2.6. Especificaciones sobre el registro y procesamiento de datos**

Los datos obtenidos de la estación meteorológica fueron:

- Obtenidos a través del software, Box Car Pro 4 de la estación meteorológica, todos los días.
- Guardados en el computador del CTT, en una carpeta con el nombre “Datos Estación Meteorológica”.
- Exportados al programa Excel 2007.
- Tabulados diariamente, semanalmente y mensualmente.
- Analizados los parámetros como son: precipitación y temperatura.

Por la considerable cantidad de datos estos se encuentran en formato Microsoft Excel 2007. (Ver Anexos Excel, CD. CTT - FICAYA)

En seguida se muestra el procedimiento para la instalación de la estación meteorológica.

### **2.6.1. Instalación de las Estaciones e Instrumental**

La instalación de las estaciones, así como la ubicación del instrumental para la toma y/o registro de los datos meteorológicos, han sido realizadas de acuerdo a normas internacionales establecidas por la Organización Meteorológica Mundial - OMM-. A continuación, se citan algunas definiciones relacionadas con las estaciones, elementos meteorológicos, instrumentos y las características de su instalación.

### **2.6.2. Definiciones relacionadas con la Estación Meteorológica**

#### **1.- Temperatura del Aire**

Temperatura señalada en un termómetro expuesto al aire y protegido de la radiación solar directa. Se mide en grados centígrados y décimas de grado.

## **2.- Temperaturas Extremas**

Los valores máximo y mínimo de temperatura del aire observados durante un período de observación dado.

## **3.- Humedad Atmosférica**

Se define como humedad atmosférica al contenido del vapor de agua en el aire, existen en este anuario tres parámetros que reflejan este contenido de vapor de agua en el aire:

## **4.- Tensión de Vapor**

Es la fuerza ejercida por el vapor de agua sobre la superficie de la tierra independientemente de la ejercida por el resto de gases que constituyen el aire. Se mide en Hectopascales por tratarse de presión.

Denominase tensión de vapor saturante a la fuerza ejercida por el vapor de agua cuando el aire esta saturado o sea contiene la mayor cantidad posible de vapor de agua a la temperatura actual.

## **5.- Humedad Relativa**

Es un parámetro que determina el grado de saturación de la atmósfera. Esta definido por la relación existente entre la tensión de vapor actual y la tensión de vapor saturante a una determinada temperatura, multiplicada por cien. Su unidad de medida es el porcentaje, mientras más alto sea el porcentaje, mayor es el grado de saturación de la atmósfera.

<sup>9</sup>

$$\text{H.R.} = (E/ E_s) \times 100$$

---

<sup>9</sup> Fórmula de Humedad relativa: Manual de la Mini estación meteorológica

## **6.- Temperatura del Punto de Rocío**

Es la temperatura a la que hay que enfriar una masa para que se sature, a presión y humedad constantes (proceso Isobárico). Se mide en grados centígrados y décimos de grado por tratarse de una temperatura. Normalmente se usa el término Punto de Rocío para significar Temperatura del Punto de Rocío.

## **7.- Precipitación Atmosférica**

Hidrometeoro que consiste en la caída de lluvia, llovizna, nieve, granizo, hielo granulado, etc. desde las nubes a la superficie de la tierra.

Se mide en alturas de precipitación en mm, que equivale a la altura obtenida por la caída de un litro de agua sobre la superficie de un metro cuadrado.

## **8.- Días con Precipitación**

Días en que se observa precipitación. El mínimo de agua que debe recogerse para que se considere un día con precipitación varía de un país a otro, en general, es de 0.1 mm.

## **9.- Evaporación**

Hidrometeoro, que se refiere a la emisión de vapor de agua a la atmósfera por una superficie libre de agua líquida pura, a una temperatura inferior al punto de ebullición.

## **10.- Evaporación Potencial**

Máxima cantidad de vapor que podría ser emitida la atmósfera por una superficie de agua líquida pura, a las condiciones dadas, siempre que se cuente con una cantidad suficiente de agua, o sea disponiendo en todo momento del agua necesaria para evaporar.

## **11.- Dispositivos para medir la Evaporación**

Existen un numeroso grupo de aparatos para medir la evaporación, el usado por el INAMHI es el Tanque de Evaporación que mide la llamada Evaporación Potencial, definida anteriormente:

## **12.- Tanque de Evaporación**

Evaporímetro compuesto por un tanque o depósito de mediana profundidad, con una superficie relativamente grande, para medir el descenso, debido a la evaporación, en el nivel de agua que contiene. La evaporación se mide en milímetros de evaporación equivalentes a la pérdida de un litro de agua en una superficie libre de agua de un metro cuadrado.

## **13.- Viento**

Movimiento del aire con respecto a la superficie de la tierra. Las direcciones se toman de donde viene o procede el viento, las velocidades en metros por segundo.

## **14.- Nubosidad**

Fracción de la bóveda terrestre cubierta por la totalidad de nubes visibles, se divide a la bóveda celeste en octavos llamados (octas).

Este parámetro lo estima el observador por observación directa y no utiliza aparatos para su estimación. <sup>(Ref.12)</sup><sup>10</sup>

## **2.5 Cálculo de la precipitación media sobre un área**

Para el cálculo de la precipitación media en una cuenca o un área, a partir de los datos de las estaciones meteorológicas (pluviométricas), pueden utilizarse varios procedimientos. <sup>(Ref.20)</sup><sup>11</sup>

---

<sup>10</sup> Ref. 12. INAMHI 2006. Anuario Meteorológico.

1.- El primero y más simple es tomar como precipitación media la media aritmética de los valores observados en las distintas estaciones meteorológicas localizadas dentro de la cuenca. Esto sólo es aconsejable cuando la distribución de las estaciones en la cuenca sea bastante uniforme en las zonas bajas y convenientemente elegidas en zonas de montaña.

Para determinar la precipitación media de la cuenca con este método se aplica la expresión matemática siguiente:

<sup>12</sup>

$$P = \sum pn/n$$

**Donde:**

P: precipitación media de la cuenca.

Pn: precipitación media de cada estación meteorológica localizada dentro de la cuenca.

n: número de estaciones meteorológicas localizadas dentro de la cuenca.

2.- Un segundo procedimiento es el de los polígonos de *Thiessen*. La red poligonal se traza formando los polígonos mediante las perpendiculares en el punto medio a los segmentos que unen cada dos estaciones. Se supone que cada estación es representativa del área del polígono que la encierra, de manera que la precipitación media de la superficie limitada por cada polígono es la que se registra en la estación meteorológica correspondiente.

Así, la precipitación media de la cuenca se obtiene sumando los productos de las precipitaciones de cada estación por el área del polígono correspondiente y dividiendo la suma entre el área total de la misma cuenca:

---

<sup>11</sup> Ref. 20 RAMIREZ H. JORGE 2005 Apuntes de hidrología, construcción de polígonos de thiesen.

<sup>12</sup> Fórmula de la precipitación media de una cuenca. Ramírez Jorge 2005, Apuntes de hidrología.

Fórmula:<sup>13</sup>

$$P = (p_1 a_1) + (p_2 a_2) + (p_3 a_3) \dots + (p_n a_n) / A$$

$$P = \sum p_n a_n / A$$

**Donde:**

P: precipitación media de la cuenca.

P: precipitación media de cada polígono (corresponde a la precipitación media de la estación limitada por cada polígono).

a: área correspondiente a cada polígono.

A: Área total de la cuenca.

Las áreas de los polígonos se calculan mediante el empleo de papel milimétrico, del planímetro o de sistemas de información geográfica.

3.- Un tercer procedimiento es el método de las isoyetas, que es el más preciso. Consiste en trazar isolíneas de igual precipitación (isoyetas). La precipitación media de la cuenca se calcula sumando los productos de las áreas comprendidas entre cada dos isoyetas, por su correspondiente precipitación media, y dividiendo la suma entre el área total de la cuenca. Cuando las isoyetas discurren paralelas, la precipitación media del área comprendida entre cada dos es la semisuma de los valores de éstas.

Para determinar la precipitación media se emplea la siguiente expresión:

<sup>14</sup>

$$P = (p_1 a_1) + (p_2 a_2) + (p_3 a_3) \dots + (p_n a_n) / A$$

$$P = \sum p_n a_n / A$$

<sup>13</sup> Fórmula de la precipitación media de una cuenca. Método de Polígonos de thiesen.

<sup>14</sup> Fórmula de la precipitación media de una cuenca. Método de isoyetas

En donde:

P: precipitación media de la cuenca,

p: precipitación media correspondiente al área comprendida entre cada dos isoyetas,

a: área comprendida entre cada dos isoyetas.

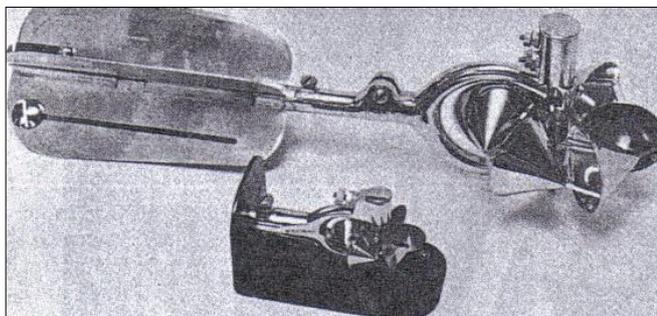
A: Área total de la cuenca

El área comprendida entre cada dos isoyetas se calcula mediante el empleo de papel milimétrico, del planímetro o de sistemas de información geográfica.

## 2.7. Medición del Agua Superficial

### 2.7.1. Velocidad de Flujo

La velocidad de flujo en un río se puede medirse utilizando un correntómetro. Los correntómetros son artefactos provistos de una hélice que se coloca en el flujo, para medir la velocidad del agua (Ver figura 2.1) <sup>(Ref. 24)<sup>15</sup></sup>



**Fig. 2.1** Correntómetro instrumento medición de velocidad del flujo

Correntómetros para medir la velocidad del agua. El más pequeño, montado sobre la base al frente, se une a una barra vertical y se usa cuando el vadeo es posible. El más grande, en la parte de atrás, se suspende de un cable y se utiliza para medir

---

<sup>15</sup> (Ref.) 24 VEN TE CHOW, DAVID R. MAIDMENT, LARRY W. MAYS. HIDROLOGÍA APLICADA 1994, Mc Graw – Hill Interamericana S.A. Santafé de Bogotá.

velocidades .en ríos más profundos desde un puente o un bote. Ambos correntómetros se basan en el hecho de que la velocidad de rotación de las copas es proporcional a la velocidad del flujo. El operador sujeta cables eléctricos a los dos tornillos en el eje vertical que sostiene las copas. Cada vez, que las copas completan una rotación, en el eje se cierra un contacto y el operador oye un click en los audífonos a los cuales llegan los cables. Contando el número de estas señales audibles en un intervalo de tiempo dado (por ejemplo, 40 segundos), se determina la velocidad. (Fuente: T. J. Buchanan, U. S. Geológica! Survey. Publicado por primera vez como figura 4 en "Techniques of water-resources investigations of the United States Geological Survey", Libro 3, capítulo A8. U. S. Geological Survey, 1969).

#### 2.7.2. Caudal

El caudal no se registra directamente, a pesar de que esta variable es tal vez la más importante en los estudios hidrológicos. En lugar de esto, se registra el nivel de agua y el caudal se deduce por medio de una *curva de calibración\** (Riggs, 1985). La curva de calibración se desarrolla utilizando un conjunto de mediciones de caudal y de altura de estación en la corriente, medidas que deben hacerse a lo largo de un periodo de meses o de años de tal manera que se obtenga una relación precisa entre el flujo volumétrico o caudal, y la altura de estación en un sitio de medición.

#### 2.7.3. Cálculo del Caudal

El caudal en un río se calcula utilizando las mediciones de velocidad y profundidad. Una línea de marcación se extiende a través de la corriente. A intervalos regulares a lo largo de la línea, se mide la profundidad del agua utilizando una barra calibrada o bajando una cuerda con contrapeso desde la superficie hasta el lecho del río, y luego se mide la velocidad utilizando un correntómetro. El caudal en una sección transversal de área  $A$  se encuentra con:

$$Q = \iint A V \cdot dA$$

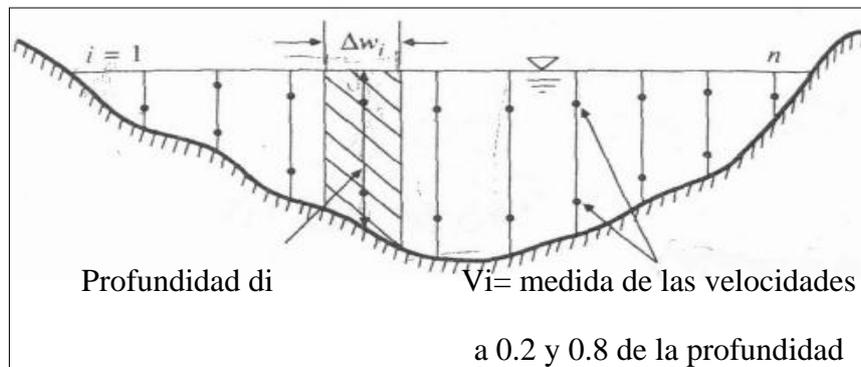
En donde la integral se aproxima sumando los caudales incrementales calculados para cada medición  $i, i=1, 2, \dots, n$ , de velocidad  $V_i$  y profundidad  $d_i$ .

Las mediciones representan valores promedio a lo largo de un ancho  $\Delta w_i$  de la corriente, luego el caudal se calcula como: (Ver la figura 2.2).

Fórmula:

16

$$Q = \sum_{i=1}^n V_i d_i \Delta w_i$$



**Figura 2.2** Cálculo del Caudal

En la figura se muestra como se debe realizar las mediciones de la profundidad como de la velocidad promedio en un tramo del río.

## 2.8. Caudal Ecológico

### 2.8.1. Definiciones y Conceptos

La expresión *caudal ecológico*, referida a un tramo de cauce de agua corriente, encierra un concepto que puede definirse como: El flujo de agua mínima necesaria para preservar los valores ecológicos en el cauce, tales como: <sup>(Ref.35)</sup>

- Los hábitats naturales que cobijan una riqueza de flora y fauna.

<sup>16</sup> Fórmula para el cálculo del caudal. Método molinete electrónico

- Las funciones ambientales como dilución de poluentes.
- La amortiguación de los extremos climatológicos e hidrológicos.
- La preservación del paisaje.

La determinación del caudal ecológico de un río o arroyo se hace según un cuidadoso análisis de las necesidades mínimas de los ecosistemas existentes en el área de influencia de la estructura hidráulica que en alguna forma va a modificar el caudal natural del río o arroyo.

Otra definición válida del mismo concepto sería la siguiente: *Caudal ecológico* es el caudal mínimo que debe mantenerse en un curso de agua al construir una presa, una captación, o una derivación, de forma que no se alteren las condiciones naturales del biotopo y se garantice el desarrollo de una vida natural igual a la que existía anteriormente.

#### 2.8.2. Determinación del Caudal Ecológico

Se han desarrollado innumerables métodos y metodologías para determinar los requerimientos del caudal de los ecosistemas.

Los más simples son los métodos hidrológicos o estadísticos, que determinan el caudal mínimo ecológico a través del estudio de los datos de caudales. Un ejemplo de método estadístico simple es definir el caudal mínimo ecológico como un 10% del caudal medio histórico, que es precisamente lo previsto, al menos hasta la fecha.

El caudal ecológico se considera pues como una restricción general que se impone a todos los sistemas de explotación sin perjuicio del principio de supremacía del uso para el abastecimiento de poblaciones.

El caudal ecológico es generalmente fijado en los "Planes de Manejo de Cuenca", con base en estudios específicos o análisis concretos para cada tramo del río, riachuelo o cauce aguas abajo del nacimiento. La caracterización de la demanda ambiental (es decir, la cantidad de agua que se considera caudal ecológico) es además consensuada con la intervención de los distintos sectores implicados, desde la planificación hasta el uso del agua.

### 2.8.3. Los Requisitos

El caudal ecológico, debe cumplir con los siguientes requisitos:

La base de cálculo deberá responder a una regularidad natural real que, como tal, formara parte de la coevolución entre el medio físico y las comunidades naturales, independientemente de que fuera una relación poco reconocible. Debe evitarse al máximo la incorporación de arbitrariedades, en la medida en que supone una intrusión de subjetividad y puede devaluar la solidez de los cálculos;

La aplicación del método y el resultado a obtener deben ser específicos, respectivamente, para cada cauce o tramo de cauce en concreto, evitando planteamientos basados en proporcionalidades fijas. La información que cada cauce aporta sobre las necesidades de sus comunidades naturales, son evaluadas en profundidad;

Derivado en parte del requisito anterior, el método adoptado debe cumplir un axioma tan simple y obvio como que: el caudal de mantenimiento o *caudal ecológico* es comparativamente más conservativo en los cauces menores y menos en los de mayores. Restar menos de "poco" puede conducir a nada, mientras que restar mucho de "más" puede permitir una situación sostenible.

Los resultados obtenidos deben estar en línea con experiencias empíricas, tanto bibliográficas como personales, y con los condicionantes propios de los

aprovechamientos hídricos ordinarios sobre regulación y/o derivación de caudales. A pesar de la enorme variedad de métodos de cálculo existentes, los resultados obtenibles de todos ellos siguen una distribución más o menos normal que encierra el intervalo de máxima probabilidad entre el 10% y el 30% del caudal medio interanual. Se trata de que el método adoptado mantenga también como intervalo más probable el indicado, a fin y efecto de intentar representar un equilibrio racional entre la conservación de los ambientes fluviales y el aprovechamiento del agua como recurso. <sup>(Ref.35)</sup>

#### 2.8.4. Caudal Ecológico y criterios para su aplicación en los ríos

Existe una bibliografía abundante sobre esta temática de fijación de caudales ecológicos, con diferentes criterios de base. El criterio más coherente es el que liga las exigencias de hábitat que tienen las especies fluviales con las variaciones de las características de éste en función de los caudales circulantes. Diversos autores han utilizado metodologías basadas en este criterio, entre los que cabe señalar a Tennant (1976), que analiza cualitativamente el hábitat piscícola en función de la hidrología de la cuenca vertiente; a White (1976), que desarrolla un análisis hidráulico entre los caudales circulantes y el perímetro mojado del cauce, asumiendo una relación creciente entre éste y la capacidad biogénica del río. Y finalmente, a Stalnaker (1979) y Bovee (1982), quienes desarrollan un método (IFIM, Instream Flows Incremental Methodology) basado en las relaciones cuantitativas entre los caudales circulantes y los parámetros físicos e hidráulicos que determinan el hábitat biológico. <sup>(Ref.36)</sup>

- Metodología Hidrológica <sup>(Ref.40)</sup>

Se trata de una metodología basada en registros históricos de caudal (mensuales o diarios) a partir de los cuales se obtiene un caudal mínimo. Esta metodología se fundamenta en la relación estricta que existe entre el régimen hidrológico y el ecosistema existente, puesto que las especies dentro del río se han adaptado y

acostumbrado a las variaciones de caudal. Dentro de las principales características de los métodos hidrológicos se encuentran su fácil aplicación, el requerimiento de pocos datos, y que son económicos, rápidos y poco dispendiosos de aplicar. Su desventaja consiste en que no tienen en cuenta aspectos biológicos y geomorfológicos del cauce, y en que establecen en algunos casos un caudal invariable en el tiempo, lo cual no refleja las necesidades de todos los interesados [Palau y Alcazar, 1996], [Davis y Hirji, 1999], [Bernardo y Alves, 2000], [Díez, 2000], [Dyson et al., 2003]. Algunos métodos propios son:

#### 2.8.5. Método Tennant <sup>(Ref.37)</sup>

El método Tennant establece los siguientes criterios:

- 1) El 10 % del caudal medio anual es el mínimo recomendable para mantener un hábitat que permite en un corto plazo la sobrevivencia de la mayoría de las formas de vida acuática.
- 2) El 30 % del caudal medio anual es recomendable para mantener un hábitat adecuado para la sobrevivencia de las diversas formas de vida acuática.
- 3) El 60 % del caudal medio anual es recomendable para generar un hábitat de características excelentes a excepcionales para la mayoría de las formas de vida acuática, durante los periodos de crecimiento iniciales (García et al. 1999; Maunder & Hindley, 2005; Pyrcce, 2004).

En tal sentido, el método Tennant identifica diferentes niveles de caudales recomendados como adecuados para la vida acuática con base en diversas proporciones de los caudales medios (Acreman & Dunbar, 2004; Moore, 2004; Smakhtin, 2001; Stewardson, 2005), proporciona de manera rápida y económica una aproximación de los caudales ecológicos (García & Soldán, 1997), considerando a éstos como un porcentaje del caudal medio anual (Pyrcce, 2004).

- Metodología de valoración hidráulica <sup>(Ref.40)</sup>

Esta metodología usa relaciones entre el caudal del río y alguna característica del cauce (velocidad, profundidad, perímetro mojado, entre otros). Es una mejora de la metodología hidrológica, que involucra medidas específicas del cauce afectadas directamente por la variación de caudal y que constituyen un factor limitante para las especies piscícolas u otras especies. Sin embargo, estos métodos continúan basándose más en las características físicas que en las necesidades de la biota. Se aplica generalmente en secciones transversales donde el mantenimiento del caudal es crítico o donde el hábitat hidráulico es limitante para la vida acuática (usualmente rápidos). Dentro de esta metodología se encuentran:

- Método del Perímetro Mojado <sup>(Ref.40)</sup>

Es un método usado como índice de disponibilidad de alimento para los peces, asumiendo que al maximizar el perímetro mojado habrá más alimento y hábitat aprovechable para la comunidad acuática. Requiere para su aplicación de la ubicación de un único transecto a lo largo del río que represente el sitio más sensible a los cambios de caudal.

Para determinar el caudal ambiental se hace uso de la relación directamente proporcional entre el perímetro mojado y el caudal: a medida que aumenta este último se incrementa el otro desde un nivel base de caudal, hasta alcanzar un punto de inflexión, después del cual, el incremento del perímetro mojado crece muy lentamente hasta llegar a banca llena. Este punto de inflexión se toma como el de caudal óptimo o ambiental [Reiser et al., 1989], [Tharme, 1996], [King et al., 1999], [Palau, 2003], [Arthington y Zalucki, 1998]. Es un método de fácil aplicación, pero que no considera las condiciones de habitabilidad de las especies acuáticas, ni tampoco la variación de caudal en el tiempo, elementos fundamentales cuando se determina un caudal ambiental.

➤ Método de Múltiples Transeptos (Multiple Transect Methods)

En este método se corrige el problema de usar un solo transecto para definir los caudales ambientales en el río, pues utiliza más de uno para su aplicación. Requiere de mediciones en campo de velocidad, nivel, sustrato y cobertura a diferentes caudales y en diferentes secciones transversales, con el fin de determinar por medio de simulación hidráulica el cambio de estas variables hidráulicas (habitabilidad) con cambios en el caudal [Arthington y Zalucki, 1998]. Se considera un método conservativo, que frecuentemente estima caudales altos [Richardson, 1986], [Swales et al., 1994], pero es uno de los primeros enfoques donde se tiene en cuenta la variabilidad de caudales y el consecuente cambio de variables hidráulicas de importancia ecológica.

- Metodología de simulación hidráulica <sup>(Ref.40)</sup>

Es una metodología de escritorio y de campo que se fundamenta en la relación entre el caudal y la hidráulica, pero que ofrece un análisis más detallado de la cantidad y conveniencia del hábitat físico disponible para una biota objeto y para diferentes regímenes de flujo, además de vincular información hidrológica, hidráulica y biológica. La información requerida en esta metodología es moderadamente alta e incluye series históricas de caudal, variables hidráulicas de múltiples secciones transversales e información de disponibilidad de hábitat de varias especies de la biota acuática; también requiere de un alto grado de experiencia en biología, hidráulica e hidrología, entre otros. Dentro de este tipo de metodología se encuentra:

- Metodología Incremental para la Asignación de Caudales (Instream Flow Incremental Methodology – IFIM) <sup>(Ref.40)</sup>

Fue desarrollada en el Servicio de Pesca y Vida Silvestre de los Estados Unidos [Bovee y Milhous, 1978]. Es una metodología usada para evaluar los efectos de cambio del caudal en la estructura del canal, calidad del agua, temperatura y disponibilidad de microhábitat para algunas especies acuáticas. El desarrollo de esta metodología considera la integración de técnicas que involucran aspectos tan diversos como la ingeniería hidráulica y ambiental, la biología acuática, la ecología, las ciencias sociales y la química, entre otras [Espinoza et al., s.f.], razón por la cual es tan completa y usada mundialmente para evaluar la cantidad de agua que debe permanecer en la fuente hídrica después de un aprovechamiento hidráulico. El IFIM está basado en las relaciones cuantitativas (obtenidas por simulación) entre los caudales que circulan y los parámetros físicos e hidráulicos que determinan el hábitat biológico. Para modelar el rango de caudales y la disponibilidad de hábitat asociada a estos, se usa el programa PHABSIM (Physical Habitat Simulation Model), modelo computacional que calcula cuál será la profundidad de agua, velocidad y características del cauce que cambiarán si se modifica el caudal. PHABSIM fue diseñado para ser aplicado en el hábitat de peces específicamente, y requiere de información extensa y un considerable conocimiento en varias áreas para ser aplicado [Tharme, 1996], [King et al., 1999], [Palau, 2003], [Arthington y Zalucki, 1998], [Davis y Hirji, 1999]. Es un enfoque ampliamente usado en Estados Unidos [Gallagher, 1999], [Korman et al., 1994], [Susquehanna River Basin Comisión, 1998], en España [Martín y Díez, 1999], [Schoeller y Sánchez, 2005], [Olmeda y Díez, s.f.] y en algunos países latinoamericanos [Espinoza et al., s.f.]. En Colombia, Campo y Ruiz [2001] realizaron la primera aplicación de la metodología en el río Palacé en el departamento del Cauca, con el fin de determinar el régimen de caudal ambiental que debía permanecer en el mismo después de la construcción del acueducto para la ciudad de Popayán.

➤ Metodología holística <sup>(Ref.40)</sup>

Las metodologías holísticas han sido desarrolladas y muy utilizadas en países como Sudáfrica y Australia [King y Louw, 1998], [Hughes y Hannart, 2003],

[Arthington y Zalucki 1998], [Arthington, Conrick y Bycroft 1992], fundamentalmente porque en estos países existe una alta variabilidad en el régimen de caudales y se han construido grandes represas que han transformado las características hidrológicas de las cuencas. Es un enfoque que requiere información extensa y de muy alta calidad, registros históricos de caudales, variables hidráulicas y modelos que relacionen el caudal con los requerimientos de todos o algunos componentes del ecosistema y de la biota acuática, además de información económica y social. Es un enfoque nuevo y, por lo tanto, tomará tiempo para determinar su efectividad. La metodología más usada en este enfoque es la de los bloques de construcción (Building Block Methodology – BBM), desarrollada en Sudáfrica por King et al. [2000] bajo la premisa básica de que las especies fluviales dependen de elementos básicos del régimen de caudal, incluyendo caudales mínimos e inundaciones, para conservar la dinámica de sedimentos y la estructura geomorfológica del río.

La BBM está dirigida a un amplio rango de componentes del ecosistema tales como calidad estética, dependencia social del río, beneficios económicos, áreas de interés científico, protección de características a nivel cultural, recreación, etc. La BBM gira en torno a un grupo de expertos en hidrología, hidrogeología y geomorfología, así como de científicos en química, biología, entomología acuática, botánica y biología acuática, además de componentes sociales y económicos afectados directamente por el uso del recurso hídrico. En el proceso, los expertos siguen una serie de pasos, donde se evalúan los datos disponibles, se utilizan resultados de modelos y se aplica la experiencia profesional combinada para llegar a un consenso en cuanto a los bloques de construcción del régimen de caudal ambiental [Dyson et al., 2003], [Brizga et al., 2002], [Arthington et al., 1992], [Tharme, 1996], [King et al., 1999], [Palau, 2003], [Arthington y Zalucki, 1998], [Davis y Hirji, 1999]. Es una metodología muy completa pues evalúa aspectos hidrológicos, ambientales, sociales y económicos antes de definir un régimen de caudal ambiental, es decir, es una metodología basada en la participación de varios sectores y, por ende, con mayor probabilidad de sostenibilidad a lo largo del tiempo

## **2.9. Antecedentes de los Derrames en el Campo Shushuqui**

El campo petrolero Shushuqui pertenece al campo Libertador, este campo fue descubierto en la década de los 80, su primera perforación se inició el 31 de enero de 1980 y desde entonces operado por la compañía estatal CEPE, hoy Petroproducción, filial de Petroecuador. El campo Libertador tiene un total de 95 pozos perforados, las reservas totales del campo ascienden a 440.227.136 BLS N, la calidad de crudo corresponde a 29 ° API.<sup>17 (Ref.41)</sup>

La empresa estatal utilizó en sus operaciones la misma tecnología que aprendió de Texaco mientras operaron en consorcio, es decir una tecnología barata y obsoleta que ha provocado un grave impacto ambiental al ecosistema amazónico y un fuerte impacto social a la población allí asentada.

Como antecedentes ambientales negativos en este campo tenemos que han ocurrido una serie de derrames que han sido limpiados con una mala metodología que consistía en dejar enterrados los desechos de crudo en unas fosas abiertas en las orillas de los esteros y ríos afectados. Hasta la actualidad se pueden encontrar gran cantidad de fosas de donde se encuentra brotando el crudo.

### **2.9.1. Estación Shushuqui**

Toda el área que ocupa la Estación está completamente contaminada, el suelo y la vegetación están impregnados de petróleo debido a las frecuentes lluvias de crudo desde el mechero de la estación.

Los cultivos agrícolas de las fincas ubicadas alrededor de la Estación, donde hay café, cacao, plátano, pasto, maíz y frutales suelen estar bañadas en crudo, muchas de las plantas se pudren o se secan.

---

<sup>17</sup> Ref. 41. INFORME ACCIÓN ECOLÓGICA Y OILWATCH 2006

Las piscinas de la estación contienen agua y crudo en su interior y sus filos están con petróleo. Existe una laguna que se encuentra en la parte de debajo de las piscinas que también está contaminada con crudo. En toda la zona se puede percibir un fuerte olor a crudo y a sustancias químicas.

Según los propietarios de las fincas en donde se ubica la estación shushuqui el problema por contaminación son muy antiguos, como por ejemplo, los mecheros nunca funcionaron bien y cada cierto tiempo arrojan crudo pero desde julio del 1992 son más frecuente los derrames. Como se puede ver en el Cuadro 2.1

**Cuadro 2.1 Derrames en la Estación Shushuqui**

<b>Derrames Estación Shushuqui</b>		
<b>Fecha:</b>	<b>Detalle:</b>	<b>Afectación:</b>
9 de Octubre 2003	Expansión de crudo, mecheros de la estación SSQ.	Personas dueñas de los predios en un radio de 1 <sup>1/2</sup> km de la estación.
11 de Enero 2004	Expansión de crudo, mecheros de la estación SSQ.	Personas dueñas de los predios en un radio de 1 <sup>1/2</sup> km de la estación.
6 de Agosto 2004	11H30, Alta presión en la tubería	Predios Alejandro Espinoza y Esteros
31 de Agosto 2004	Derrame en la plataforma del pozo SSQ 10	Predios Sra. Gloria Vera, y Esteros

**Fuente:** Informe (ACCIÓN ECOLÓGICA) y OILWATCH 2006

**Elaboración:** Autor.

Las consecuencias de estos derrames según los propietarios de las fincas son los siguientes:

- Aparecimiento de enfermedades en los miembros de la familia, especialmente en los niños.
- Enfermedad del ganado que toma las aguas contaminadas de los esteros.
- Imposibilidad de dedicarse a la ganadería por no contar con agua limpia para los potreros.

- Disminución de la producción agrícola en la finca

### 2.9.2. Daños Ambientales

El crudo está formado por una mezcla de sustancias que son tóxicas para el medio ambiente y para la salud de la población. La mayoría de estas sustancias tienen la propiedad de bioacumularse, es decir que estos compuestos nocivos se acumulan en los tejidos vivos y de esa manera llegan al ser humano.

Un río afectado por un derrame de crudo pierde toda su capacidad de sostener flora y fauna acuática, muchas de las sustancias que contiene el crudo se depositan en los sedimentos y son de difícil degradación y fácilmente bioacumulables. Se calcula que metales pesados como el vanadio que es típico del petróleo y muy tóxico puede permanecer en los sedimentos de los ríos por lo menos unos 10 años.

No es aconsejable que después de un derrame de crudo en un cuerpo de agua, la población vuelva a utilizar esta fuente sin antes hacer un monitoreo profundo que demuestre que ya no existen indicios de contaminación con metales pesados e hidrocarburos policíclicos aromáticos y para esto se necesita mucho tiempo.

Aunque después de un tiempo de producido un derrame en un río aparezcan nuevamente peces, esto no significa que el agua ya está limpia y se puede utilizar, lo más seguro es que esos peces se encuentran contaminados y pueden provocar enfermedades en las personas que los consuman.

### **2.10. Caracterización del área afectada por el derrame en la línea de flujo del pozo shushuqui 13**

Para comprender mejor la investigación realizada por la Universidad Técnica del Norte, se presenta un breve resumen, los objetivos y el alcance que tuvo la caracterización <sup>(Ref.21)</sup><sup>18</sup>.

---

<sup>18</sup> UTN 2008 Caracterización del área afectada por el derrame de hidrocarburos.

El Ministerio del Ambiente del Ecuador convocó a las Universidades y Escuelas Politécnicas para que participen en un proceso de calificación para la realización de “Proyectos de Investigación Tecnológica Aplicada en la remediación de pasivos ambientales en las áreas petroleras de Auca, Lago Agrio, Libertador, Sacha y Shushufindi”.

La Universidad Técnica del Norte participó en dicha convocatoria y fue una de las Universidades y Escuelas Politécnicas calificadas por el Ministerio del Ambiente.

El Ministerio, a través de la Unidad Coordinadora de Proyectos; UCP, realizó un Seminario Internacional sobre biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos, al que asistieron delegados de las Instituciones de Educación Superior participantes en el proceso de calificación.

Posteriormente, la UCP realizó un taller con las Instituciones calificadas y en el que se establecieron las condiciones generales de los trabajos a realizar y se decidió que, antes de presentar un Proyecto de remediación se debería realizar una caracterización de las áreas a intervenir, para lo cual era necesario efectuar una visita a los sitios que habían sido seleccionadas por personal técnico del Ministerio como susceptibles de remediación.

En la visita realizada, se pudo apreciar la magnitud y características de los pasivos ambientales y definir el área en la que, eventualmente, participaría cada Institución Universitaria.

La Universidad Técnica del Norte presentó la documentación exigida en los términos de referencia y la oferta técnica para realizar la caracterización del área impactada por el derrame en la línea de flujo del pozo Shushuqui 13, mismas que fueron aceptadas por el Ministerio del Ambiente, procediéndose a firmar el respectivo contrato.

La unidad académica a cargo del proyecto fue la Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales (FICAYA), en tanto que la parte operativa fue realizada por el Centro de Tecnologías Ambientales (CETA) de la Facultad.

### 2.10.1. Objetivos

#### 2.10.1.1. Objetivo General

Realizar la caracterización integral del área afectada por el derrame de petróleo producido por la ruptura de la línea de flujo del pozo Shushuqui 13, en el área Libertador.

#### 2.10.1.2. Objetivos Específicos

- Obtener información sobre el derrame
- Conseguir la aceptación y participación de la comunidad
- Identificar la realidad socio-económica de la zona
- Realizar la caracterización físico-química y microbiológica de suelos, aguas y sedimentos ubicados en la zona afectada por el derrame
- Construir un inventario de especies vegetales y animales nativos
- Identificar posibles impactos en cultivos agrícolas y animales domésticos
- Procesar la información obtenida para obtener mapas temáticos

#### 2.10.1.3. Alcance Técnico

La caracterización del área afectada por el derrame tiene los siguientes alcances:

- Historial del derrame: volumen de crudo derramado, características físico químicas del mismo, acciones de manejo y control del evento, etc.
- Niveles de contaminación prevalecientes en suelos, aguas y sedimentos afectados.
- Estado de la población animal, vegetal y microbiología del área.
- Efectos detectados en cultivos y animales domésticos.

- Potenciales efectos sobre los habitantes aledaños al área.
- Disponibilidad y aceptación de la comunidad para participar en el proyecto y en la capacitación para la remediación de pasivos.

#### 2.10.1.4. El PRAS y la Caracterización del Área afectada por el Derrame

Mediante Acuerdo Ministerial No 033 de 12 de marzo de 2008, publicado en el Registro Oficial de 301 de 25 de marzo de 2008, se constituye la Unidad del Equipo Gestor del PRAS con el objeto de que se desarrollen y ejecuten las políticas emanadas del Despacho Ministerial y lleve adelante la reparación de pasivos ambientales y sociales provenientes de actividades hidrocarburífera y mineras, para lo cual efectuará actividades de gestión técnica, administrativa y financieras de proyectos a nivel nacional.

El Proyecto de Reparación Ambiental y Social tiene como propósito ejecutar planes programas y proyectos que fortalezcan las capacidades locales (gobiernos, instituciones locales y sociedad civil) en las zonas afectadas, para desarrollar acciones coordinadas orientadas a prevenir la ocurrencia de nuevos daños ambientales y sociales asociados a la industria del petróleo y la minería, remediar sus impactos negativos en la población y los ecosistemas, utilizando estratégicamente los recursos en la perspectiva de lograr la restauración ecológica, es decir la recuperación de cada uno de los componentes ambientales y sociales que se encuentran degradados a causa de actividades humanas, hasta un estado estable y autosuficiente<sup>(Ref.21)</sup>.

En relación a la participación de las Universidades del país en los procesos de evaluación, manejo y solución de problemas ambientales, el artículo 17 de la Ley del Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología señala, en el literal (s) que este Sistema deberá: “ Financiar y promover la investigación científica y tecnológica que permita cuantificar, prevenir, controlar y reponer el deterioro ambiental; y, desarrollar tecnologías alternativas, métodos, sistemas, equipos y dispositivos, que

aseguren la protección del medio ambiente, el uso sustentable de los recursos naturales y el empleo de energías alternativas."

En el caso específico de la caracterización y remediación de áreas afectadas por derrames petroleros, a más de los aspectos legales mencionados se deberán tomar en cuenta las disposiciones establecidas en el RAOH 1215, principalmente en los artículos 16 y 59 y en el Anexo 1-2 del Libro VI del TULAS.



### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

En este capítulo se presentan los procedimientos, técnicas, equipos y materiales usados para obtener información sobre el diagnóstico de la microcuenca del Río San Vicente, la recopilación de datos muy importantes como es la precipitación y la temperatura dentro de esta zona, para llegar a identificar el tipo de zona de vida, como también que trabajos se realizaron para llegar a determinar un régimen hidrológico.

#### 3.1. Materiales

**Cuadro 3.1** Materiales y Equipos empleados en la Investigación

<b>MATERIALES:</b>	<b>EQUIPOS:</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>➤ Cartas topográficas digitales</li><li>➤ Fotografías aéreas</li><li>➤ Imágenes satelitales</li><li>➤ Botas de caucho</li><li>➤ Impermeables</li><li>➤ Base de datos georeferenciadas</li><li>➤ Software Arc Gis 9.3</li><li>➤ Libreta de campo</li><li>➤ Flexo metro</li><li>➤ Manguera transparente 30 m</li><li>➤ 1 Cinta adhesiva</li><li>➤ Limnímetros</li><li>➤ Recipientes plásticos</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>➤ Cámara fotográfica</li><li>➤ GPS, Garmin 60 CSx</li><li>➤ Estación meteorológica digital - HOBO Micro Station</li><li>➤ Computador portátil</li><li>➤ Impresora</li><li>➤ Molinete para medición de caudales -Rickly Hidrological Co.</li><li>➤ Vertedero 90 grados (caudal)</li><li>➤ Cronómetro</li><li>➤ Nivel láser</li><li>➤ Medidor láser</li></ul>

### **3.2. Métodos**

La metodología para determinar el régimen hidrológico de la microcuenca San Vicente, consta de 2 fases: una fase de campo en donde se recopilan datos, y otra en donde se realizó el análisis de los diferentes parámetros, caudales diarios y mensuales, obtenidos en el campo.

#### **3.2.1. Caracterización del Área de Estudio**

La caracterización del área, se basa en parte, en el estudio realizado por el CTT, ya que en este lugar, es donde se trabaja con el proyecto de remediación ambiental producto del derrame de crudo, y otra fase es la que tuvo que realizarse para comparar los medios bióticos y abióticos existentes en esta zona, para con toda la microcuenca del río San Vicente.

##### **3.2.1.1. Geología**

Para determinar las unidades litológicas se realizó un recorrido por toda el área de influencia, en donde se identificaron los diferentes tipos de suelos, determinando las propiedades físico-mecánicas que se observaron en los cortes de las vías y de los diferentes drenajes.

##### **3.2.1.2. Geomorfología**

Se empleó el mapa base, en el que se realizó un DTM (Modelo Digital del Terreno), para determinar las diferentes geoformas y el tipo de ambiente; mediante las curvas de nivel y la red hidrográfica se procedió a elaborar el mapa de pendientes, empleando en los dos casos como herramienta el Sistema de Información Geográfica ArcGIS 9.3, para luego comprobar y verificar en campo.

#### 3.2.1.3. Clima

Para la caracterización climática se utilizó los registros de las estaciones pluviométricas del INAMHI localizadas en: Lago Agrio Aeropuerto, El Coca Aeropuerto, Tena, Nuevo Rocafuerte y la estación Shushuqui.

Los datos de temperatura y precipitación de estas estaciones fueron empleados para realizar el diagrama Ombrotérmico perteneciente a esta área.

#### 3.2.1.4. Hidrología

Para el análisis del recurso hídrico se procedió a identificar y delimitar las diferentes unidades hídricas y programar los sitios de aforo, los mismos que fueron georeferenciados para su posterior monitoreo, y luego efectuar los cálculos para determinar los caudales con que cuentan estas unidades, mediante el empleo del método de aforo con el molinete electrónico, vertedero, volumétrico y flotador.

#### 3.2.1.5. Paisaje

Mediante la determinación de cuencas visuales, se determinaron los diferentes tipos de paisajes presentes en el área y el grado de deterioro que ha sufrido este recurso por las diferentes actividades antrópicas, como son la actividad hidrocarburífera, expansión de la frontera agrícola, y deforestación entre las de mayor relevancia.

#### 3.2.1.6. Flora

Para este componente se tomo en cuenta la caracterización realizada por el centro de transferencia de tecnologías, y en seguida se procedió a identificar y a corroborar las especies encontradas en los recorridos realizados para la

georefenciación y durante la realización de aforos en diferentes puntos de la microcuenca.

#### 3.2.1.7. Fauna

En general fue registrada mediante observación directa, durante la fase de campo que tuvo aproximadamente una duración de seis meses. Por lo que también se cuenta con fotografías de la fauna presente en la microcuenca.

#### 3.2.1.8. Mastofauna

Se la realizó mediante la observación directa como también el avistamiento de huellas, madrigueras que fueron encontradas durante la fase de investigación en la microcuenca.

#### 3.2.1.9. Peces, Anfibios y Reptiles

Se realizó mediante observación directa por los principales senderos del área y durante los aforos que se realizaron todos los días en los esteros que fueron tomados en cuenta para la medición de caudales.

### 3.2.2. Topografía y Cartografía del Área de Influencia

#### 3.2.2.1. Topografía

El equipo para realizar el levantamiento topográfico fue una estación total, la misma que fue alquilada por una semana para realizar este trabajo. (Ver fotografía 3.1)



**Fotografía 3.1 Estación Total SOKKIA – SCT6 – D22852**

Partes de la estación total SOKKIA:

- Trípode
- Lente óptico
- Teclado
- Calantes
- 3 Niveles
- Prisma

El levantamiento topográfico y planimétrico de la zona se la realizó tomando medidas cada 20 m, debido a la pendiente que existe en el área.

La estación toma datos de altura y distancias de los diferentes declives que tiene la zona.

Con el programa de Auto CAD, las cotas para este levantamiento se las realiza cada metro, dependiendo del detalle necesario.

#### 3.2.2.2. Niveles de Inundación

Con los resultados obtenidos del levantamiento topográfico, se identificó los niveles de inundación que tiene cada una de las cotas en el área de trabajo.

### 3.2.2.3. Cartografía

Para realizar la cartografía del área, se trabajó con las personas, dueñas de los predios, en donde se encuentran localizada la microcuenca, como se muestra en el Cuadro 3.2.

**Cuadro 3.2** Personas dueñas de los predios

Personas dueñas de los predios, en donde se encuentra ubicada la microcuenca	
<b>Estero 1</b>	<b>Estero 2</b>
Sr. Alejandro Espinoza	Sr. Alejandro Espinoza
Sr. Teodoro Vera	Sr. Ángel Paladines
Sra. Gloria Vera	Sr. Ángel Romero
Sr. E. Cabrera	Sr. Hugo Calva

*Fuente: El Autor*

En esta investigación, se tuvo que pagar los diarios de los dueños de los predios, ya que por la exuberante vegetación predominante en el área, no se podía ingresar al cauce principal para realizar la georeferenciación, por lo que se tuvo que cancelar a estas personas, ya que conocían por donde era de ingresar a la corriente que tenían los esteros.

La georeferenciación se la realizó siguiendo la corriente de los esteros aguas arriba, y mediante el uso del GPS GARMIN, los datos fueron grabados y anotados en una libreta de campo, aproximadamente cada 10 metros dependiendo del fraccionamiento que tenía el cauce principal, (Ver Fotografías 3.2 (1) y (2))



**Fotografías 3.2 Georeferenciación de la Microcuenca “San Vicente”**

En las fotografías 3.2, se puede observar la toma de puntos GPS, por donde pasa el flujo de agua de los esteros de la microcuenca.

3.2.2.4. Procedimiento para la Delimitación.

Se utilizó el programa Arc Gis 9.2

Para la delimitación de la microcuenca se utilizó puntos GPS relevantes los cuales fueron tomados en el campo, para la Georeferenciación.

Con la herramienta de Arc Catalog se crea un Shapefile con el nombre de Límite de la cuenca, tipo polígono.

Con el programa Arc Gis 9.2 se georeferenció la fotografía aérea y los puntos GPS, para esto se empleó la barra de Georeferencing.

Luego con la herramienta Sketch Tool de la barra de Editor, se delimita la microcuenca, tomando en cuenta la divisoria de aguas que se pudo observar en la fotografía aérea.

### Para generar vías

Utilizando una información ya elaborada en la caracterización del proyecto de remediación del pozo Shushuqui 13, se procedió a agregar la Vía de segundo orden, la misma que cruza por la microcuenca del Río San Vicente, en el programa de Arc Gis, luego se digitalizó con la fotografía ya georeferenciada, los caminos a los diferentes pozos de petróleo. Para esto se utilizó la barra de editor.

### Para los esteros

Con la ayuda de los moradores de la comunidad de Shushuqui.

- 1.- Se desbrozó las parte por donde van las corrientes del río.
- 2.- Con el GPS se tomó puntos cada 10 metros, siguiendo el curso de aguas arriba, hasta llegar a donde nace la vertiente de agua, en los diferentes esteros.
- 3.- Con el GPS se tomó puntos en donde existía zonas o áreas de inundación.
- 4.- Los puntos obtenidos con el GPS fueron digitalizados en el programa de Excel y guardados como documento compatible 97- 2003, para que estos luego ser utilizados en el programa de Arc Gis.

En Arc Catalog, se crea un Shapefile con el nombre Ríos, tipo Poli Line.

Con la herramienta Sketch Tool de la barra de editor se procede a unir los puntos, tomados anteriormente.

El mapa base fue digitalizado en la zona 18 sur, con escala 1 7500 en formato A4.

### Para generar orden de las corrientes

Utilizando los ríos del mapa base se procede a ubicar el orden de los ríos.

### Clasificación de los cursos de agua

Vamos a utilizar la clasificación definida por SCHUM que define a los cursos de agua a partir de la regla muy simple:

Es de orden  $X+1$  cualquier curso de agua formado por la unión de 2 cursos de orden  $X$ . (Ref. 1)

### Para generar puntos de contaminación

Con la ayuda de los propietarios de los predios afectados por la contaminación de crudo, en la parte alta de la microcuenca, se pudo obtener puntos de pasivos ambientales, los mismos que fueron digitalizados al programa de Microsoft Excel y guardados como documento compatible 97- 2003, para que estos puedan ser utilizados en el programa de Arc Gis.

En Arc Catalog, Se crea un Shapefile con el nombre Pasivos Ambientales tipo point.

El mapa de contaminación fue digitalizado en la zona 18 sur, con escala 1 7500 en formato A4.

### Parámetros Geométricos y Morfométricos.

Con la utilización de fórmulas establecidas por el CIDIAT, 1984 (Ref. 5), para el manejo de Cuencas Hidrográficas; se calcularon los parámetros geométricos y morfo métricos de la microcuenca: (Área, perímetro, longitud axial, ancho promedio, índice de compacidad, profundidad de la cuenca, forma de la cuenca, coeficiente de compacidad, índice asimétrico, densidad de drenaje, coeficiente de torrencialidad, pendiente media y orientación de la cuenca).

### 3.2.3. Metodología para la obtención de Parámetros Meteorológicos

#### 3.2.3.1. Implantación de la Estación Meteorológica

Construcción de la Base.- En donde se utilizó materiales como:

Arena, Ripio y Cemento. (Ver fotografías 3.3)



**Fotografía 3.3** Construcción de la Base de la Estación Meteorológica

En las fotografías 3.3 se muestra la base, la cual es muy importante para tener una estabilidad con la estación, evitando tener movimientos imprevistos.

#### Celda de seguridad



**Fotografía 3.4** Colocación de la Celda de seguridad

En las fotografías 3.4 se muestra la celda de seguridad para la estación, en donde se utilizó materiales como tubos y malla electro soldada, para proteger a la estación meteorológica de cualquier ingreso, inoportuno e inconveniente a la misma.

#### Nivelación y colocación de varilla de cobre

Esta celda fue nivelada, para el correcto funcionamiento del pluviómetro, como también se colocó una varilla de cobre para evitar cualquier inconveniente, ocasionado por las fuertes descargas (rayos). (Ver Fotografías 3.5)



**Fotografía 3.5** Colocación de la Estación Meteorológica en la Celda de Seguridad

#### Colocación de la Estación Meteorológica

Luego de tener la seguridad necesaria para el equipo, la estación meteorológica fue colocada, y entro en funcionamiento el 11 de enero del 20009. (Ver fotografía 3.6)



**Fotografía 3.6 Estación Meteorológica HOBO® Micro Estacion**

La obtención de los datos a partir de esta fecha se la realizó todos los días.

#### 3.2.3.2. Funcionamiento de la Estación Meteorológica

##### Mini estación meteorológica<sup>19</sup>

El HOBO Micro Station es un registrador de datos de cuatro sensores diseñados para aplicaciones que requieren el seguimiento de varios canales de microclimas en uno o más lugares.

Las principales características de los sensores inteligentes incluyen:

##### Detección automática

No hay una programación extensa, el cableado, o calibración se requiere para configurar los sensores.

##### Fácil expansión

Debido a que el registrador no es pre-configurado, hasta cuatro sensores de cualquier tipo o combinación se pueden añadir simplemente conectando en antes de ingresar comienza.

---

<sup>19</sup> Manual de la estación “HOBO Micro Station”

### Red digital

Las conexiones entre los sensores inteligentes y la caja de recepción son digitales, asegurando la precisión en la recolección de datos fiables y de almacenamiento.

### Resistencia a la intemperie

Una junta de silicona alrededor del borde de la caja mantiene la humedad, mientras que existe un orificio de ventilación para el caso de respiración.

#### 3.2.3.3. Sensores de la Estación Meteorológica

- 1.- Sensor de Temperatura y humedad relativa Smart (S-THB-MOOx)
- 2.- Sensor de presión barométrica Smart (Parte # S-BPA-CM10)
- 3.- Sensor de lluvia Indicador inteligente (Parte # MOXX RGA, RGB MOXX)
- 4.- Sensor De silicio Piranómetro Smart (Parte # S-LIB-M003)

### Montaje de la mini estación meteorológica

La Estación HOBO Micro se suministra parcialmente ensamblada. En esta sección se explica cómo montar el registrador, conectar los sensores inteligentes, y realizar una prueba rápida.

#### Elementos necesarios

Para configurar la estación de Micro se necesita lo siguiente:

- De uno a cuatro sensores inteligentes.
- Un destornillador Phillips.
- Destornillador plano o una moneda pequeña.
- Pluma, lápiz, o un instrumento como otros Ajustable de 8 pulgadas o 10 pulgadas, Llave inglesa.

- Utilidad o navaja.
- CABLE-PC-3.5 del ordenador con software.
- Registrador inteligente e instrucciones de configuración del sensor.

### Procedimiento

1. Insertar cuatro pilas AA alcalinas o baterías de litio.
2. Colocar la correa de la batería / o de las pilas.
3. Con una llave inglesa, quite la tuerca de la cúpula de la glándula de relleno en el puerto del sensor.
4. Empujar la inserta ranura de la parte interior de la caja. Puede que tenga que empujar el inserto raja a cabo utilizando un bolígrafo (tope final), lápiz (el borrador), o un instrumento como otros.
5. Algunos sensores tienen un dispositivo anti-engancharse en el conector. Si alguno de sus sensores tiene este dispositivo, compruebe que el conector se ajusta a través de la glándula de relleno.
6. Insertar los conectores del sensor a través de la tuerca de la cúpula. La parte roscada de la tuerca de la cúpula debe estar mirando hacia el conector. Luego, deslice los cables a través de la glándula y el relleno a través del agujero en el caso. Empuje los cables en el inserto de hendidura.
7. Conectar los sensores en el registrador. Ajuste la longitud del cable si es necesario por lo que no es el exceso de cable dentro de la caja.
8. Si se está utilizando menos de cuatro sensores, agregar el cable de la junta (s) para tapar el agujero vacío (s) en la inserción de hendidura.
9. Aplicar un poco de grasa de silicona a las rendijas en el inserto.
10. Presionar el inserto en la abertura posterior de la glándula relleno. Empujando la inserción de hendidura con un ligero ángulo y con un toque ligero.
11. Atornillar la tuerca de la cúpula en la glándula relleno; apriete a mano, y luego un giro adicional de 1/2 a 3/4 con una llave ajustable. La tuerca de la cúpula debe ser ajustada, pero no debe apretarse mucho.
12. Desde la parte posterior de la glándula relleno, llenar el vacío interior con grasa de silicona en el paquete.

13. Retirar el paquete de desecante de su bolsa de aluminio y colóquelo dentro de la caja registrador para minimizar la condensación interna.

14. Aplicar grasa de silicona en el borde exterior de la caja donde la cubierta se encuentra con la vivienda. La grasa se debe aplicar con moderación en esta ubicación.

15. Tornillo de la cubierta transparente de nuevo en el caso. Utilizar un destornillador Phillips para apretar los cuatro tornillos de la tapa.

### Prueba del registrador

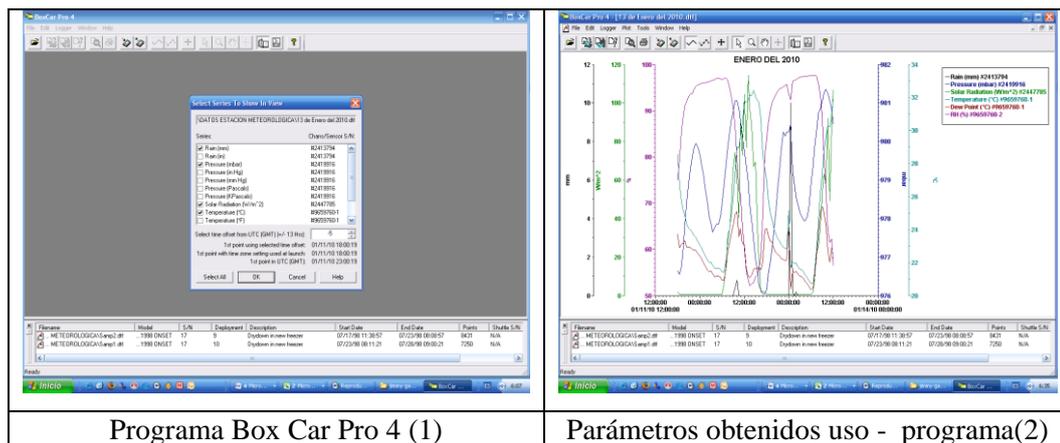
Se recomienda probar el registrador antes de colocar en el campo.

### Para probar el registrador:

1. Utilizar un destornillador o moneda pequeña para destornillar el puerto de acceso a datos tapa.
2. Insertar el cable de interfaz PC a través del puerto de acceso a datos y conectarlo en el puerto de comunicaciones en el registrador.
3. Usando el software registrador, seleccione el icono de Inicio.
4. Asegúrese de que todos los sensores estén conectados y visible en la pantalla de inicio.
5. Elija un intervalo de registro de unos segundos para tener una prueba de rendimiento de datos suficientes para mirar. Seleccione el registro de opción de empezar ahora y haga clic en el botón Inicio para iniciar el registrador.
6. Después de un par de minutos, dar lectura al registrador. Se puede optar por que el registrador siga su lectura cada cierto intervalo de tiempo.
7. Revisar los datos y asegurarse de que todos los sensores funcionen con normalidad.

### 3.2.3.4. Descarga de datos de la Estación Meteorológica

La mini estación cuenta con un software llamado Box Car Pro 4, el cual fue instalado dentro del computador portátil para poder realizar la descarga de los parámetros necesarios para esta investigación. (Ver Anexos Microsoft Excel 2007 CD, CTT - FICAYA) (Ver gráfico 3.1)



***Gráfico 3.1 Datos de la Estación Meteorológica programa Box Car Pro 4***

En el gráfico 3.1 (1) se muestra el programa instalado dentro del computador, el cual realiza el gráfico automáticamente de los parámetros, con la escala respectiva (2).

Los datos obtenidos de la estación fueron cada media hora. (Ver Anexos, Microsoft Excel 2007. CD CTT - FICAYA).

### 3.2.3.5. Análisis de Parámetros obtenidos en la Estación Meteorológica

Los parámetros obtenidos fueron:

- × Precipitación
- × Temperatura
- × Presión atmosférica
- × Humedad relativa

- ✘ Punto de rocío
- ✘ Radiación solar

La mini estación meteorológica se la programó, para que registre los datos de los parámetros en un tiempo de 30 minutos. Por lo que la tabulación se la realizo cada semana.

### Obtención de la Información

En las estaciones pluviométricas pueden realizarse tres tipos de registros: tres observaciones diarias (07, 13 y 19 horas), dos observaciones (07 y 19 horas) o una observación (07 horas).

La obtención de información de la estación meteorológica se realizó todos los días a partir de las 16h30, ya que la estación tiene la capacidad de almacenar toda la información hasta un promedio de 6 meses.

### Procesamiento de la Información

Para el procesamiento de los datos y la obtención de los valores medios, sumas o extremos mensuales, se han seguido normas para cada parámetro; así:

#### Temperatura

Los valores estadísticos mensuales de temperatura se obtienen con un mínimo de 20 días de registro de observaciones.

En cuanto a temperaturas extremas, se obtienen las medias mensuales y los valores extremos absolutos de los registros diarios.

#### Humedad Relativa

Los valores de humedad son calculados en base de los datos de los termómetros seco y húmedo, mediante las ecuaciones psicrométricas. Igualmente, los resúmenes mensuales se obtienen con un mínimo de 20 días registrados.

Al igual que la humedad relativa, la presión y el punto de rocío, se calcula el valor medio diario en base a los registros diarios, luego se obtiene la media mensual en base a éstos.

Los valores extremos de Humedad Relativa, corresponden a la búsqueda de los datos de humedad calculados para cada una de las observaciones del psicrómetro (sensor); de la misma manera, los correspondientes valores a punto de rocío.

#### Precipitación y Evaporación.

Para el cálculo del valor en 24 horas, se requiere fundamentalmente la observación de las 07 horas ya que, siendo un proceso acumulativo, se puede no registrar los datos de las 13 horas y/o de las 19 horas, valores que se acumulan en el registro de las 07 horas del día siguiente; pero, si no se realiza esta última observación, el valor acumulado para la próxima observación corresponderá al valor total del día incluyendo una parte del valor del siguiente día, dejando de ser por tanto, un valor en 24 horas.

La máxima en 24 horas, se obtiene únicamente si ha sido posible calcular el valor en 24 horas para todos los días del mes y corresponde a un dato puntual, considerado el máximo absoluto. Los resúmenes mensuales se obtienen con un mínimo de 20 días registrados.

El valor de la evaporación corresponde a la diferencia entre la evaporación potencial que se obtiene del tanque de evaporación y el valor de la precipitación registrado en el pluviómetro.

### 3.2.4. Metodología para Aforar o Medición de Caudales

La medición de un caudal o aforo de un río consiste en determinar el volumen de agua que pasa por una sección transversal del mismo, en un determinado periodo de tiempo. <sup>(Ref. 13)</sup>

#### 3.2.4.1. Sección de Aforo

Para realizar un aforo se debe de escoger primero una adecuada sección transversal la cual reúna los siguientes requisitos:

- Situada sobre un lecho fluvial en lo posible recto.
- Sección preferentemente uniforme.
- Pendiente regular a lo largo del tramo.
- No existan islotes que interfieran en la regularidad de la sección.
- No exista un sitio desbordante.
- No coincida con la llegada de caudales afluentes.
- La sección a medir abarque la totalidad del caudal, verificando que no existan ramificaciones del cauce aguas arriba.
- No existan sectores de zonas muertas, contracorrientes, remolinos, o que sean lechos fangosos.

#### 3.2.4.2. Técnicas de Aforo

Existen diferentes técnicas para realizar aforos, la utilización de estas depende de las características del río a aforar, de la precisión que se requiera, y de la tecnología con la que se cuente. <sup>(Ref. 13)</sup>

Los más utilizados:

- a. Molinete electrónico.
- b. Aforo utilizando Vertederos.
- c. Aforo con flotadores.

- d. Método volumétrico.
- e. Aforo Químico, entre otros.

Para realizar esta investigación se empleó, los 3 primeros métodos.

#### 3.2.4.3. Molinete Electrónico

Es un aparato de precisión que mide la velocidad del agua en los puntos de una sección transversal; que consta de un cuerpo principal portador de una hélice y un contador electrónico de revoluciones de una barra graduada o de un cable que sirve para introducirle en el agua. <sup>(Ref. 1)</sup>.

#### Instrucciones para el uso

1. Pulsar el botón ON / SELECT para encender la unidad.
2. Presionar el botón ON / SELECT para desplazarse por el tipo de medidor utilizado y los tipos de medición. Las opciones son:
  - a. Medida Métrica: 1-2
  - b. Medidor de Corriente de los pimeos / Medida Métrica: 2-2
3. Pulsar el botón COUNT / STOP para confirmar la selección de metro, y el tiempo de medición. A partir de aquí, el proceso de selección se centrará en los ajustes del temporizador.
4. Pulsar el botón ON / SELECT para desplazarse por la cantidad de tiempo necesario para contar. Contador de tiempo predeterminado es de 40 segundos.
5. Pulsar el COUNT / STOP para iniciar el proceso de escrutinio.
6. Cuando el tiempo ha alcanzado el límite de temporizador, la señal final se recibe y se verifica la cantidad de vueltas obtenidas por las aspas.

7. Pulse el COUNT / STOP para calcular la fórmula y VELOCIDAD pantalla. Nota presionando el botón ON / SELECT se puede saltar este ultimo paso y volver a realizar otra medición. <sup>(Ref. 17)</sup>

### Las revoluciones y velocidad del medidor transmitidas por corriente

Una medida transmitida por la corriente, es la de revoluciones, y otra es la velocidad en metros/segundos de las aspas, la suma de los productos de estas mediciones en estas áreas parciales de la sección de flujo transversal, representan el caudal.

La fórmula<sup>20</sup>:

$$Q = \Sigma (A.V) (1)$$

En donde Q es la descarga total, cada sección A es un área transversal parcial, y V es la velocidad media correspondiente al flujo normal de la zona parcial.

#### ➤ Método Sección Media

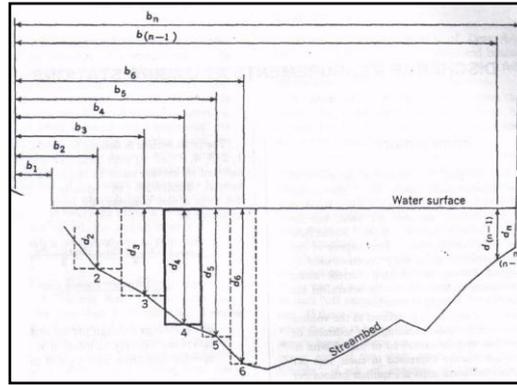
Se realiza una medición transmitida por corriente de las revoluciones, en cada punto del área rectangular (Fig. 3.1).

El área se extiende lateralmente desde la mitad de la distancia a la siguiente y verticalmente, y desde la superficie del agua a una profundidad.

La sección transversal se define por las profundidades en los lugares 1, 2, 3, 4... n. En cada lugar, las velocidades son muestreados por el medidor transmitidas por corriente, para obtener la media de la distribución vertical de la velocidad. La descarga parcial es ahora calculada para cualquier sección parcial.

---

<sup>20</sup>Fórmula del caudal: Método de Molinete Electrónico



**Fig.3.1. Método Sección Media**

### EXPLICACIÓN

1, 2, 3...n      Puntos de observación

b1, b2, b3,..    Distancia, desde el punto inicial hasta el punto de observación.

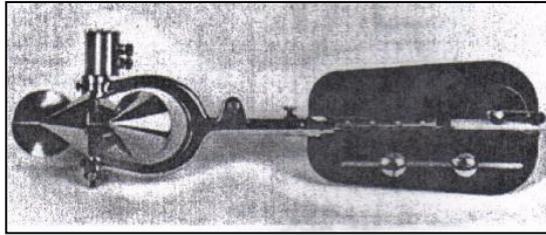
d1, d2, d3, ...    Profundidad de agua, en el punto de observación.

Las líneas discontinuas de Límites de las secciones parciales, indican el texto del método de la sección media.

Para el ejemplo que se muestra en la figura 3.1,  $Q_1$  es cero debido a la profundidad en el punto de observación 1 es cero. Sin embargo, cuando el límite de la sección transversal es una línea vertical en el borde del agua como en  $n$  localización, la profundidad no es cero y la velocidad en esta sección final puede o no puede ser cero. La fórmula para  $Q_1$  o  $Q_n$  se utiliza cuando hay agua presente en un solo lado de un punto de observación, como en los muelles, pilares, y las islas. Por lo general, es necesario estimar la velocidad en una sección del extremo, como un porcentaje de la sección adyacente, ya que normalmente es imposible medir con precisión la velocidad con el medidor de corriente cerca de una frontera.

La suma de las descargas para todas las secciones parciales es la descarga total de la corriente.

En seguida se muestra el medidor de corriente



**Fig. 3.2** Molinete Pigeo de cazoletas

En la figura 3.2 se muestra el medidor de corriente, que consta de una rueda de cangilones, montada en un eje vertical, que gira al quedar suspendida en agua corriente.

Generalmente la rueda que gira lleva unas aspas o copas sobre las cuales el agua al chocar ejerce una fuerza que le imprime movimiento de rotación, tanto más rápido cuanto mayor sea la velocidad de la corriente. Para contar el número de vueltas que da la rueda, se utilizan diversos sistemas, siendo el más práctico el eléctrico, que transmite una señal perceptible a un audífono o a una linterna, cada cierto número de vueltas de la rueda, en este caso a un contador automático en donde se puede calcular directamente la velocidad que tiene el agua por dicha sección.



**Fig. 3.3.** Contador automático

La figura 3.3 se muestra el contador automático, el cual calcula la velocidad en función al número de revoluciones de las aspas, en un tiempo aproximado de 40 segundos.



**Fig. 3.4** Varilla soporte del Molinete Pigeo

En la figura 3.4 se muestra la varilla de soporte, en donde van suspendidas las aspas, las cuales rotan en función a la velocidad de la corriente.

#### Procedimiento de medición

La medición consistió en seleccionar un alcance de corriente que contiene las siguientes características:

1. Ubicar un tramo recto con los hilos de la velocidad paralelos uno a otro.
2. Establecer en un lugar del cauce, libre de grandes rocas, maleza, y obstáculos que sobresalgan, como muelles, que darían lugar a la turbulencia.
3. Tener en cuenta que debe existir una semejanza en el perfil del cauce para eliminar componentes verticales de la velocidad.

Normalmente no es posible satisfacer todas estas condiciones. Por lo que las mediciones se las realizó tomando en cuenta estos criterios y seleccionando una parte transversal de los esteros.

Además de esto, se determinó el ancho de la corriente y se colocó una línea de etiquetas o la cinta de medición para las próximas mediciones.

La medida ideal es aquella, en la que ninguna sección parcial tenga más del 5 por ciento de la descarga total del río, pero esto muy rara vez se logra, por lo que el número de mediciones realizadas en estos esteros, fue un trabajo riguroso y preciso.

Las secciones parciales por lo general, deben estar bien distribuidas a lo largo de la sección transversal, es decir deben tener la misma anchura, a menos de que exista inconvenientes y no se puedan realizar cambios de puntos de aforo.

Por lo general, una descarga aproximada se puede obtener de la curva de nivel-caudal. Para lo cual se debe ubicar las verticales para la descarga, cada vertical es de aproximadamente 5 por ciento de la descarga de la curva de gastos.

#### Hoja de registro del caudal

La información requerida para cada registro de la medición del caudal debe constar de: (Ver Anexo2. Hoja 2)

1. Nombre de la corriente y la correcta ubicación de la estación de aforo establecida, o el nombre de la corriente y las ubicaciones exactas del sitio para una o varias mediciones.
2. Fecha en la cual se realizó el Aforo.
3. Medición de la hora en la que se comenzó a utilizar el molinete, hora militar.
4. Banco de la corriente que fue el punto de partida.
5. Reconocer las condiciones.
6. Anotar las alturas y los tiempos correspondientes.
7. La temperatura del agua.
8. Cualquier otra información pertinente sobre la exactitud de la medición de descarga y las condiciones que puedan afectar a la relación nivel-caudal.

Para identificar la secuencia de banco ya sea por el borde izquierdo de agua o el borde derecho de agua, respectivamente esta se hace frente a aguas abajo.

Registrar el tiempo, periódicamente, durante el transcurso de la medición. Esto es importante, porque si hay algún cambio apreciable en el escenario durante la medición, el tiempo es necesario para determinar la medida de altura media de la medición.

Cuando la medición se completa, registrar el tiempo y la orilla del arroyo donde se encuentran los extremos de la sección transversal.

Indicar en la hoja de notas la distancia desde el punto inicial hasta el borde del agua. Medir y registrar la profundidad en el borde del agua.

### Medidores de Corriente

#### **✘ Medidas Vadeando**

Para nuestro caso siempre se utilizó el medidor electrónico AA o medidor pigmeo, para vadear las mediciones en pequeñas profundidades, como se presentaron en los esteros que forman el río San Vicente.

Se debe tener en cuenta que la posición al pararse, no afecte la velocidad del agua que pasa por el medidor de corriente; la posición generalmente se obtiene frente al banco (varilla de soporte), con el agua que fluye en el lado de la pierna.

La varilla debe de sostenerse de la parte en donde se encuentren la línea de etiquetas.

Cuando existe pequeños arroyos o esteros con cantidades mínimas de caudal, y en donde la anchura lo permita de pie sobre una tabla de apoyo o de otro tipo en lugar de en el agua.

Se debe mantener la barra en posición vertical paralela a la dirección del flujo, mientras se registra la velocidad. Si el flujo no es perpendicular a la línea de etiquetas, medir el ángulo coeficiente con cuidado.

Durante las mediciones de corrientes, las depresiones dejadas por los pies pueden afectar sondeos o velocidades. En general, el instrumento de medición por delante y arriba de los pies.

Para las mediciones de la descarga del flujo demasiado pequeñas se debe medir con un medidor de corriente de utilizar un método volumétrico, aforador Parshall, o una placa vertedero.

#### Montaje y desmontaje del medidor corriente.

##### **✘ Montaje del medidor de corriente:**

1. Colocar el eje y apretar el tornillo de fijación que mantiene en su lugar.
2. Colocar la cámara de contacto sobre el extremo del eje y en su agujero en la parte superior del brazo de la horquilla. Haga esto despacio y con cuidado sin aplicar mucha fuerza, de lo contrario el equipo penta o el eje puede resultar dañado.
3. Hacer coincidir con las marcas en la cámara de contacto y el yugo, y apretar el tornillo de la cámara de contacto en su lugar.
4. Comprobar los hilos de contacto. El ajuste de ambos el uno y los cables en contacto con penta-deben ser examinados para asegurarse de que los ajustes sean lo más ligeros posible, sin perjudicar el contacto eléctrico.
5. Compruebe el funcionamiento del medidor de corriente con una prueba de giro.

##### **✘ Desmontaje del medidor de corriente:**

1. Soltar la tuerca de fondos.
2. Soltar los dos tornillos de fijación en el yugo, de la cámara de contacto y el pivote en su lugar con el dedo índice y el pulgar.
3. Retirar la cámara de contacto del yugo lenta y cuidadosamente.
4. Retirar el pivote del yugo.

Como parte fundamental para el funcionamiento del molinete se debe tener en cuenta estas precauciones:

- 1.- Limpieza de cada una de las partes, luego de haber sido utilizado.
- 2.- Colocar aceite, principalmente en el eje y en la parte de rodamiento.

**NOTA:** La rueda de cangilones nunca se debe girar, la tuerca de aumentar mantener inmóvil, ya que este método puede causar varias vueltas en exceso que puede dar lugar a la inclinación del eje o convertirse en el yugo de ser suspendida, por lo que daría lugar a errores. (Ver Fotografía 3.7)



**Fotografía 3.7 Molinete electrónico Rickly Hidrological Co.**

En la fotografía 3.7 se muestra al molinete realizando una medición de la velocidad de la corriente, que pasa por un lado del estero de la microcuenca.

#### 3.2.4.4. Aforo utilizando Vertederos

Los vertedores de pared delgada son estructuras de medición de caudales de alta precisión, cuando funcionan en condiciones apropiadas, y usualmente son empleados para el aforo de caudales a nivel de la red de distribución y en parcela.

#### **Ventajas**

- Medición precisa para un amplio rango de caudales.

- Fácil construcción e instalación en canales de tierra.
- Económico.

### **Desventajas**

- Ocasiona una fuerte pérdida de carga.
  - Muy mala capacidad para el paso de sedimentos y material flotante arrastrado por el flujo.
  - Inapropiados para canales revestidos\* (estructuras portátiles).
- Vertedero de Pared delgada Triangular

Se caracteriza porque la forma de la ventana creada para el vertido del flujo es triangular.

El vertedero triangular de pared delgada, es una de las estructuras más precisas para la medición de un amplio rango de caudales, este tipo de vertedero también es conocido como vertedero *Thompson*.

Los vertederos triangulares, por las características de su descarga, comprenden dos tipos:

**Vertedero con contracción parcial.-** Cuando no existe una contracción completa a lo largo de los lados de la ventana del vertedero debido a su proximidad con las paredes o fondo del canal de aproximación.

**Vertedero con contracción completa.-** Cuando las paredes y fondo del canal de aproximación se hallan lo suficientemente alejadas de la ventana del vertedero, de forma tal que se produce una contracción completa del flujo al atravesar la misma.

➤ Evaluación de la Descarga

La ecuación de descarga para vertederos triangulares de pared delgada, tanto con contracción completa como con contracción parcial, es la siguiente:

Fórmula<sup>21</sup>:

$$Q = C \frac{8}{15} \sqrt{2} g \tan(\theta/2) h_e^{2.5} \quad (2)$$

El coeficiente efectivo de descarga ( $C_e$ ) depende de los siguientes parámetros:  $h_1/p_1$ ,  $h_1/B_1$ ,  $\theta$ .

En caso de vertederos con *contracción completa*, cuando se cumple  $h_1/p_1 \leq 0.4$  y  $h_1/B_1 \leq 0.2$ , el valor de  $C_e$  depende únicamente del valor del ángulo de la escotadura ( $\theta$ ). (Ver Fotografía 3.8)



**Fotografía 3.8** Vertedero de Pared delgada Triangular *Thompson*

La fotografía 3.8 muestra el vertedero triangular, con un ángulo de 90 grados de escotadura, y con una contracción total del flujo.

En caso de vertederos con *contracción parcial*, el valor de  $C_e$ , además de ser función del ángulo de la escotadura ( $\theta$ ), también depende de las relaciones  $h_1/p_1$ ,  $h_1/B_1$ . La estimación del valor de  $C_e$  para un ángulo de escotadura  $\theta = 90^\circ$ .

---

<sup>21</sup> Fórmula del vertedero triangular de 90 grados.

Vale recordar que para estos casos (contracción parcial) se recomienda sólo el uso de vertederos con un ángulo de escotadura  $\theta = 90^\circ$ , de lo contrario será necesario que el vertedero sea específicamente calibrado en laboratorio o campo.

En situaciones en las cuales se presentan variaciones importantes de carga ( $h_1$ ), se recomienda que el ángulo de la escotadura del vertedero sea de  $90^\circ$ .

La precisión en la determinación del coeficiente efectivo de descarga del vertedero triangular ( $C_e$ ) puede esperarse que sea del 1% para el caso de vertederos con contracción completa y entre 1% y 2% para vertederos con contracción parcial, siempre que la estructura sea construida siguiendo las recomendaciones indicadas para su adecuado funcionamiento.

Al igual que para el vertedero rectangular de pared delgada, Kindsvater y Carter (1957) recomiendan ajustar la lectura de la altura de carga medida ( $h_e$ ) de la siguiente manera: <sup>(Ref. 16)<sup>22</sup></sup>

Fórmula:

$$h_e = h_1 + K_h, K_h$$

Valores de coeficiente de ajuste de la altura de carga ( $K_h$ )

A continuación se muestra un ejemplo de ajuste:

**Tabla 3.1** Valores de la expresión para el cálculo del Caudal, Vertedero T

<b>VERTEDERO TRIANGULAR</b>	
Expresión para el cálculo de la descarga	$C_e * 8/15 * \sqrt{2g} * \tan(\theta/2) h_e^{2,5}$
Condición de descarga	Contracción completa
Altura de carga medida ( $h_1$ )	0,0500m
Coeficiente de ajuste altura de carga ( $kn$ )	0,0008m
Altura de carga efectiva ( $he$ )	0,0508m
Angulo dela escotadura ( $\theta$ )	$90^\circ$

<sup>22</sup> Ref. 16. KINDSVATER Y CARTER (1957). Expresión para el cálculo de la descarga por el método de vertedero.

Coefficiente efectivo de descarga (ce)	0,578
Caudal sin ajustar (q)	0,76 l/s
Caudal ajustado (q just)	0,76 l/s
$\Delta Q$	0,03 l/s
Error ( $\Delta q/q_{ajust}$ )	3,90%

Fuente: Autor.

En el ejemplo anterior se obtiene un error de alrededor del 4%, el porcentaje de error relacionado al ajuste será menor a medida que los valores de altura de carga sean mayores. Sin embargo, en el vertedero triangular el error para alturas de carga pequeñas puede ser más alto debido a que tiene mayor sensibilidad (S).

Vale aclarar que la medición de la altura de carga en el vertedero triangular debe ser realizada en forma mucho más cuidadosa por las razones antes expuestas.

En las siguientes tablas, se muestra los caudales, que se obtienen de un vertedero de forma triangular, con contracción total, a partir de la altura, y el ángulo de escotadura de 90°.

Para el cálculo del caudal, por el método de vertedero triangular<sup>(Ref. 27)<sup>23</sup></sup>.

Fórmula:

$$Q = C \frac{8}{15} \sqrt{2} g \tan(\theta/2) h_e^{2.5} \quad (2)$$

**Tabla 3.2** Cálculo del Caudal Vertedero Triangular *Thompson*

Tabla Calculo Del Caudal	
Q=	$Ce * 8/15 * \sqrt{2} * g * \tan(\theta/2) * h_e^{2,5}$
Ce=	0,578
g=	9,8
$\theta$ =	90
$h_e$ =	$h_1 + K_n$
$h_1$ =	Altura de la carga medida
$K_n$ =	0,0008
$\sqrt{2}$ =	1,41
$\sqrt{2}g$ =	4,427
$8/15$ =	0,533

<sup>23</sup> (Ref.27) Formula para el calculo del caudal Vertedero Triangular:  
<http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulosos/medidores/vertedortriang2/verttriang2.html>

**En donde:**

Q= Caudal

Ce= Coeficiente efectivo de descarga

g= Gravedad

$\theta$ = Angulo de la escotadura

he= Altura de carga efectiva

h1= Altura de la carga medida

Kn= Coeficiente de ajuste altura de carga

A continuación se muestra el cálculo respectivo para alturas registradas en el vertedero.

**Tabla 3.3** Cálculo del Caudal utilizando la Fórmula del Vertedero Triangular

Detalle	Altura (m)
he=	0,05
h1+Kn=	0,0508
he <sup>2,5</sup> =	0,000581647
Ce*8/15* $\sqrt{2g \cdot \tan(\theta/2)}$	1,3646
Q (m3)=	0,000793715
Q (l)=	0,793715109

En la Tabla 3.5 se indica un ejemplo del caculo del caudal, mediante el uso del vertedero triangular Thompson con ángulo de 90°.

3.2.4.5. Aforo con Flotadores de Superficie

Este método se utiliza cuando existen crecidas o cuando una gran precisión no es requerida, por lo que solamente se determina la velocidad superficial con la ayuda de un cuerpo flotante, en cada una de las verticales determinadas perpendicularmente desde la orilla.

A más de la velocidad es necesario saber el perfil de la sección, la misma que se obtiene con la ayuda de barras bien marcadas, en donde se observe la profundidad que se tiene en cierto tramo de la sección transversal del río.

Para realizar este aforo se necesita determinar las distancias conocidas, aguas abajo para controlar con la ayuda del cronómetro, el tiempo que tarda en recorrer el cuerpo flotante esta distancia.

Posteriormente determinar la velocidad media a partir de la velocidad superficial conocida, mediante método gráfico o coeficientes de corrección preestablecidos.

(Ref. 13)<sup>24</sup>

Fórmula<sup>25</sup>:

$$Q = A_m \times V \quad (3)$$

En Donde:

$$V = e/t \quad (4)$$

Q= Caudal

$A_m$ = Área mojada

V= Velocidad

e= Espacio recorrido

t= Tiempo de demora

#### ➤ Fórmulas empíricas para calcular la velocidad

La velocidad del agua que se desliza en una corriente o en un canal abierto está determinada por varios factores. (Ref. 38)<sup>26</sup>

*El gradiente o la pendiente.* Si todos los demás factores son iguales, la velocidad de la corriente aumenta cuando la pendiente es más pronunciada.

<sup>24</sup> Ref. 13. INAMHI 2005, Hidrogeodinámica de la Cuenca Amazónica, Quito – Ecuador.

<sup>25</sup> Fórmula aforo con Flotador/ Método Velocidad - Superficie

<sup>26</sup> Ref. 38 <http://www.fao.org/docrep/t0848s/t0848s06.htm>

*La rugosidad.* El contacto entre el agua y los márgenes de la corriente causa una resistencia (fricción) que depende de la suavidad o rugosidad del canal. En las corrientes naturales la cantidad de vegetación influye en la rugosidad al igual que cualquier irregularidad que cause turbulencias.

*Forma.* Los canales pueden tener idénticas áreas de sección transversal, pendientes y rugosidad, pero puede haber diferencias de velocidad de la corriente en función de su forma. La razón es que el agua que está cerca de los lados y del fondo de una corriente se desliza más lentamente a causa de la fricción; un canal con una menor superficie de contacto con el agua tendrá menor resistencia fricción y, por lo tanto, una mayor velocidad. El parámetro utilizado para medir el efecto de la forma del canal se denomina **radio hidráulico** del canal. Se define como la superficie de la sección transversal dividida por el perímetro mojado, o sea la longitud del lecho y los lados del canal que están en contacto con el agua.

El radio hidráulico tiene, por consiguiente, una cierta longitud y se puede representar por las letras M o R. A veces se denomina también radio medio hidráulico o profundidad media hidráulica. La Figura 24 muestra cómo los canales pueden tener la misma superficie de sección transversal pero un radio hidráulico diferente. Si todos los demás factores son constantes, cuanto menor es el valor de R menor será la velocidad.

Todas estas variables que influyen en la velocidad de la corriente se han reunido en una ecuación empírica conocida como la **fórmula de Manning**, tal como sigue:

$$V = (R^{2/3} \cdot S^{1/2}) / n$$

Donde:

V= Velocidad media de la corriente en metros por segundo

R= Radio hidráulico en metros (la letra M se utiliza también para designar al radio hidráulico, con el significado de profundidad hidráulica media)

S= Pendiente media del canal en metros por metro (también se utiliza la letra *i* para designar a la pendiente)

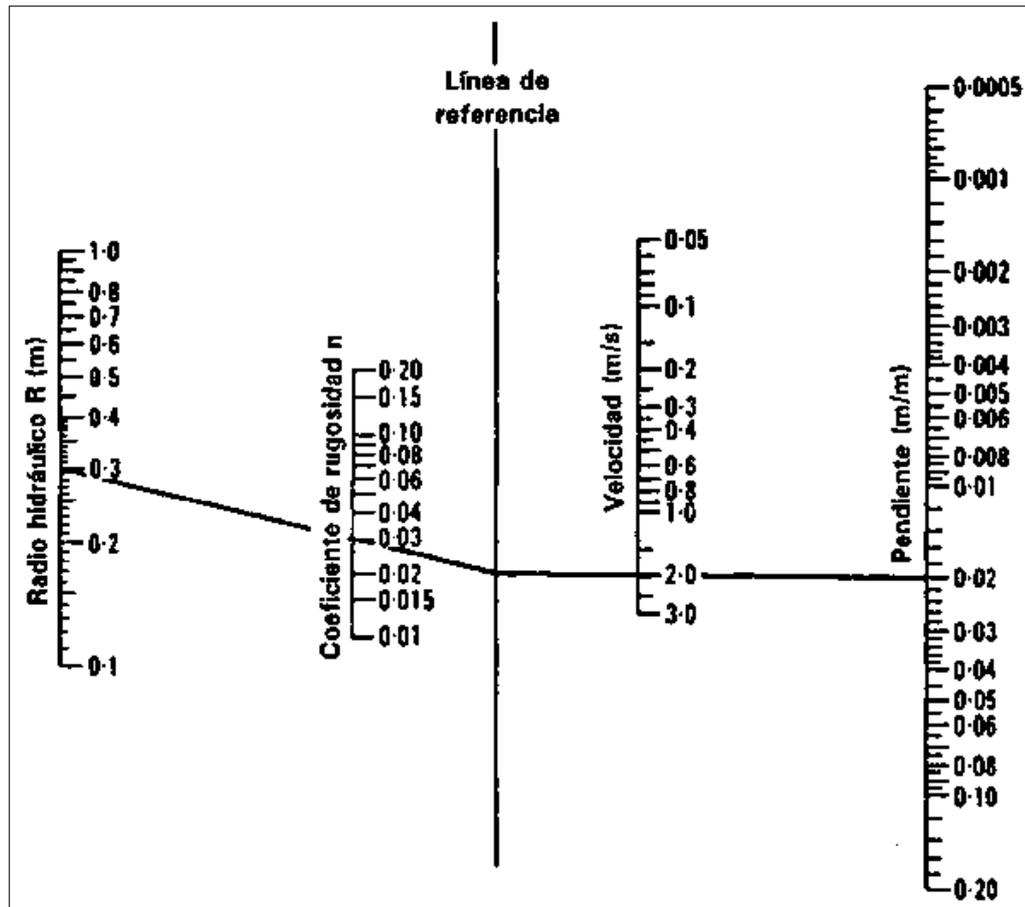
n= Es un coeficiente, conocido como **n de Manning o coeficiente de rugosidad de Manning**. (Ver Cuadro 3.3)

**Cuadro 3. 3** Valores del Coeficiente n de Rugosidad de Manning

<b>a) Canales sin vegetación</b>	Coeficiente
Sección transversal uniforme, alineación regular sin guijarros ni vegetación, en suelos sedimentarios finos	0,016
Sección transversal uniforme, alineación regular, sin guijarros ni vegetación, con suelos de arcilla duros u horizontes endurecidos	0,018
Sección transversal uniforme, alineación regular, con pocos guijarros, escasa vegetación, en tierra franca arcillosa	0,02
Pequeñas variaciones en la sección transversal, alineación bastante regular, pocas piedras, hierba fina en las orillas, en suelos arenosos y arcillosos, y también en canales recién limpiados y rastrillados	0,0225
Alineación irregular, con ondulaciones en el fondo, en suelo de grava o esquistos arcillosos, con orillas irregulares o vegetación	0,025
Sección transversal y alineación irregulares, rocas dispersas y grava suelta en el fondo, o con considerable vegetación en los márgenes inclinados, o en un material de grava de hasta 150 mm de diámetro	0,03
Canales irregulares erosionados, o canales abiertos en la roca	0,03
<b>(b) Canales con vegetación</b>	
Gramíneas cortas (50-150 mm)	0,030-0,060
Gramíneas medias (150-250 mm)	0,030-0,085
Gramíneas largas (250-600 mm)	0,040-0,150
<b>(c) Canales de corriente natural</b>	
Limpios y rectos	0,025-0,030
Sinuosos, con embalses y bajos	0,033-0,040
Con muchas hierbas altas, sinuosos	0,075-0,150

En el Cuadro 3.3, se muestra los valores del coeficiente de rugosidad de Manning, para cada estrato en donde se realice un aforo con el método velocidad/Superficie.

Otro método para calcular la velocidad media de la corriente es el Nomograma de Manning, el cual depende de tres variables:



**Gráfico 3.2 Nomograma para resolver la fórmula de Manning. Si se conocen tres variables, es posible encontrar la cuarta.**

*Ejemplo:* Dado  $R = 0,3$  m,  $n = 0,03$ , pendiente = 2% o 0,02 m por m, encontrar la velocidad  $V$ .

*Solución:* Únase  $R = 0,3$  y  $n = 0,03$  y proyéctese la línea de referencia. Únase el punto situado en la línea de referencia con la pendiente =  $0,02$ . La intersección de la escala de velocidad da  $V = 2,0$  m/s.

#### 3.2.4.6. Aforo Químico

Este método no fue aplicado dentro de la investigación realizada sin embargo se indica el procedimiento para obtener la descarga en un río.

El aforo químico se utiliza como complemento de un aforo con escandallo cuando la medición se realiza en ríos muy turbulentos como aquellos de montaña.

Este método se aplica únicamente cuando se tiene la seguridad que se producirá una mezcla homogénea entre el agua y la solución salina.

La solución utilizada debe ser un trazador, que tiene por objeto ser suficientemente visible para ser cronometrado durante los tramos escogidos en el aforo. (Ref. 13)

El cálculo del caudal se obtendrá de la siguiente forma:

Fórmula<sup>27</sup>:

$$Q = q (C1 - C2) / (C1 - C0) \quad (5)$$

Donde:

$Q =$  Caudal en  $l/s^{-1}$

$q =$  Gasto de la solución concentrada.

$C0 =$  Concentración del contenido inicial de sales del río.

$C1 =$  Concentración de sal utilizada.

$C2 =$  Concentración de la mezcla.

#### 3.2.4.7. Método Volumétrico

---

<sup>27</sup> Fórmula Aforo Químico; Hidrogeodinámica de la Cuenca Amazónica, Quito – Ecuador.

Cuando el caudal es pequeño, se utiliza el método volumétrico para realizar el aforo, que consiste en determinar el volumen de agua que se receipta en un recipiente en un tiempo determinado. <sup>(Ref. 14)</sup><sup>28</sup>

El cálculo del caudal se obtiene de la siguiente manera:

$$Q \text{ [L/seg]} = V \text{ [L]} \times t \text{ [seg]}$$

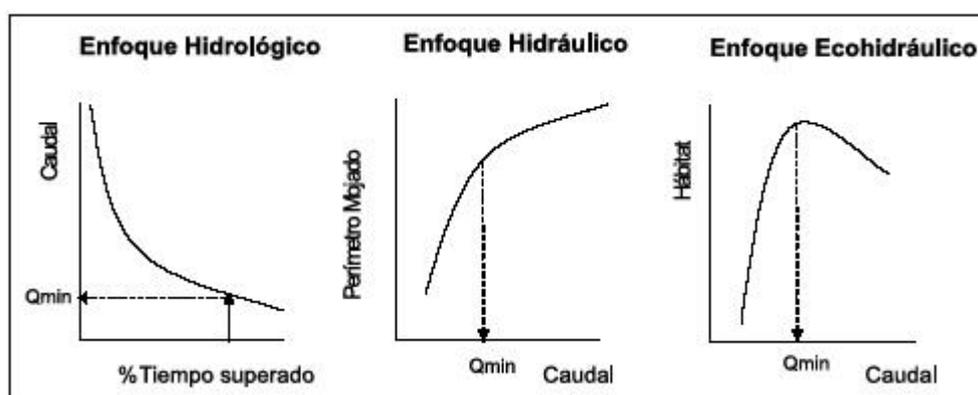
Fórmula<sup>29</sup>:

Caudal = Volumen de agua x Tiempo.

### 3.2.5. Metodologías para cuantificar el caudal ecológico.

Existen más de 200 metodologías diferentes para evaluar caudales ecológicos en más de 50 países (King, 2004), lo cual refleja la trascendencia y complejidad de esta faceta esencial de la conservación ambiental de los ecosistemas acuáticos.

Estos métodos suelen agruparse en tres tipologías básicas, en orden creciente de aparición y rigor conceptual como enfoques: hidrológicos, hidráulicos y ecohidráulicos. <sup>(Ref.39)</sup>



**Gráfico 3.3 Enfoques para determinar el Caudal Ecológico**

<sup>28</sup> Ref. 14. GAIBOR J. 2005, “Inventario Participativo y Propuesta de Alternativas de Manejo”

<sup>29</sup> Fórmula Método Volumétrico.

### 3.2.5.1. Metodología Hidrológica <sup>(Ref.40)</sup>

Se trata de una metodología basada en registros históricos de caudal (mensuales o diarios) a partir de los cuales se obtiene un caudal mínimo. Esta metodología se fundamenta en la relación estricta que existe entre el régimen hidrológico y el ecosistema existente, puesto que las especies dentro del río se han adaptado y acostumbrado a las variaciones de caudal. Dentro de las principales características de los métodos hidrológicos se encuentran su fácil aplicación, el requerimiento de pocos datos, y que son económicos, rápidos y poco dispendiosos de aplicar. Su desventaja consiste en que no tienen en cuenta aspectos biológicos y geomorfológicos del cauce, y en que establecen en algunos casos un caudal invariable en el tiempo, lo cual no refleja las necesidades de todos los interesados [Palau y Alcazar, 1996], [Davis y Hirji, 1999], [Bernardo y Alves, 2000], [Díez, 2000], [Dyson et al., 2003]. Algunos métodos propios de esta metodología son:

➤ Porcentaje fijo del caudal medio interanual <sup>(Ref.40)</sup>

como su nombre lo indica, el caudal ambiental obtenido a partir de este método representa sólo un porcentaje del caudal medio interanual y es constante a lo largo del año, por lo cual convendría llamarlo caudal mínimo en lugar de caudal ambiental. Dentro de este método se incluyen algunas reglamentaciones tales como la Ley Francesa de Aguas que establece como caudal mínimo el 10% del caudal medio interanual calculado para un período mínimo de cinco años [Díez, 2000]; y el Servicio de Pesca y Vida Silvestre de Estados Unidos que sugiere como caudal ambiental el caudal medio del mes más crítico para el metabolismo de los organismos acuáticos, con frecuencia el caudal del mes de agosto [Kulik, 1990]. En España, la Dirección General de Obras Hidráulicas fijó como caudal mínimo permanente el 10% del caudal medio interanual, criterio similar al adoptado en Colombia en el Proyecto de Ley 365 de 2005 conocida como Ley de Aguas. Estos métodos son simples aproximaciones que han sido muy usadas mundialmente por la facilidad en la aplicación, pero que no representan una

solución científico-técnica ni mucho menos consensuada entre los múltiples actores de una cuenca hidrográfica y sólo pretenden ser una respuesta apresurada para satisfacer las insaciables necesidades humanas.

#### 3.2.5.2. Método Tennant

En este estudio se aplicó este método el cual tiene una relación estricta entre el régimen hidrológico y el ecosistema existente, puesto que las especies dentro del río se han adaptado y acostumbrado a las variaciones de caudal.

Este método se basa en los siguientes criterios: <sup>(Ref. 37)<sup>30</sup></sup>

- 1) El 10 % del caudal medio anual es el mínimo recomendable para mantener un hábitat que permite en un corto plazo la sobrevivencia de la mayoría de las formas de vida acuática;
- 2) El 30 % del caudal medio anual es recomendable para mantener un hábitat adecuado para la sobrevivencia de las diversas formas de vida acuática;
- 3) El 60 % del caudal medio anual es recomendable para generar un hábitat de características excelentes a excepcionales para la mayoría de las formas de vida acuática, durante los periodos de crecimiento iniciales. (García et al. 1999; Maunder & Hindley, 2005; Pyrcce, 2004).

En tal sentido, el método Tennant identifica diferentes niveles de caudales recomendados como adecuados para la vida acuática con base en diversas proporciones de los caudales medios (Acreman & Dunbar, 2004; Moore, 2004; Smakhtin, 2001; Stewardson, 2005), proporciona de manera rápida y económica una aproximación de los caudales ecológicos (García & Soldán, 1997), considerando a éstos como un porcentaje del caudal medio anual (Pyrcce, 2004).

---

<sup>30</sup> Ref. 37 <http://www.unesco.org.uy/phi/aqualac/fileadmin/phi/aqualac/Santacruz.pdf>

➤ Método de Hoppe <sup>(Ref.40)</sup><sup>31</sup>

Fue uno de los primeros métodos en desarrollarse y en el que se reconoce la relación entre los percentiles de la curva de duración caudales y las condiciones favorables para la biota. Este método usa valores de porcentaje de excedencia de la curva de duración de caudales para definir unos caudales mínimos asociados a diferentes estadios de crecimiento [Díez, 2000]. Para llevarlo a cabo se calculan los siguientes percentiles: Q 17 para avenidas y recomendado para limpiar el sustrato; Q 40 para mantener las condiciones de hábitat convenientes para el desove; y Q 80 para mantener condiciones de alimento y abrigo, además de un mínimo de hábitat disponible para las truchas [Gordon et al., 1992], [EFM, 2003]. Esta es una aproximación un poco más biológica, pero que representa solamente las condiciones favorables para los ríos y especies donde fue desarrollada, lo que implica que su aplicación en otras corrientes puede resultar errónea si no se consideran adaptaciones propias del río en estudio.

➤ Método del Caudal Medio Base (Average Base Flow Method - ABF)

Fue desarrollado en Nueva Inglaterra por el servicio de pesca y vida salvaje de Estados Unidos. Es uno de los métodos más usados en los proyectos hidroeléctricos de este país [USFWS, 1980] y en él se propone el caudal mínimo de verano (media de los caudales medios multianuales de agosto) como el caudal ambiental, ya que representa la condición natural más severa que la comunidad de especies del cauce podría experimentar. Para corrientes sin registros, el caudal medio de agosto se estima en 0.5 pie<sup>3</sup>/s milla<sup>2</sup> de área drenante (cfsm). Cuando son necesarios caudales altos en otras épocas del año para desove, migración y otras necesidades biológicas, se recomiendan: para otoño 1.0 cfsm, para invierno y primavera 4.0 cfsm [EFM, 2003]. Es un método de fácil aplicación, pero que

---

<sup>31</sup> Metodología para el cálculo del caudal ecológico  
Ref. 40 <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/html/477/47710203/47710203.html>

podría acarrear graves alteraciones en el ecosistema fluvial, pues si bien es cierto que las comunidades acuáticas resisten épocas críticas de estiaje, no lo hacen por largos periodos de tiempo; las especies están adaptadas a las fluctuaciones anuales con caudales medios, de crecida, mínimos, avenidas, etc., luego sería un error imponer un caudal mínimo constante a lo largo del año y menos uno que representa la condición más crítica para los organismos acuáticos.

➤ Método del Rango de Variabilidad (Range Variability Approach - RVA)

Desarrollado en respuesta al creciente interés de usar la variabilidad natural para recomendar caudales ambientales y no insistir con el uso de un caudal mínimo a lo largo de todo el año que asegure la salud de las especies y el mantenimiento del ecosistema fluvial. En este método se reconoce que la variación hidrológica juega un papel importante en la estructura de la diversidad biótica, además de controlar las condiciones de hábitat dentro del canal, llanuras de inundación, humedales, etc. El principal objetivo de este método consiste en definir políticas de gestión a partir de 32 indicadores relacionados con la corriente, llamados Indicadores de Alteración Hidrológica (Indicators of Hydrologic Alteration – IHA). Los IHA identifican las componentes del régimen natural de caudales en magnitud, frecuencia, periodicidad y duración [Richter et al., 1997], y con ellos se hacen recomendaciones del rango en el cual pueden variar sin perjudicar al ecosistema fluvial. Ha sido un enfoque usado mundialmente para evaluar el grado de alteración por la construcción de obras hidráulicas [Schoeller y Sánchez, 2005], [Gergel et al, 2002],[Beauchamp y Stromberg, 2001], [Finch, 1998], como herramienta para la restauración de hábitats [Armstrong et al., 2003], [BRPP, 2003], [Galat y Lipkin, 2000], y para investigaciones de tipo hidrológico en ríos y lagos [Benjamín y Van Kira, 1999], [Dangelmaier, 2004], [Eisele et al., 2003], [Galat et al., 1999].



#### 4. RESULTADOS Y DISCUSIONES

En este capítulo se pone a consideración la información obtenida en la microcuenca del río “San Vicente”, y que con esta se permitió determinar el régimen hidrológico, correspondiente al área de influencia del pozo Shushuqui 13.

##### Ubicación de la microcuenca del río San Vicente

**Cuadro 4.1** Ubicación de la Microcuenca del Río “San Vicente”

Descripción de la ubicación de la microcuenca	
País:	Ecuador
Región:	Oriente
Provincia:	Sucumbíos
Cantón:	Lago Agrio
Paróquia:	Pacayacu
Campo:	Libertador
Comunidad:	Shushuqui
Coordenadas UTM:	323350 W, 10008100 N 323350 W, 10006950 N 324600 W, 10008100 N 324600 W, 10006950 N
Datum:	WGS 84
Zona:	18 Sur, Elipsoide WGS 84
Altitud:	280 msnm
Temperatura Media Anual:	25°C
Precipitación:	2500-4000 mm
Zona De Vida:	bh_T (bosque húmedo Tropical)

En el Cuadro 4.1 se describe la ubicación de la microcuenca del río “San Vicente”, la cual se encuentra localizada en el norte de Ecuador, Provincia de Sucumbíos, Cantón Lago Agrio, dentro de la parroquia de Pacayacu. Su extensión va desde los 290 m.s.n.m. en la parte alta en donde nacen los afluentes hasta 200 msnm en la parte baja de la misma en donde llegan los esteros a formar el río San Vicente. (Ver Anexo1. Mapa 1)

La microcuenca ocupa un área de 99 hectáreas o 0,99 km<sup>2</sup> la pendiente no es muy pronunciada por lo que cuando existe fuertes precipitaciones, tiende a inundar áreas, cercanas a los esteros.

El agua proveniente de los esteros de la microcuenca, forman el río San Vicente, que a su vez va a desembocar sus aguas al río Pacayacu, este va llevando hasta el río Aguarico, que se bifurca con el Napo, hasta llegar al enorme Amazonas.

La caracterización de la microcuenca del río San Vicente, en parte, se realizó basándose en el estudio elaborado por el centro de transferencia de tecnología CTT, y corroborando durante el tiempo de estudio, que se le dedicó, a la fase de campo en esta investigación.

#### **4.1. Caracterización del Área de Estudio**

Mapa de ubicación del área de estudio (Anexo 1. Mapa 1.)

##### 4.1.1. Descripción del Medio Físico

##### 4.1.1.1. Geología del Área de Estudio

En el área se identificó las siguientes unidades litológicas:

- ✖ Depósitos Aluviales

Producto de los materiales arrastrados por el agua y observados en los lechos de los diferentes drenajes, están representados por materiales limo-arcillosos y pequeños cantos rodados. (Ver Fotografía 4.1)



Fotografía 4.1 Depósitos aluviales

✘ Depósitos Coluviales

Producto del arrastre de los materiales de las partes altas y depositados en las partes bajas formando las zonas de humedales, están representados por arcillas-limosas con materia orgánica y se encuentran muy saturados. (Ver Fotografía 4.2)



Fotografía 4.2 Depósitos coluviales

✘ Arcillas

a.- Arcillas café-plásticas, con m de profundidad.

rojizas, muy espesor de hasta 1,00



Fotografía 4.3 Arcillas café rojizas

b.- Arcilla habana-rojiza, se encuentra bajo las arcillas café rojizas, son plásticas y consolidadas. (Ver Fotografía 4.4)



Fotografía 4.4 Arcilla habana-rojiza

✕ Areniscas

Areniscas de grano fino color amarillento producto de la meteorización, se presentan bastante consolidadas y compactas, su espesor observado es de hasta 2.50 m.



Fotografía 4.5 Areniscas de grano fino

4.1.1.2. Geomorfología del Área de estudio

En la microcuenca se encuentran superficies onduladas con diferencias de nivel de 25 m, cubiertas con pastizales, frutales y especies arbóreas, las mismas que cubren la mayor parte del área. Presentan pendientes hasta de 40%. Pertenecen a un ambiente morfo estructural y denotativo.

Las superficies planas están conformadas por relieves planos que constituyen los humedales o pantanos, situados en las partes bajas con pendientes de 18%.

Las pendientes planas pertenecen a los ambientes aluviales, en donde se produce el arrastre de sedimentos y el depósito en estas zonas. (Ver Anexo1. Mapa 5)

#### 4.1.1.3. Paisaje del Área

El recurso paisaje presente en el área comprende los recursos abióticos, bióticos y socioeconómicos, presentándose mayormente mosaicos de formaciones alteradas por el hombre. (Fotografía 4.6)



Fotografía 4.6 Vista Panorámica del Área de Estudio

En el campo se identificó los siguientes tipos de paisaje: Paisaje Natural que comprende la mayor parte del área, el mismo que está representado por el bosque secundario y los humedales. Paisaje Agrícola, constituido por las áreas dedicadas a actividades agropecuarias de subsistencia tales como pastizales y producción de frutales. Paisaje Semi-urbano, representado por las vías, viviendas, plataformas petroleras y las líneas de flujo.

Los Paisajes Agrícola y Semi-urbano son los que han sido afectados disminuyendo a la calidad estética del sector, producto de la alta contaminación producida por derrames de petróleo.

## 4.1.2. Descripción del Medio Biótico

### 4.1.2.1. Flora

#### **Ecosistemas Presentes y Unidades de Cobertura Vegetal**

Según Palacios *et al.* 1999, la zona de estudio corresponde a la Subregión Norte y Centro de la amazonía ecuatoriana. El área comprende el denominado Sector de Tierras Bajas y la clasificación de su cobertura vegetal es la de Bosque siempre verde de tierras bajas.

Este tipo de vegetación incluye los bosques sobre colinas medianamente disectadas y bosques sobre tierras planas bien drenadas, es decir no inundables, y los bosques en tierras planas pobremente drenados. Los dos últimos podrían ser caracterizados como tipos de bosques diferentes, pero se requiere de más información para clasificarlos independientemente. Los bosques siempreverdes amazónicos son altamente heterogéneos y diversos, con un dosel que alcanza los 30 m de altura, por lo general, hay más de 200 especies mayores a 10 cm de DAP en una hectárea (Cerón 1997; Palacios 1997a; Valencia *et al.* 1994; Valencia *et al.* 1998), claro está, en bosques no intervenidos. En el sitio de estudio gran parte de vegetación natural ha sido talada para dar paso a cultivos debido a la bondad de los suelos, quedando pocos relictos de bosques naturales.

#### **Aspectos de la flora**

El área está representada por dos zonas:

1.- Zona dedicada al pastoreo con pendientes pronunciadas que van de 30% a 50% en donde la predominancia es de gramalote (*Paspalum fasciculatum*), esta misma zona presenta en su parte baja un humedal con flora y fauna propia de ecosistemas palustres por lo que constituye un hábitat especialmente sensible. (Ver fotografía 4.7)



Fotografía 4.7 Área de pastizal y bosque intervenido

2.- Zona intervenida en la que el bosque se ha regenerado parcialmente con predominio de especies indicadoras de intervención (guarumos, psicotrias, pipers), la topografía es relativamente plana con la presencia de esteros como receptores del agua del pantano y otros causas naturales del área. (Ver Fotografía 4.6)

En toda el área de estudio las principales preocupaciones ecológicas son la pérdida de hábitat en el caso del humedal y el bosque en regeneración, debido directamente a derrames de crudo, que son muy comunes. La integridad ecológica de la zona además puede verse afectada debido a introducción de flora exótica, colonización y ampliación de la frontera agrícola.

En el Cuadro 4.2 se muestra las especies de flora encontradas en el área de influencia de la investigación.

**Cuadro 4.2** Especies de Flora presentes en la Microcuenca

<b>Especie</b>	<b>Familia</b>	<b>Nombre Vulgar</b>	<b>Hábito</b>
<i>Paspalum fasciculatum</i>	Poaceae	Gramalote	Hierba
<i>Psidium guajava</i>	Mirtaceae	Guayaba	Arbusto
<i>Polypodium sp.</i>	Polypodiaceae	Helecho	Hierba
<i>Ptelipteris</i>	Ptelipteridaceae	Helecho	Hierba
<i>Eugenia sp.</i>	Mirtaceae		Hierba
<i>Killinga pumila</i>	Cyperaceae	Killinga	Hierba
<i>Toccoca sp.</i>	Melastomataceae	Toccoca	Arbusto

<i>Anthurium sp.</i>	Araceae	Anturio	Liana
<i>Iriartea deltoidea</i>	Araceae	Palmera	Árbol
<i>Astrcarium chambira</i>	Araceae	Chambira	Árbol
<i>Geonoma sp.</i>	Arecaceae	Cola de pez	Arbusto
<i>Cyperus odoratus</i>	Ciperaceae	Coquitos	Hierba
<i>Vismia sp.</i>	Cluciaceae		Arbusto
<i>Gurania pedata</i>	Cucurbitaceae		Liana
<i>Alsophila cuspidata</i>	Cyatheaceae	Helecho arbóreo	Arbusto
<i>Dioscoria sp.</i>	Dioscoriaceae		Liana
<i>Banara guianensis</i>	Flacourtiaceae		Arbusto
<i>Miconia sp.</i>	Melastomataceae		Arbusto
<i>Cecropia peltata</i>	Moraceae	Guarumo	Árbol
<i>Ficus maxima</i>	Moraceae		Hierba
<i>Piper aduncum</i>	Piperaceae		Arbusto
Especie 1	Poaceae	Pasto (caña morada)	Hierba
<i>Polypodium attenuatum</i>	Polypodiaceae	Helecho	Hierba
<i>Mimosa pudica</i>	Fab-Mimosoideae	Sensitiva	Hierba
<i>Inga sp.</i>	Fab-Mimosoideae	Guaba	Árbol
<i>Heliconia sp.</i>	Heliconiaceae	Heliconia	Arbusto
<i>Musa paradisiaca</i>	Musaceae	Plátano	Arbusto
<i>Bohemeria sp.</i>	Urticaceae	Ortiguilla	Hierba
<i>Annona sp.</i>	Annonaceae	Annona	Árbol
<i>Bactris gasipaes</i>	Arecaceae	Chontaduro	Árbol
<i>Asplenium sp.</i>	Aspleniaceae	Helecho	Hierba
<i>Ocotea quixos</i>	Lauraceae	Ishpingo	Árbol
<i>Ficus sp.</i>	Moracea	Matapalo	Liana
<i>Musa paradisiaca</i>	Musaceae	Plátano	Arbusto
<i>Psichotria sp.</i>	Rubiaceae	Labios ardientes	Arbusto
<i>Selaginella sp. 1</i>	Selaginellaceae	Selaginela	Hierba
<i>Selaginella sp. 2</i>	Selaginellaceae	Selaginela	Hierba
Especie 3	Arecaceae	Palmera	Árbol
Especie 4	Arecaceae	Palmera	Árbol
<i>Jacaranda copaia</i>	Bignoniaceae	Jacaranda	Árbol

Para el registro de las especies se realizaron recorridos por toda el área, en donde se presentaron diferentes estratos como se muestran en las siguientes fotos.

**Parte alta del humedal, en el área de influencia.**

**Coordenadas:** 992321 E; 10007210 N, (GPS GARMIN 60CSx)

**Altitud:** 275 msnm



Fotografía 4.8 Zona del Humedal

**Orilla del Río “San Vicente”**

**Coordenadas:** 992408 E; 10007212 N, (GPS GARMIN 60CSx)

**Altitud:** 260 msnm



Fotografía 4.9 Zona del Bosque intervenido y del estero que lo cruza

### Zona baja del área de influencia

**Coordenadas:** 992445 E; 10007215 N, (GPS GARMIN 60CSx)

**Altitud:** 260 msnm



Fotografía 4.10 Zona mejor estado de conservación

#### 4.1.2.2. Fauna

##### ✖ Aves

Durante el tiempo de fase de campo, y por medio de conversaciones con los moradores del sector se identificaron las siguientes especies de aves, en el área de investigación. (Ver Anexos5. Fotografías de Fauna presente en la microcuenca)

**Cuadro 4.3** Listado de Aves registradas en la Microcuenca y la Fuente del Registro (observación directa)

	<b>NOMBRE COMÚN</b>	<b>NOMBRE CIENTÍFICO</b>	<b>OTROS REGISTROS</b>
<b>Aves</b>	Carpintero crestirrojo	<i>Campephilus melanoleucos</i>	Observación directa
	Carpintero penachiamarillo	<i>Melanerpes cruentatus</i>	Observación directa
	Tucán goliblanco (Dios te de o predicador)	<i>Ramphastos tucanus</i>	Observación directa

Guacamayo azul y amarillo	<i>Ara ararauna</i>	Observación directa
Pava de monte	<i>Pipile cumanensis</i>	Observación directa
Loro	<i>Ara severa</i>	Observación directa
Garza estriada	<i>Butorides striatus</i>	Conversación moradores.
Gavilan alirrojizo	<i>Buteo magnirostris</i>	Observación directa
Golondrina fajiblanca	<i>Atticora fasciata</i>	Conversación moradores.
Mirlo piconegro	<i>Turdus ignobilis</i>	Observación directa
Perico alicobalto	<i>Brotogeris cyanoptera</i>	Observación directa
Oropendola	<i>Psarocolius angustifrons</i>	Observación directa

En el área de investigación los comuneros de los alrededores, de forma cada vez menos frecuente, realizan cacería y captura de algunas de las especies de avifaunas registradas con diferentes propósitos entre ellos está el comercio de los especímenes para ser usadas como mascotas, este es el caso de el guacamayo azul y amarillo (*Ara ararauna*), loro (*Ara severa*), perico alicobalto (*Brotogeris cyanoptera*) y tucán goliblanco (*Ramphastos tucanus*), el cual también es cazado para vender su pico al que se le atribuye propiedades medicinales, y, entre las especies cazadas para alimentación está la pava de monte (*Pipile cumanensis*) entre otros.

La diversidad de aves cada vez es menor debido a que existe mayor incursión por parte de colonos que se dedican a la cacería, principalmente de aves exóticas.

La gradual desaparición de estas especies de la zona de estudio por la intervención humana sobre sus hábitats, ha limitado las actividades de las comunidad sobre las especies silvetres registradas.

#### ✘ Mastofauna

Las especies registradas, son producto de la observación directa y resultado de las conversaciones que se tuvieron con los moradores que viven en la microcuenca.

**Cuadro 4.4** Listado de Mastofauna registradas en la Zona de Estudio y la Fuente del Registro.

	<b>NOMBRE COMÚN</b>	<b>NOMBRE CIENTÍFICO</b>	<b>OTROS REGISTROS</b>
<b>Mamíferos</b>	Danta	<i>Tapirus terrestris</i>	Huellas
	Capibara	<i>Hydrochoerus hydrochaeris</i>	Conversación moradores.
	Cuchucho	<i>Nasua nasua</i>	Obs. Directa
	Cusumbo	<i>Potos flavus</i>	Conversación moradores.
	Oso hormiguero	<i>Tamandua tetradactyla</i>	Conversación moradores.
	Mono chichico (mono de bolsillo)	<i>Callithrix pygmaea</i>	Obs. Directa
	Puerco espín	<i>Coendou bicolor</i>	Obs. Directa
	Puerco zajino	<i>Pecari tajacu</i>	Obs. Directa
	Guanta	<i>Cuniculus paca</i>	Madriguera
	Guatusa	<i>Dasyprocta fuliginosa</i>	Madriguera
	Guatín (tin-tin)	<i>Myoprocta pratti</i>	Conversación moradores.
	Ardilla	<i>Sciurus sp.</i>	Obs. Directa
	Mono ardilla (payaso)	<i>Saimiri sciureus</i>	Obs. Directa
	Raposa	<i>Caluromys lanatus</i>	Obs. Directa
	Armadillo	<i>Dasyopus sp.</i>	Obs. Directa
	Mono lanudo (chorongo)	<i>Lagothrix lagotricha</i>	Conversación moradores.
	Nutria	<i>Lontra longicaudis</i>	Conversación moradores.
	Tigrillo	<i>Leopardus pardalis</i>	Conversación moradores.

Durante la fase investigativa de campo se observó la mayor cantidad de especies registradas en el Cuadro 4.4, sin embargo mediante conversaciones mantenidas con los moradores del área, la abundancia de especies cada vez es menor debido a la cacería que se practica principalmente por la danta, guanta y armadillo.

✘ Peces, Anfibios y Reptiles

Las especies registradas en el sitio de estudio se presentan en el Cuadro 4.5

**Cuadro 4.5** Listado de Reptiles, Peces y Anfibios Registrados en la Zona de Estudio y la Fuente del Registro.

	NOMBRE COMÚN	NOMBRE CIENTÍFICO	OTROS REGISTROS
Reptiles	Equis	<i>Bothrops atrox</i>	Obs. Directa
	Coral	<i>Micrurus sp.</i>	Obs. Directa
	Boa	<i>Boa constrictor</i>	Obs. Directa
	Verrugosa	<i>Lachesis muta</i>	Obs. Directa
	Lora	<i>Bothriechis schlegelii</i>	Obs. Directa
	Lagartija	NI	Obs. Directa
Peces	Viejitas	NI	Obs. Directa
	Guanchichi	NI	Obs. Directa
	Damitas	NI	Obs. Directa
	Sardinilla	NI	Obs. Directa
Anfibios	Rana	<i>Hyla sp.</i>	Obs. Directa
	Sapo	<i>Rinella marinus</i>	Obs. Directa

Las especies de reptiles, anfibios y peces fueron reconocidos por observación directa, durante la fase de investigación.

De acuerdo a la información recopilada por conversaciones mantenidas con los comuneros, la captura de peces en los esteros de la zona constituía hace años una actividad común entre los pobladores, pero debido a la continua contaminación de estos cauces de agua producida por derrames de hidrocarburos la han eliminado de su vivir cotidiano.

Debido a la falta de información que existe en esta parte de la Amazonía, el primer paso para realizar la cartografía de la microcuenca, fue la georeferenciación de los esteros y partes susceptibles de inundación, al lado de los cursos de agua.

## 4.2. Levantamiento Cartográfico y Topográfico del Área de Influencia

### 4.2.1. Parámetros Geométricos y Morfométricos

Con la georeferenciación de los esteros y partes inundables, en la Tabla 4.1, se da a conocer el resumen de resultados de los parámetros geométricos y morfométricos de la microcuenca.

Como también se presenta el levantamiento cartográfico de la microcuenca del río “San Vicente”. (Ver Anexos1. Mapa Base de la Microcuenca del río “San Vicente”)

**Tabla 4.1** Parámetros Físicos y Morfológicos de la Microcuenca

PARÁMETRO	FÓRMULA	RESULTADO	OBSERVACIONES
<b>PARÁMETROS GEOMÉTRICOS DE LA MICROCUENCA.</b>			
Área	Software (ArcGis)	A= 0,99 km <sup>2</sup> o 99,109 has	Microcuenca del Río "San Vicente"
Perímetro	Software (ArcGis)	P= 3,87 km	Delimitación, foto aérea
<b>Morfometría Lineal</b>			
Longitud del canal principal:	Software (ArcGis)	L= 1,98 km	Longitud Media
Longitud máxima entre los extremos de la cuenca:	Software (ArcGis)	Lm= 1,48 km	Longitud Media
Longitud máxima entre el extremo de la cuenca y el desagüe:	Software (ArcGis)	L = 1,05 km	Longitud Media
Longitud		L10-85 = 0,91	Longitud Media

<b>intermedia:</b>	Software (ArcGis)	km	
<b>Ancho máximo de la cuenca:</b>	Software (ArcGis)	<b>Am</b> = 1,48 km	Ancho medio
<b>Ancho medio de la cuenca:</b>	$Am = A / Lm$	<b>Am</b> = 0,67 km <sup>2</sup>	Ancho medio
<b>Forma De La Cuenca</b>			
<b>Índice De Compacidad (Ic- C)</b>	$C = 0.282 \frac{P}{\sqrt{A}}$	C=1,09	La microcuenca tiene una forma de casi redonda a oval redonda, la tendencia a las crecidas es <u>alta</u> .
<b>Pendiente media (Ir)</b>	$Ir = \frac{HM - Hm}{1000 \times L} \times 100$	Ir = 2,58	Este valor indica un relieve <u>casi plano</u> , por lo que las aguas de las diferentes corrientes dan lugar a numerosas zonas pantanosas o fáciles de inundarse, lo cual coincide con la realidad de la Microcuenca.
<b>Sistema de Drenaje</b>			
<b>DENSIDAD DEL DRENAJE</b>	$Dd = \sum \frac{Lx}{A}$	Dd=4,594 km/km <sup>2</sup>	Este valor indica una <u>Alta densidad de drenaje</u> , por lo que se debe tomar precauciones, en lo que se refiere a la construcción de cualquier obra de infraestructura, además de tomar en cuenta el parámetro de precipitación en las épocas tanto seca, como lluviosa.

Elaboración: El Autor

En la Tabla 4.1 se indica todos los parámetros físicos y morfológicos de la microcuenca.

En donde el análisis geomorfométrico determina que la microcuenca del río San Vicente tiene una superficie de 99 Has o 0,99 km<sup>2</sup>, un Perímetro de 3,87 km, con un Índice de Compacidad (Ic) de 1,09.

Según la clasificación del Coeficiente de Compacidad y el Índice de Compacidad, la microcuenca pertenece a la clase I, lo que significa que tiene una forma de Casi Redonda a Oval Redonda, siendo Alta la tendencia a crecidas.

La pendiente media del río (Ir) es de 2,58 % que se traduce en un relieve casi plano, con riesgo bajo por deslizamiento, pero al existir fuertes precipitaciones dan lugar a numerosas zonas pantanosas o fáciles de inundarse.

La densidad de drenaje que presenta la microcuenca es de 4,59 km/km<sup>2</sup>, lo que quiere decir que es Alta, por lo que se debe tomar precauciones, en lo que se refiere a la construcción de cualquier obra de infraestructura, teniendo en cuenta la precipitación que tiene en esta zona, y todos los anteriores parámetros ya analizados.

La orientación de la microcuenca del río San Vicente corresponde a un Talweg con dirección Norte Sur. Como podemos ver en el gráfico. (Ver Anexo1. Mapa 2)

#### 4.2.2. Levantamiento Topográfico

Con el resultado del levantamiento topográfico y a través del programa de ARC GIS 9.3, se identificó el área a inundarse, correspondiente a diferentes alturas, en donde se construirá los diques, que son una manera de contrarrestar una posible contaminación al área descontaminada por el proyecto de remediación que trabaja la Universidad Técnica del Norte. (Ver Anexo1. Mapa 4)

**Tabla 4.2** Área de Influencia en la Construcción de Diques

Área de Inundación			
Estero 1		Estero 2	
Altura (m)	Área (m <sup>2</sup> )	Altura (m)	Área (m <sup>2</sup> )
0.70	2575.02	0.70	1737.42
1	2959.92	1	1916.23
1.50	3886.54	1.50	2403.13
2	4657.13	2	3084.92

*Fuente: El Autor*

En la Tabla 4.2 se muestra la altitud y el área ocupada para cada una de las cotas por ejemplo:

El estero 1, tiene una cota de 261 m en donde se estudia la construcción de los diques, si la infraestructura alcanzara una altura de 0.70m, es decir llega hasta la cota 261.70 m, ocupará una extensión de 2575.02m<sup>2</sup>, si el dique llegara hasta una altura de 1.0 m es decir hasta la cota de 262 m, el área de influencia será de 2959.92 m<sup>2</sup>, y así sucesivamente.

La topografía del área de influencia en donde se construirá los diques tiene una resolución cada metro, para el caso de pendientes cada curva de nivel tiene una diferencia de 5 metros.

#### 4.2.3. Área y Tiempo de Retención del Caudal

Mediante el empleo del Levantamiento Topográfico y de la herramienta del ARC GIS 9.3, se calculó el área de intervención del espejo de agua en las partes inundables en donde se construirá los diques, que servirán como una barrera ante la contaminación por hidrocarburos en la parte alta de la microcuenca.(Ver Tabla 4.3 y Anexo 1. Mapa del Área de Influencia Construcción Diques)

#### 4.2.4. Trampa de Hidrocarburos

Es capaz de interceptar crudo proveniente de derrames o del resultado de los daños inesperados en las lagunas de almacenamiento crudo que contaminan el suelo y agua, principalmente de los esteros.

El manejo de las aguas contaminadas con crudo, se lleva a cabo mediante un sistema de separación gravitacional, aprovechando la diferencia de densidad entre el agua y el hidrocarburo.

La trampa es un tanque o caja con un separador o tabique en el centro que divide la caja en dos compartimientos. Este tabique o separador no alcanza a tocar el fondo de la caja lo que permite la comunicación de las aguas contenidas en los compartimientos.

Uno de los compartimientos denominado compartimiento de entrada, recibe superficialmente las aguas contaminadas con hidrocarburos (provenientes del canal perimetral), por diferencia de densidades, el crudo flota. Por efecto de vasos comunicantes las aguas no contaminadas pasan del primer compartimiento al segundo. El crudo que va quedando en la parte alta de la trampa se recupera mediante una bomba.

Para su correcto funcionamiento es necesario que la trampa permanezca siempre con un nivel alto de agua.

Adicionalmente es importante recolectar o extraer los sólidos que han podido depositarse en el fondo de ésta.

En el diseño se debe tener en cuenta la velocidad del flujo del agua y la cantidad estimada de crudo a manejar, las cuales están íntimamente relacionadas con el tamaño de la trampa a instalar. (Ver Tabla 4.3)

**Tabla 4.3** Área de Influencia y Tiempo de Retención del Caudal

ESTEROS	AREA DE INFLUENCIA			VOLUMEN				TIEMPO DE RETENCIÓN					
								CAUDAL (l/s)		CAUDAL (bb) DE CRUDO			
	ALTURA (m)	AREA (m2)	T. ACEITES (m)	V (m3)	V (l)	V (g)	V (bb)	MINIMA	MÁXIMA	DERRAME LINEA DE FLUJO		DERRAME PISCINA CRUDO	
								HORAS (35 l/s)	MIN (1000 l/s)	T. RETENCIÓN (HORAS)		T. RETENCIÓN (HORAS)	
DIQUE 1	0,7	1943	0,3	582,9	582900	153985,98	3666,33	4,35	9	0,34 (bb)/min	179	0,5 (bb/seg)	2
	1	2504	0,3	751,2	751200	198446,16	4724,91	5,59	12	0,34 (bb)/min	231	0,5 (bb/seg)	2,34
	1,5	3886	0,3	1165,8	1165800	307971,95	7332,67	9,15	19	0,34 (bb)/min	359	0,5 (bb/seg)	4
DIQUE 2	0,7	1522	0,3	456,6	456600	120621,03	2871,93	3,34	7	0,34 (bb)/min	140	0,5 (bb/seg)	1,31
	1	1916	0,3	574,8	574800	151846,18	3615,39	4,3	9	0,34 (bb)/min	177	0,5 (bb/seg)	2
	1,5	2403	0,3	720,9	720900	190441,74	4534,33	5,44	12	0,34 (bb)/min	222	0,5 (bb/seg)	2,3

En la Tabla 4.3 se muestra algunas alturas para la construcción de los diques, cada una con su respectiva área de intervención, la trampa de aceites tendrá una altura de 0.3 m, por lo que se calcula el volumen en metros cúbicos (m3), litros (l) y barriles (bb) de crudo para lo que esta planificada esta trampa.

El tiempo de retención se calculó para el caudal promedio de agua que pasa por los esteros, como también para un derrame o efecto adverso que pase en la parte alta de la microcuenca.

Cabe manifestar que el tiempo de retención de la trampa de hidrocarburos se determinó, evaluando el espejo de agua sin tomar en cuenta el volumen que ocupa la vegetación y los sedimentos que se almacenan en la trampa.

#### 4.2.5. Pendiente de la Microcuenca

Con la topografía se logró establecer las curvas de nivel en la microcuenca del Río San Vicente, que sirven para conocer la pendiente que tiene el área estudiada. (Ver Anexo 1. Mapa 5)

**Tabla 4.4** Pendiente de la Microcuenca del río “San Vicente”

<b>PENDIENTE DE LA MICROCUENCA</b>		
<b>PENDIENTE (%)</b>	<b>AREA (m<sup>2</sup>)</b>	<b>PORCENTAJE AREA TOTAL (%)</b>
0-5 Plano	285666,92	28,97
5-12 Ligeramente Ondulado	43165,04	4,37
12-25 Ondulado	287715,96	29,08
25-50 Montañoso	184029,04	18,66
50-70 Muy Montañoso	57148,11	5,74
>70 Escarpado	129185,61	13,10
<b>TOTAL</b>		<b>100.0</b>

*Fuente: El Autor*

En la Tabla 4.4 se muestra la pendiente que tiene la microcuenca, el total del área ocupada por una misma pendiente y el porcentaje que representa dentro del área total.

El análisis de la microcuenca del río San Vicente, detalla que la pendiente con mayor porcentaje dentro del área es Ondulado, con una extensión de 287715 m<sup>2</sup>.

### **4.3. Procesamiento e Interpretación de los datos obtenidos de la Estación Meteorológica**

La estación meteorológica fue uno de los equipos primordiales para este estudio, y que fue obtenido, gracias al Apoyo del proyecto de remediación que realiza la Universidad Técnica del Norte, conjuntamente con el Centro de Transferencia de Tecnologías de la facultad de ingeniería en ciencias agropecuarias y ambientales.

## **Implantación**

Para la colocación de la estación meteorológica, primero hubo un diálogo con las autoridades pertinentes de la estación shushuqui, ya que se proporcionó el lugar y la seguridad para el equipo. (Ver Fotografía 4.12)



Fotografía 4.12 Estación Meteorológica HOBO ® Micro Station

En la foto se muestra el lugar en donde se implantó la estación meteorológica, y en donde se prestó la seguridad pertinente, ya que se encontraba dentro de las instalaciones de la estación de Bombeo Shushuqui.

## **Recolección de datos**

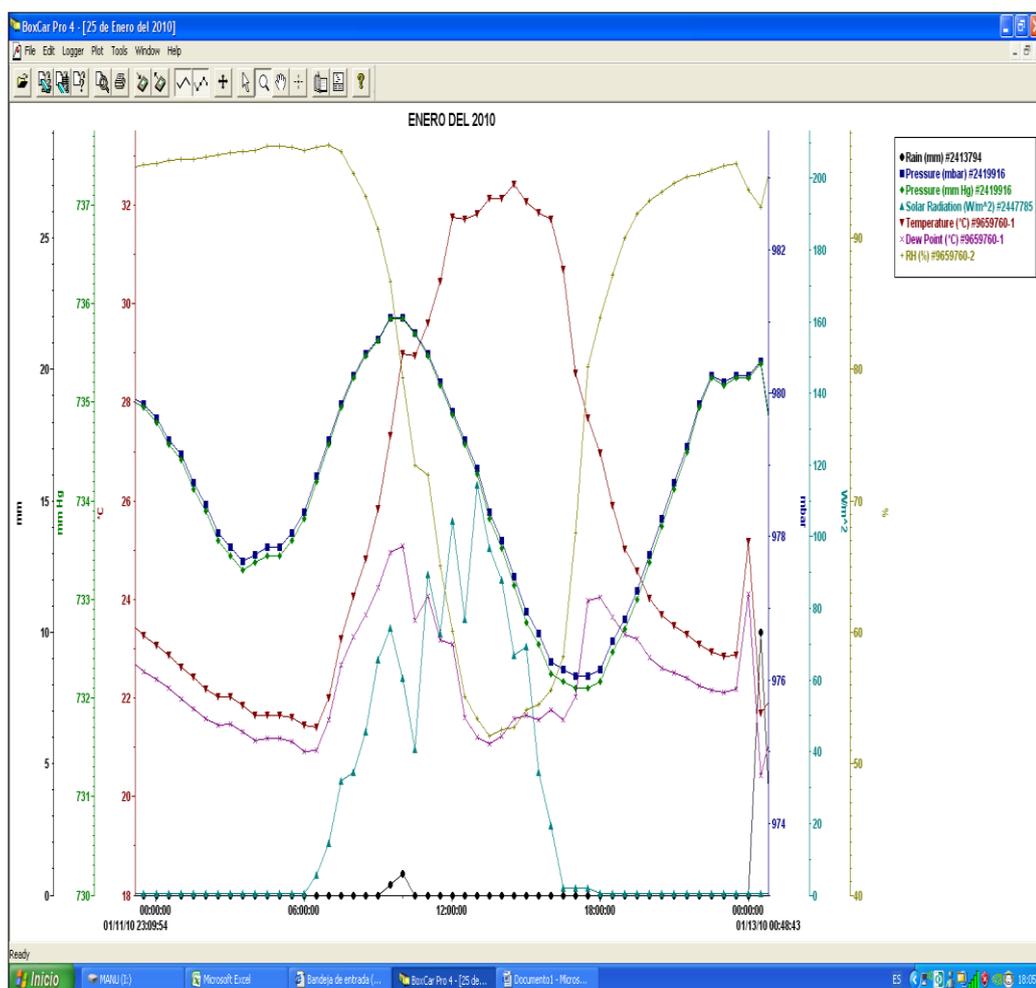
Durante el tiempo de este estudio, la recolección de datos se la realizó todos los días a partir de las 16h00.

## **Interpretación de los datos de la estación**

La estación fue programada para que registre los datos cada media hora, ya que se requería saber el tiempo que duraba la máxima precipitación durante el este estudio.

Los parámetros registrados son; Precipitación, Temperatura, Humedad Relativa, Punto de Rocío, Presión Atmosférica, y Radiación Solar.

El software que tiene la estación meteorológica es el BoxCar Pro 4, este es capaz de graficar todos los parámetros con diferentes escalas, dentro de un mismo diagrama. (Ver Gráfico 4.1)



***Gráfico 4.1 Parámetros Meteorológicos Programa BoxCar Pro 4***

En el Gráfico se muestra los parámetros obtenidos de la estación meteorológica, con el programa Box Car Pro 4, que es capaz de graficar cada uno de los

parámetros con sus respectivas escalas. (Ver Anexos. formato Microsoft Excel 2007-2010, CD CTT - FICAYA).

#### 4.3.1. Análisis de la Precipitación y Temperatura Mensual en las estaciones presentes en la región

##### 4.3.1.1. Estación Meteorológica Shushuqui

Descripción:

Ubicada dentro de las instalaciones de la estación de Petróleo Shushuqui.

Coordenadas geográficas: 0° 03' 30.44" N, 76° 34' 56.91" W.

Coordenadas UTM: X= 992193,410; Y= 10006480,548

Altitud: 270 m.s.n.m

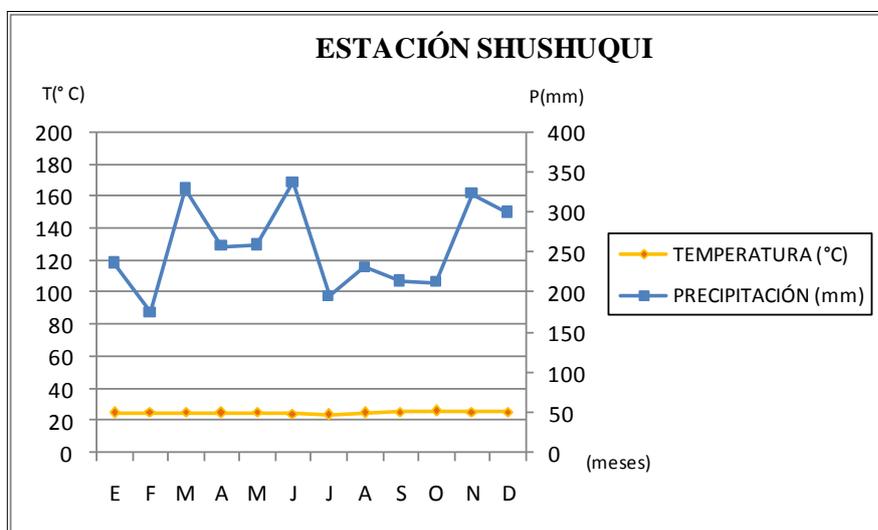
Periodo: 2010

**Tabla 4.5** Valores Promedios Estación Meteorológica Shushuqui

MESES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	x= AÑO	Σ= (mm)
TEMPERATURA (°C)	25,09	25,26	25,25	25	25,26	24,3	23,8	24,9	25,4	26,1	25,7	25,8	25,15	
PRECIPITACIÓN (mm)	237,15	174,8	329,7	257,8	259,6	337,1	196	231,1	214,2	212,7	323,2	300,4	256,14	3073,75
Ev. P (mm)		99,5	125										112,25	

Elaboración: Autor

Fuente: CTT – FICAYA 2010.



**Gráfico 4.2 Diagrama Ombrotérmico Estación Shushuqui**

En la Tabla 4.5 se muestra que el total de la precipitación anual fue de 3073,75mm con un promedio mensual de 256,14 mm, y una temperatura media de 25,15 ° C.

El tipo de bioclima de acuerdo a los valores de temperatura y precipitación pertenece a cálido húmedo.

De acuerdo al Gráfico 4.2 en el área de estudio, no se presentan meses ecológicamente secos, ya que la distribución de la precipitación mensual está muy por encima del doble de la temperatura media mensual.

Los meses en que se presentó la mayor cantidad de precipitación fueron los de marzo, junio y noviembre, mientras que el mes en donde se registró la menor cantidad de lluvia fue el mes de febrero.

4.3.1.2. Estación Nuevo Rocafuerte

Descripción:

Coordenadas geográficas: 0 55 0 S, 75 25 0 W.

Coordenadas UTM: X= 1121641, Y= 9898678

Código: M 007

Altitud: 265 m.s.n.m

Periodo: 2010

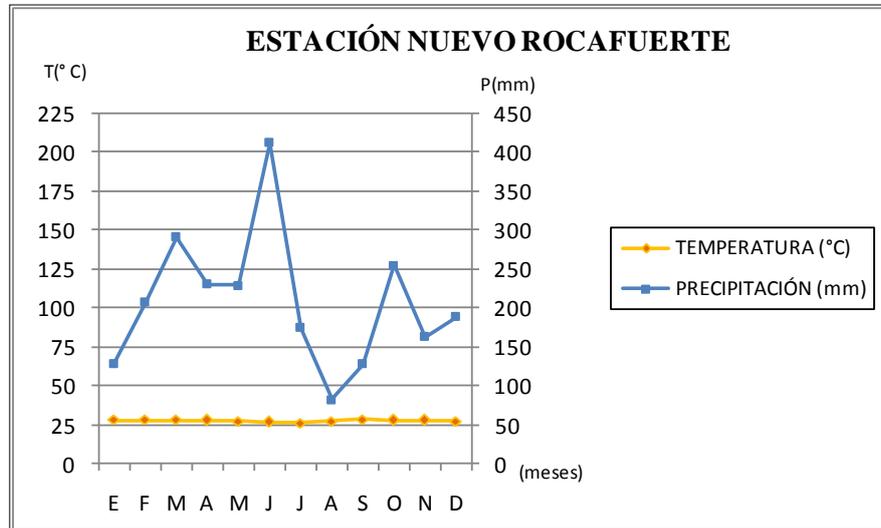
**Tabla 4.6 Valores Promedios Estación Nuevo Rocafuerte**

MESES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	x= AÑO	Σ= (mm)
TEMPERATURA (°C)	27,7	27,8	27,7	27,3	27,1	26,2	25,7	27	27,9	27,5	27,3	26,9	27,17	
PRECIPITACIÓN (mm)	128,6	206,5	290,7	230,9	229,7	412,9	174,1	82	128	255,5	162,9	188	207,48	2489,8

Ev.P (mm)	106,4	87,7	86,7	76,8	73,2	66,4	78,2	90,2	95,2	98,3	94,8	102,3	88,01	
-----------	-------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	-------	-------	--

Elaboración: Autor

Fuente: INAMHI2010.



**Gráfico 4.3 Diagrama Ombrotérmico Estación Nuevo Rocafuerte**

De acuerdo a los valores de la Tabla 4.6, la precipitación anual fue de 2489,8 mm con un promedio mensual de 207,48 mm, y una temperatura media de 27,1 °C.

Esta estación cuenta con un registro de datos de 25 años. Estudiando el año 2010 se repite que entre los meses en que más lluvias se presentan son el mes de Marzo y Junio; mientras los que se registra menos cantidad de lluvias son los de agosto, enero.

#### 4.3.1.3. Estación Lago Agrio

Descripción:

Coordenadas geográficas: 0 06 0 N, 76 53 0 W

Coordenadas UTM: X= 958394, Y= 10011059

Código: M 061

Altitud: 297 m.s.n.m

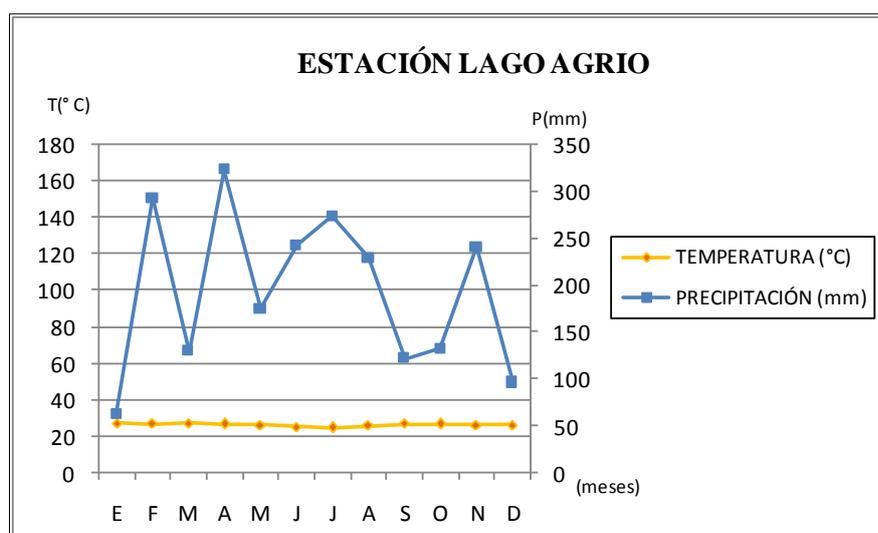
Periodo: 2010

**Tabla 4.7** Valores Promedios Estación Lago Agrio

MESES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	x= AÑO	Σ= (mm)
TEMPERATURA (°C)	27,4	26,9	27,1	26,6	26	25,1	24,6	25,9	26,9	26,7	26,3	26,1	26,3	
PRECIPITACIÓN (mm)	62,4	293,15	129,5	323	175	242	273,3	228,9	121,8	132,4	240,3	96,4	193,17	2318,15
Ev.P (mm)	87	84,8	83,9	88	87	71,9	83,1	101,3	103,9	113,5	100,7	93,4	91,54	

Elaboración: Autor

Fuente: INAMHI2010.



**Gráfico 4.4** Diagrama Ombrotérmico Estación Lago Agrio

En la Tabla 4.7 se indica que la precipitación anual para la estación de Lago Agrio fue de 2318,15 mm con un promedio mensual de 193,17 mm, y una temperatura media de 26,3 °C.

Esta estación se encuentra en la región oriental, teniendo una altitud de 297 msnm, es tomada en cuenta para el estudio, ya que cuenta con datos de más de 20 años, para el periodo del 2010 y de acuerdo al Gráfico 4.3.4, los meses en que se registro la mayor cantidad de pluviosidad fueron los de febrero, abril, y julio que sobrepasaron los 250 mm.

Mientras los meses en que se registró la menor cantidad de pluviosidad fueron los de diciembre y enero.

#### 4.3.1.4. Estación Tena

Descripción:

Coordenadas geográficas: 0 56 5 S, 77 48 50 W

Coordenadas UTM: X= 854799, Y= 9896559

Código: M070

Altitud: 665 m.s.n.m

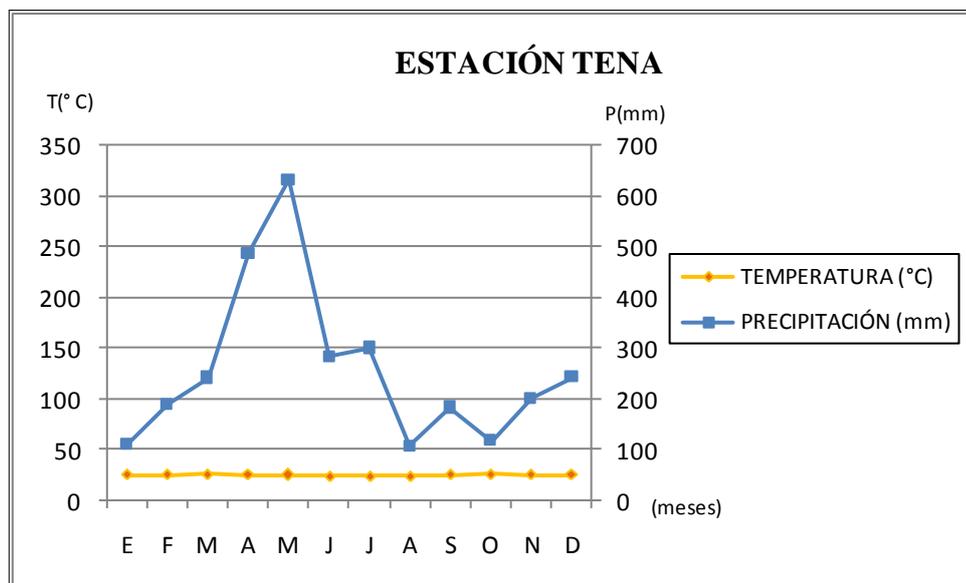
Periodo: 2010

**Tabla 4.8** Valores Promedios Estación Tena

MESES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	x= AÑO	$\Sigma=$ (mm)
TEMPERATURA (°C)	25,6	25,7	25,8	25,5	24,9	24,3	24	24,5	25,4	25,8	25,6	25,4	25,20	
PRECIPITACIÓN (mm)	109,8	189,2	242,3	487,9	632,5	283,1	300,9	108,1	183,6	117,6	201,4	243,1	258,29	3099,5
Ev.P (mm)	91,3	81,3	89	87,5	84,8	74,9	79,4	97,2	103,5	105,9	94,9	98,4	90,67	

Elaboración: Autor

Fuente: INAMHI2010.



**Gráfico 4.5** Diagrama Ombrotérmico Estación Tena

En la Tabla 4.8 se indica que la precipitación anual en la estación Tena fue de 3099,5 mm con un promedio mensual de 258,29 mm, y una temperatura media de 25,2 ° C.

En la estación se registró fuertes precipitaciones que se presentaron durante los meses de abril, mayo.

Mientras que la menor cantidad de precipitación se presentó durante los meses de enero, agosto y octubre.

#### 4.3.1.5. Estación Coca

Descripción:

Coordenadas geográficas: 0 27 0 S, 76 56 0 W

Coordenadas UTM: X= 952834, Y= 9950233

Código: M052

Altitud: 298 m.s.n.m

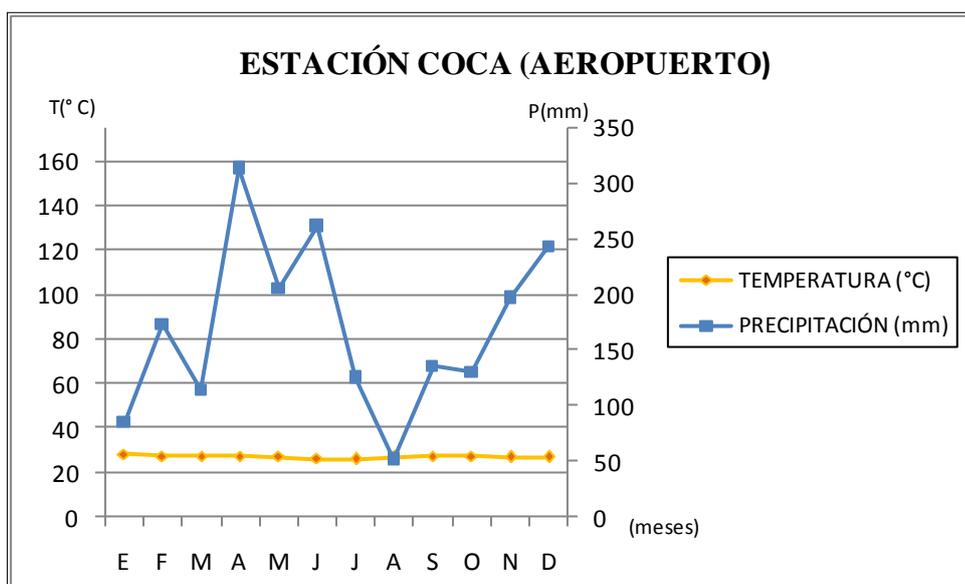
Periodo: 2010

**Tabla 4.9** Valores Promedios Estación Coca

MESES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	x= AÑO	Σ= (mm)
TEMPERATURA (°C)	28,2	27,4	27,6	27,5	27,1	26,2	26	26,8	27,6	27,6	27	26,9	27,15	
PRECIPITACIÓN (mm)	84,7	173,3	114,1	313,8	205,4	261,4	125,7	51,8	135,1	130,3	196,8	243,1	169,62	2035,5
Ev.P (mm)	91,3	81,3	89	87,5	84,8	74,9	79,4	97,2	103,5	105,9	94,9	98,4	90,67	

*Elaboración: Autor*

*Fuente: INAMHI2010.*



***Gráfico 4.6 Diagrama Ombrotérmico Estación Coca***

En la Tabla 4.9 se indica que la precipitación anual en la estación de El Coca fue de 2035,5 mm con un promedio mensual de 169,6mm, y una temperatura media de 27,15° C.

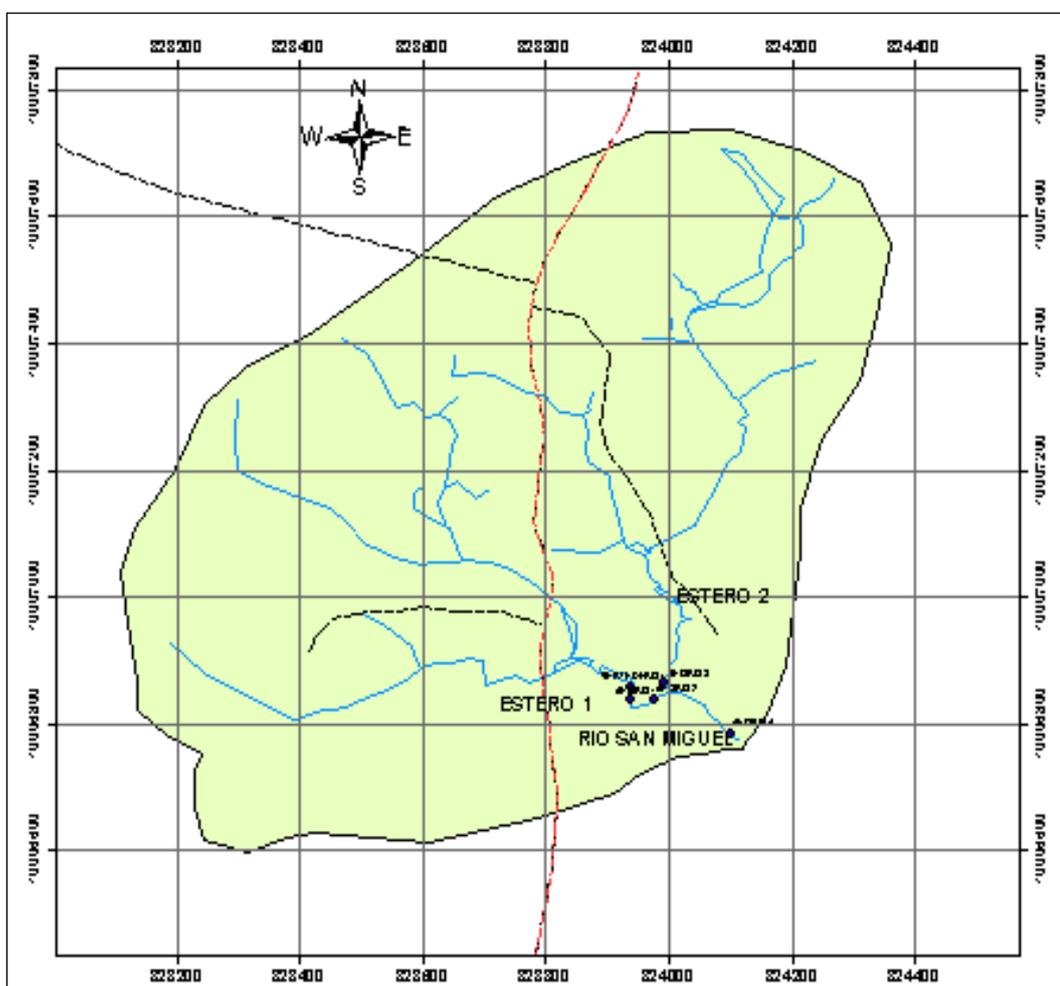
En la estación ubicada en el aeropuerto de la ciudad del Coca, los meses en que se registró la mayor cantidad de precipitaciones fueron: abril y junio.

Mientras que los meses en que se registró la menor cantidad de precipitación fueron los de agosto y enero.

#### **4.4. Caudales Mensuales y Curvas de Descarga**

En el área de estudio, existen 2 esteros principales que juntos, forman el Río San Vicente.

En el Gráfico 4.7 se muestra los puntos en donde se realizaron los aforos.



*Gráfico 4.7 Puntos de aforo en la microcuenca del río “San Vicente”*

Como se puede observar, cálculo del caudal, se lo realizó en los esteros más importantes que tiene la microcuenca, estos fueron diarios, los cuales permitieron tener una idea clara del caudal que pasa por estos puntos.

El lugar donde se realizaron los aforos, es en donde se construirá los diques, que servirán como una barrera, para evitar una posible contaminación que se puede dar por: desbordamiento de piscinas llenas de crudo o roturas por parte de la tubería en la parte alta de la microcuenca, que son los problemas más frecuentes en este sitio.

#### 4.4.1. Caudales obtenidos mediante el uso del Vertedero Triangular

El resultado de los aforos en los esteros de la microcuenca se muestra, en las siguientes tablas, con sus respectivos Hidrogramas mensuales.

- ✖ En el mes de Octubre se registraron los siguientes caudales:

**Tabla 4.10** Caudal Vertedero Triangular Octubre

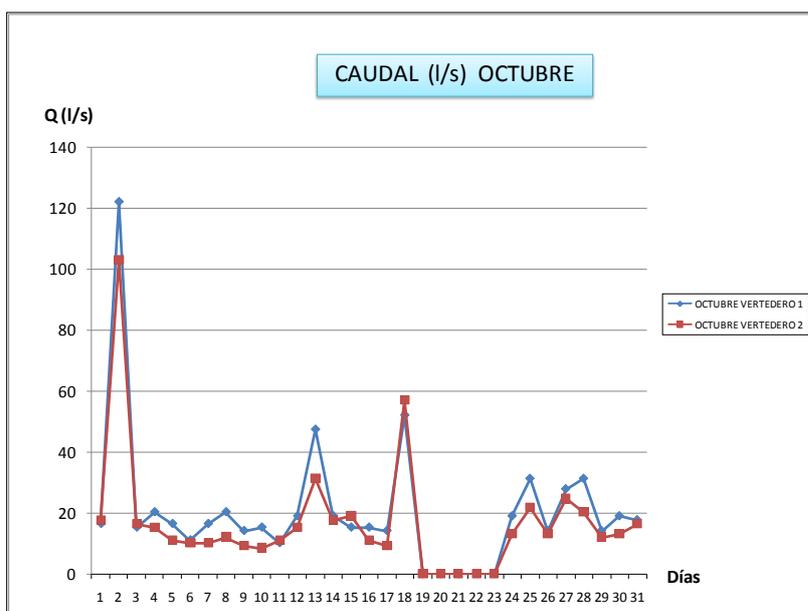
CAUDAL OCTUBRE		
Fecha:	VERTEDERO 1 Q=(l/s)	VERTEDERO 2 Q=(l/s)
1	16,45	17,68
2	122,10	103,04
3	15,27	16,45
4	20,31	15,27
5	16,45	11,08
6	11,08	10,15
7	16,45	10,15
8	20,31	12,05
9	14,15	9,27
10	15,27	8,44
11	10,15	11,07
12	18,97	15,27
13	47,40	31,26
14	18,97	17,68
15	15,27	18,97
16	15,27	11,08
17	14,15	9,27
18	52,07	57,02
El día 19 se presentan fuertes precipitaciones ocasionando daños, en los dos vertederos.		
24	18,97	13,07
25	31,26	21,70
26	14,15	13,07
27	27,84	24,66
28	31,26	20,36
29	14,15	12,05
30	18,97	13,07
31	17,68	16,45
Máxima	122,11	103,04
Media	24,40	19,96
Mínima	10,15	8,44

*Fuente: El Autor*

En la Tabla 4.10 se muestra el resultado de los aforos realizados mediante el uso de vertedero triangular Thompson, en donde identifica que el día 02 de octubre

del 2009, se presentó una máxima crecida en la altura de la carga efectiva, llegando a 0,3808 m, teniendo un caudal de 122 l/s. en el vertedero #1 y 0,3558 m de altura efectiva en el vertedero #2, teniendo un caudal de 103 l/s.

Durante el mes de octubre se tuvo un promedio de 24,39 l/s en el estero 1 y un



promedio 19,98 en el estero #2.

***Gráfico 4.8 Hidrograma Vertedero Triangular Octubre***

En el Hidrograma del mes de octubre se presentan 2 picos de crecidas en los esteros, el uno registrado el día 2, mientras que el otro pico se produjo el día 19, en donde no se registra la cantidad de caudal que fluía, ya que la fuerte escorrentía ocasionó daños en los vertederos.

- ✘ En el mes de noviembre se registraron los siguientes caudales:

**Tabla 4.11** Caudal Vertedero Triangular Noviembre

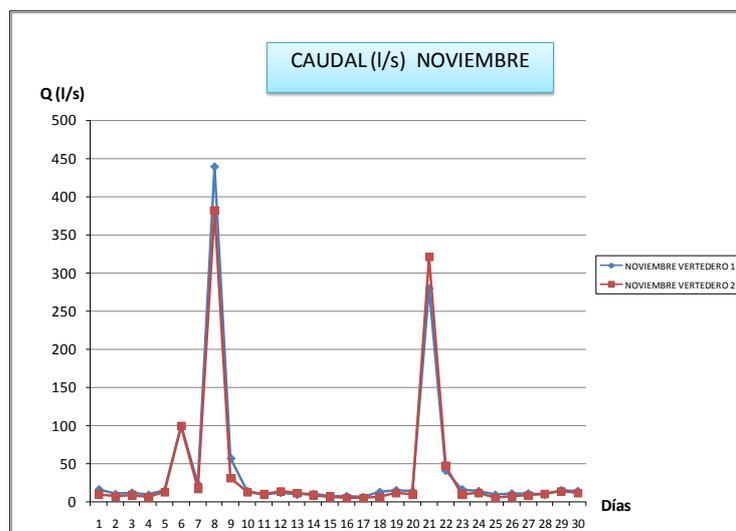
<b>CAUDAL NOVIEMBRE</b>		
Fecha:	VERTEDERO 1 Q=(l/s)	VERTEDERO 2 Q=(l/s)
1	16,45	10,15
2	10,15	7,65
3	12,05	9,27
4	9,27	6,22
5	15,27	13,07
6	99,46	99,46
7	23,15	17,68
8	439,85	381,79
9	57,02	31,26
10	14,15	13,07
11	9,27	10,15
12	12,05	14,14
13	9,27	12,05
14	10,15	9,27
15	7,66	6,92
16	7,66	5,57
17	6,23	5,57
18	13,07	6,22
19	15,27	12,05
20	14,13	10,15
21	280,11	321,38
22	40,88	47,40
23	16,45	10,15
24	14,15	12,05
25	9,27	5,57
26	11,08	7,66
27	11,08	8,44
28	9,27	11,08
29	15,27	14,15
30	14,14	12,05
Máxima	439,85	381,80
Media	40,78	37,72

Mínima	6,23	5,58
--------	------	------

*Fuente: El Autor*

En la Tabla 4.11 se muestra el resultado de los aforos del mes de noviembre, en donde se identificó, que el día 08 de noviembre se presentó la máxima crecida, con una altura efectiva de 0,6358 m y un caudal de 439 l/s en el vertedero 1, con una altura de 0,6008 m y 381 l/s en el segundo vertedero.

Durante el mes de noviembre se tuvo un promedio de 40,77 l/s en el estero #1, y un promedio de 37,72 l/s en el estero #2.



**Gráfico 4.9 Hidrograma Vertedero Triangular Noviembre**

En el Hidrograma del mes de noviembre se identifican tres picos notorios de crecidas en los esteros, la primera registrada el día 6, la segunda más elevada, registrada el día 8 con aproximadamente 400 l/s, y la tercera el día 21.

- ✘ En el mes de diciembre se presentaron los siguientes caudales:

**Tabla 4.12 Caudal Vertedero Triangular Diciembre**

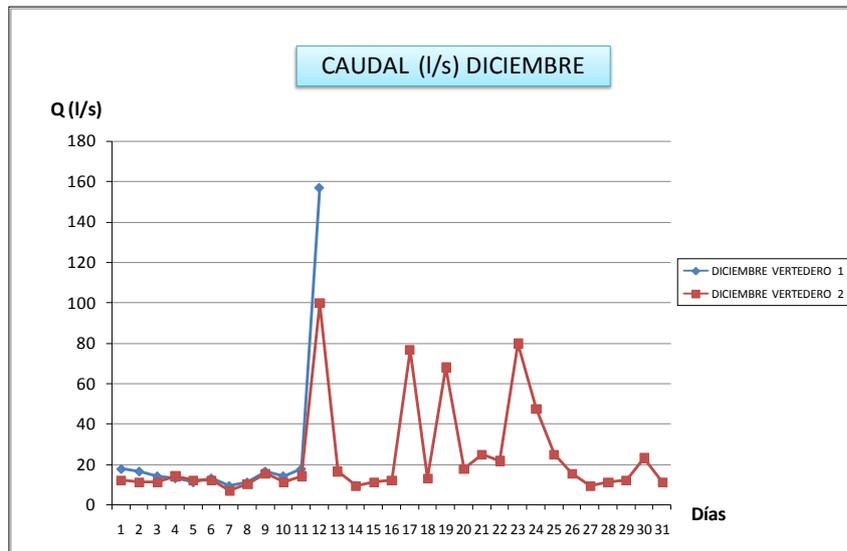
CAUDAL DICIEMBRE		
Fecha:	VERTEDERO 1 Q=(l/s)	VERTEDERO 2 Q=(l/s)
1	17,68	12,05
2	16,45	11,07
3	14,14	11,07
4	13,07	14,14
5	11,07	12,05
6	13,07	12,05
7	9,27	6,92
8	11,07	10,15
9	16,45	15,27
10	14,14	11,07
11	17,68	14,14
12	156,74	99,46
13		16,45
14		9,27
15		11,07
16		12,05
17		76,47
18		13,07

19		67,71
20		17,68
21		24,65
22		21,69
23		79,54
24		47,39
25		24,65
26		15,27
27		9,27
28		11,07
29		12,05
30		23,14
31		11,07
Máxima	156,74	99,46
Media	25,90	23,64
Mínima	9,27	6,92

*Fuente: El Autor*

En la Tabla 4.12 se muestra el resultado de los aforos del mes de diciembre, en donde se identificó que en la madrugada del 12 de diciembre se presenta una fuerte precipitación, causando daños en el vertedero 1, ya que se desprendió de la parte en donde estaba sujeto, el caudal máximo que se registra es de 156,745 l/s, con una altura efectiva de 0,4208.

Durante el mes de diciembre se tuvo un promedio de 25,907 l/s en el estero #1, y un promedio de 23,64 l/s para el estero #2.



**Gráfico 4.10 Hidrograma Vertedero Triangular Diciembre**

En el Hidrograma del mes de diciembre se identifica 4 picos de crecidas, la primera con un caudal aproximado de 160 l/s, ocasiona daños en el vertedero 1, por lo que no se puede registrar el caudal en las otras tres crecidas.

- ✘ En el mes de enero se registran los siguientes caudales

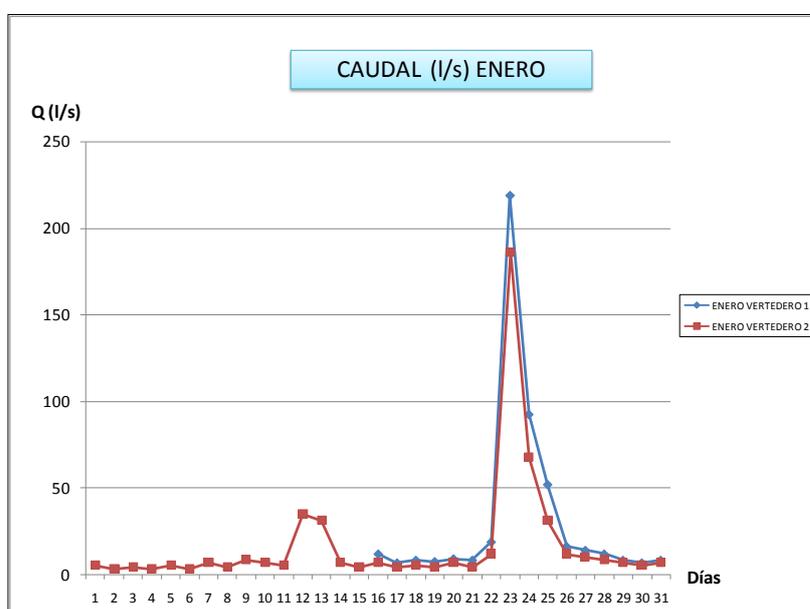
**Tabla 4.13** Caudal Vertedero Triangular Enero

<b>CAUDAL ENERO</b>		
Fecha:	VERTEDERO 1 Q=(l/s)	VERTEDERO 2 Q=(l/s)
1		5,57
2		3,39
3		4,40
4		3,39
5		5,57
6		3,39
7		6,92
8		4,40
9		8,44
10		6,92
11		5,57
12		34,92
13		31,26
14		6,92
15		4,40
16	12,05	6,92
17	6,92	4,40
18	8,44	5,57
19	7,65	4,40
20	9,27	6,92
21	8,44	4,40
22	18,96	12,05
23	218,73	186,19
24	92,52	67,72
25	52,07	31,26
26	16,45	12,05
27	14,14	10,15
28	12,05	8,44
29	8,44	6,92
30	6,92	5,57
31	8,44	6,92
Máxima	218,73	186,19
Media	31,34	23,74
Mínima	6,92	4,40

*Fuente: El Autor*

En la Tabla 4.13 se muestra el resultado de los aforos del mes de enero, en donde se identificó que la máxima crecida que tuvo el vertedero 1 fue el día 23, con una altura efectiva de 0,4808 m y un caudal de 218,734 l/s, mientras que la crecida que tuvo el vertedero 2 fue de 0,4508 m y un caudal de 186,193 l/s.

Durante el mes de enero se tuvo un promedio de 31,34 l/s en el estero #1, y un promedio de 23,744 l/s para el estero #2.



***Gráfico 4.11 Hidrograma Vertedero Triangular Enero***

En el Hidrograma del mes de enero solo se presenta un pico de crecida el día 23 con un caudal aproximado de 200 l/s.

✘ En el mes de febrero los resultados del cálculo del caudal fueron:

**Tabla 4.14 Caudal Vertedero Triangular Febrero**

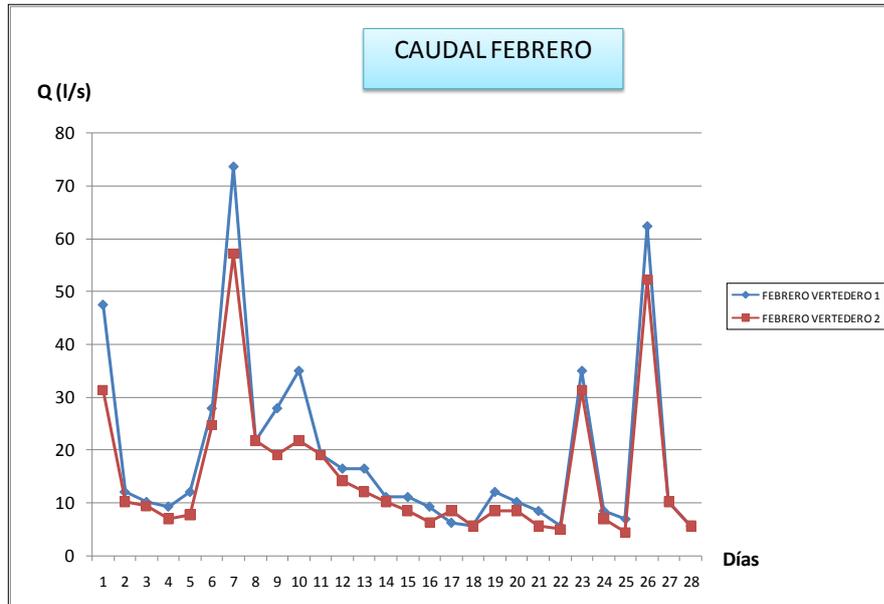
CAUDAL FEBRERO		
Fecha:	VERTEDERO 1 Q=(l/s)	VERTEDERO 2 Q=(l/s)
1	47,39	31,26
2	12,05	10,15
3	10,15	9,27
4	9,27	6,92
5	12,05	7,65

6	27,84	24,65
7	73,48	57,01
8	21,69	21,69
9	27,84	18,96
10	34,92	21,69
11	18,96	18,96
12	16,45	14,14
13	16,45	12,05
14	11,07	10,15
15	11,07	8,44
16	9,27	6,22
17	6,22	8,44
18	5,57	5,57
19	12,05	8,44
20	10,15	8,44
21	8,44	5,57
22	5,57	4,96
23	34,92	31,26
24	8,44	6,92
25	6,92	4,40
26	62,22	52,07
27	10,15	10,15
28	5,57	5,57
Máxima	73,48	57,01
Media	19,15	15,39
Mínima	5,57	4,40

*Fuente: El Autor*

En la Tabla 4.14 se muestra el resultado de los aforos del mes de febrero, en donde se identificó que la máxima crecida fue registrada el día 07, con una altura efectiva de 0,3108 m y un caudal de 73,48 l/s en el vertedero 1, y una altura de 0,2808 m, y con un caudal de 57,016 l/s en el vertedero 2.

Durante el mes de febrero se tuvo un promedio de 19,15l/s en el estero #1, y un promedio de 15,39 l/s para el estero #2.



**Gráfico 4.12 Hidrograma Vertedero Triangular Febrero**

En el Hidrograma del mes de febrero se identifica que, los picos de crecida no son significativos ya que varían de entre 10 y 30 l/s durante la mayoría de los días.

- ✘ En el mes de marzo se registraron los siguientes caudales.

**Tabla 4.15 Caudal Vertedero Triangular Marzo**

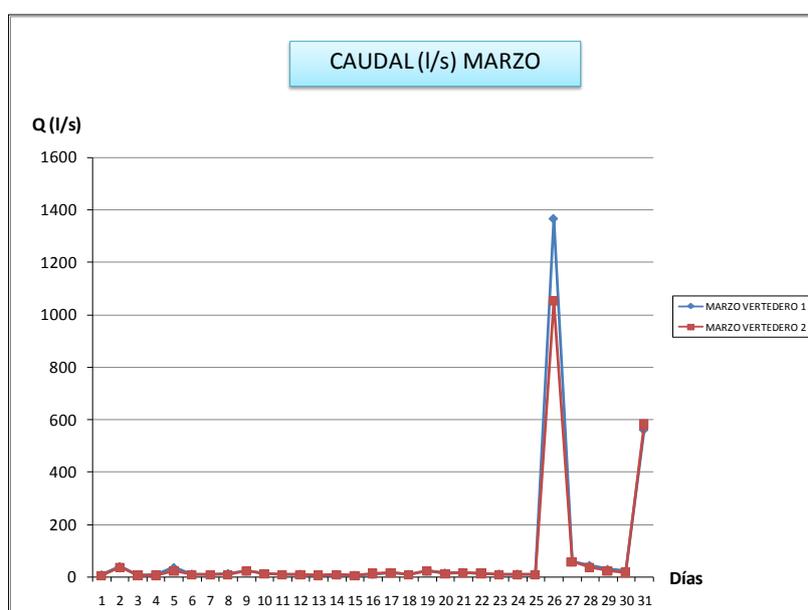
CAUDAL MARZO		
Fecha:	VERTEDERO 1 Q=(l/s)	VERTEDERO 2 Q=(l/s)
1	6,92	4,40
2	38,82	34,92
3	5,57	5,57
4	6,92	5,57
5	34,92	21,69
6	10,15	8,44
7	8,44	6,92
8	12,05	8,44
9	21,69	21,69
10	12,05	11,07
11	8,44	8,44
12	9,27	8,44
13	5,57	5,57
14	8,44	6,92
15	4,96	4,40
16	10,15	12,05
17	16,45	14,14
18	8,44	8,44
19	21,69	20,30
20	14,14	10,15

21	16,45	14,14
22	12,05	12,05
23	10,15	8,44
24	10,15	8,44
25	9,27	8,44
26	1367,33	1050,93
27	57,01	57,01
28	42,98	34,92
29	27,84	21,69
30	21,69	16,45
31	561,03	581,26
Máxima	1367,33	1050,93
Media	77,45	65,85
Mínima	4,96	4,40

*Fuente: El Autor*

En la Tabla 4.15 se muestra el resultado de los aforos del mes de marzo, en donde se identificó la mayor crecida durante el tiempo de la fase de campo, que fue registrada con una altura estimada de 1,0008 m y un caudal de 1367,33 l/s, mientras que en el segundo vertedero se registró una altura de 0,9008m y un caudal de 1050,936 l/s.

Durante el mes de marzo se tuvo un promedio de 77,45 l/s en el estero #1, y un promedio de 65,85 l/s para el estero #2.



***Gráfico 4.13 Hidrograma Vertedero Triangular Marzo***

En el Hidrograma del mes de marzo se puede identificar claramente dos picos de crecidas.

La primera dada el 26 de marzo, con un caudal aproximado de 1400 l/s, en la cual se identificaron daños en el vertedero 1 y 2, como también en unidades de tratamiento de suelo, que se encontraban en las pendientes planas cercanas a los esteros, mientras que la segunda se presentó el día 31.

#### 4.4.1.1. Caudal promedio Método Vertedero Triangular Thompson

**Tabla 4.16** Caudal promedio esteros de la microcuenca del Río San Vicente

<b>CAUDAL PROMEDIO EN EL SEMESTRE</b>		
<b>FECHA:</b>	<b>ESTERO 1 (l/s)</b>	<b>ESTERO 2 (l/s)</b>
<b>Octubre</b>	24,39	19,98
<b>Noviembre</b>	40,77	37,72
<b>Diciembre</b>	14,09	23,64
<b>Enero</b>	31,34	23,74
<b>Febrero</b>	19,152	15,39
<b>Marzo</b>	77,45	65,85
<b>Promedio</b>	34,532	31,053

*Fuente: El Autor*

En la Tabla 4.16 se muestra el caudal promedio durante seis meses de aforos diarios. Teniendo que para el primer estero se tiene un promedio de 34,53 l/s y para el segundo estero un promedio de 31,053 l/s, se debe tomar en cuenta que juntos estos dos esteros forman el río San Vicente, por lo que se tiene un caudal promedio del río.

#### 4.4.2. Caudales obtenidos mediante el uso del Molinete Electrónico

Cabe mencionar que para acreditar los aforos que se realizaron en los esteros, se tuvo que realizar algunas mediciones las cuales fueron identificadas con rótulos y monitoreadas diariamente.

**Tabla 4.17** Georeferenciación Puntos de aforo en la Microcuenca

<b>Detalle</b>	<b>Aforos</b>	<b>Coordenadas</b>
Estero 1	Punto de aforo 1	X:323930 Y:10006838
	Punto de aforo 2	X:323979 Y:10006843
Estero 2	Punto de aforo 3	X:323992 Y:10006854
Unión estero 1 y 2 (Río San Vicente)	Punto de aforo 4	X:324106 Y:10006773
Estero 3	Punto de aforo 5	X:324231 Y:10006701

*Fuente: El Autor*

- Diciembre

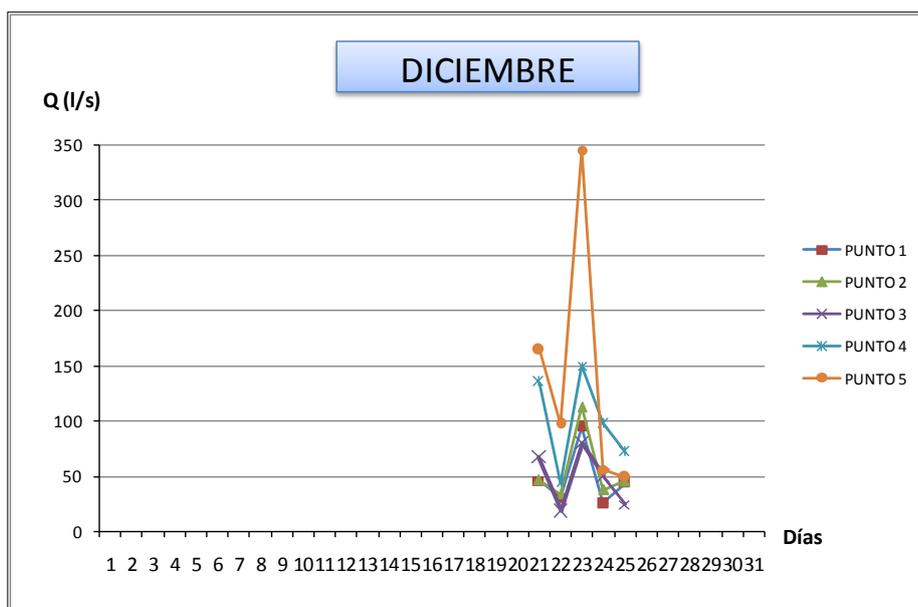
El resultado de los aforos se presenta en la siguiente Tabla:

**Tabla 4.18** Caudal Molinete Electrónico Diciembre

<b>CAUDAL DICIEMBRE (l/s)</b>					
<b>Fecha:</b>	<b>PUNTO 1</b>	<b>PUNTO 2</b>	<b>PUNTO 3</b>	<b>PUNTO 4</b>	<b>PUNTO 5</b>
21	45,60	46,33	67,08	135,20	164,71
22	30,34	33,20	18,19	43,29	96,93
23	94,50	112,70	79,90	149,91	345,55
24	25,01	37,39	49,87	97,36	55,82
25	43,25	45,22	24,05	71,22	48,58
<b>Máxima</b>	<b>94,50</b>	<b>112,70</b>	<b>79,90</b>	<b>149,91</b>	<b>345,55</b>
<b>Media</b>	<b>47,74</b>	<b>54,97</b>	<b>47,82</b>	<b>99,40</b>	<b>142,32</b>
<b>Mínima</b>	<b>25,01</b>	<b>33,20</b>	<b>18,19</b>	<b>43,29</b>	<b>48,58</b>

*Fuente: Autor*

En la Tabla 4.18 se muestra los resultados obtenidos mediante la utilización del molinete electrónico Rickly Hidrological Co. Durante el mes de diciembre, en los puntos georeferenciados anteriormente.



**Gráfico 4.14 Hidrograma Molinete Electrónico Diciembre**

En el gráfico 4.14 se muestra el caudal obtenido durante 5 días de aforo, en donde se observa claramente que el punto de aforo 5 es superior a los demás ya que pertenece a otra microcuenca, que se encuentra en la parte baja, también se muestra el punto 4 que es el resultado de la suma del punto 2(estero 1) y 3(estero 2) perteneciente al río San Vicente.

- Enero

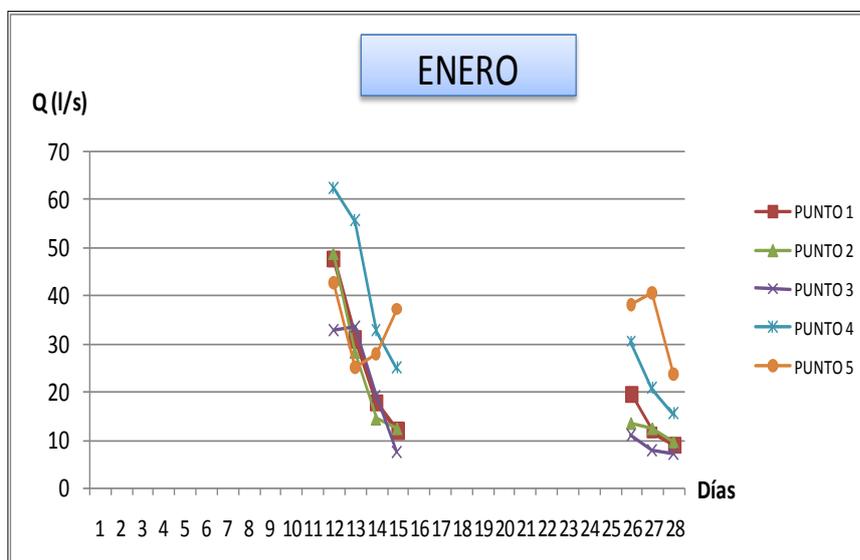
El resultado de los cálculos se presenta en la siguiente Tabla:

**Tabla 4.19 Caudal Enero Molinete Electrónico Enero**

CAUDAL ENERO (l/s)					
Fecha:	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PUNTO 4	PUNTO 5
12	47,53	48,77	33,04	62,55	42,85
13	30,97	28,16	33,70	55,65	25,20
14	17,67	10,71	8,54	32,68	28,14
16	12,02	12,25	7,44	24,98	37,35
27	19,47	13,35	10,95	30,49	38,20
28	11,60	12,26	7,75	20,66	40,77
31	9,06	9,45	7,01	15,36	23,77
<b>Máxima</b>	47,53	48,77	33,70	62,55	42,85
<b>Media</b>	27,05	25,86	23,32	43,97	33,38
<b>Mínima</b>	9,06	9,45	7,01	15,36	23,77

*Fuente: El Autor*

En la Tabla 4.19 se indica los resultados de los aforos mediante el uso del molinete electrónico, los cuales sirven para realizar una comparación con los caudales obtenidos mediante el uso del vertedero triangular.



***Gráfico 4.15 Hidrograma Molinete Electrónico Enero***

En el gráfico 4.15 se identifica el caudal en los diferentes puntos de aforo, teniendo como un máximo de 62,50 l/s en el punto de aforo 4 perteneciente al río San Vicente, el día 12 de enero.

- Febrero

El resultado de las mediciones se presenta en la siguiente Tabla.

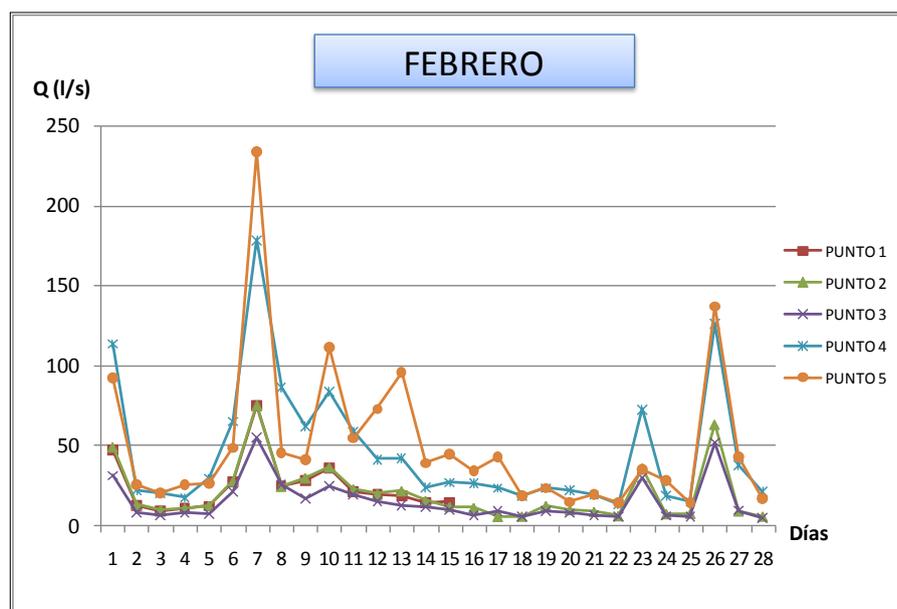
**Tabla 4.20 Caudal Molinete Electrónico Febrero**

CAUDAL FEBRERO (l/s)					
Fecha:	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PUNTO 4	PUNTO 5
1	47,03	49,16	31,22	113,64	92,21
2	12,24	12,99	8,03	21,92	25,96
3	8,66	9,94	6,45	19,80	20,48
4	10,45	10,69	7,50	17,19	25,52
5	11,79	12,30	7,22	29,37	26,75
6	27,04	27,62	21,16	65,05	48,78
7	74,66	75,50	55,29	178,67	233,64
8	24,39	24,45	25,66	86,34	45,75
9	27,85	29,71	16,71	61,80	41,58
10	35,77	36,45	24,75	83,59	111,19
11	20,73	22,70	19,3	58,78	54,71
12	19,07	19,78	14,94	41,44	73,06

13	18,12	21,57	12,61	41,89	95,95
14	14,17	15,55	11,80	23,94	39,21
15	14,46	11,66	9,87	26,91	45,07
16		11,11	6,33	26,42	34,18
17		5,48	9,15	23,20	42,83
18		5,62	5,16	18,08	18,64
19		12,31	8,96	23,26	23,60
20		9,74	7,53	22,01	14,86
21		8,60	6,24	18,93	19,63
22		5,92	5,65	13,20	14,42
23		35,85	29,8	72,71	35,49
24		7,16	5,88	18,76	28,56
25		7,44	5,51	14,53	14,49
26		63,35	52,08	126,09	137,10
27		8,89	9,19	37,87	42,91
28		5,65	4,39	21,31	17,00
Máxima	74,66	75,50	55,29	178,67	233,64
Media	13,08	20,26	15,30	46,67	50,84
Mínima	8,66	5,48	4,39	13,20	14,42

Fuente: El Autor

En la Tabla 4.20 se muestra los resultados obtenidos con el molinete electrónico para el mes de febrero, cabe mencionar que los días que están en blanco, corresponden a que en esta fecha el sitio de aforo 1, estaba obstaculizado por el uso del caudal para bombear agua hacia el pantano que se encontraba contaminado con hidrocarburos, producto del derrame.



**Gráfico 4.16 Hidrograma Molinete Electrónico Febrero**

- Marzo

El resultado del cálculo de los aforos se presenta en la siguiente Tabla.

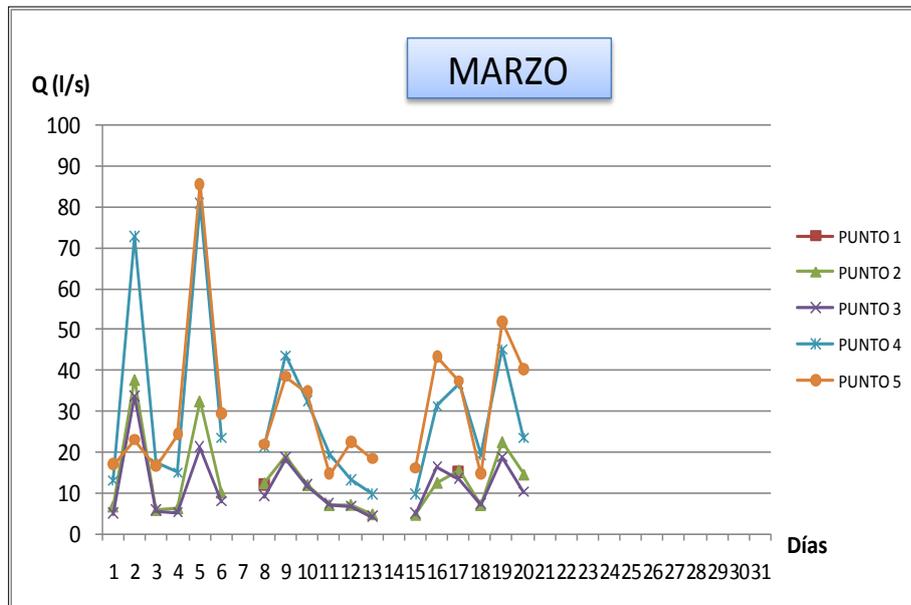
**Tabla 4.21 Caudal Molinete Electrónico Marzo**

CAUDAL MARZO (l/s)					
Fecha:	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PUNTO 4	PUNTO 5
1		6,81	4,85	13,24	16,91
2		37,83	33,64	72,68	23,01
3		5,96	5,79	17,41	16,51
4		6,41	5,12	15,17	24,28
5		32,59	21,11	80,90	85,84
6		10,26	7,89	23,63	29,45
8	12,01	12,53	9,24	21,42	21,91
9		18,86	18,43	43,68	38,61
10		12,07	11,91	32,56	34,79
11		7,17	7,29	19,37	14,60
12		7,23	6,64	13,33	22,51
13		4,92	4,12	9,95	18,37
15		4,78	4,92	9,87	15,96
16		12,63	16,35	31,35	43,53
17	15,38	15,69	13,49	36,85	37,46
18		7,17	7,29	19,37	14,60
19		22,60	18,62	45,24	52,08
20		14,65	10,22	23,55	40,30
Máxima	15,38	37,83	33,64	80,90	85,84
Media	1,37	12,01	10,34	<b>26,48</b>	28,98
Mínima					

*Fuente: El Autor*

La Tabla 4.21 muestra el caudal obtenido de los aforos diarios realizados mediante el uso del molinete electrónico, durante el mes de marzo.

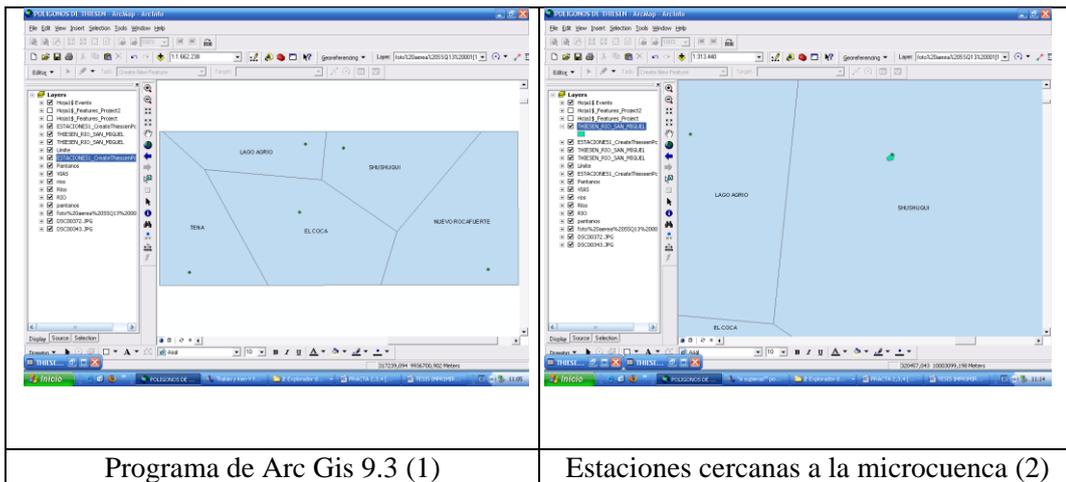
Cabe mencionar que en los días en que se presentaron las máximas crecidas no se empleo el molinete electrónico, es por esta razón que en el Hidrograma 4.17 se tiene picos de crecida de solo 90 l/s, en comparación al Hidrograma 4.13 en donde se observa picos de crecida de hasta 1050 l/s.



**Gráfico 4.17 Hidrograma Molinete Electrónico Marzo**

#### 4.4.3. Caudales Mensuales obtenidos mediante el Método de Polígonos de Thiesen

Para determinar el caudal promedio mensual de la microcuenca del rio san Vicente por medio del método de polígonos de thiesen, se empleó la herramienta de Arcgis 9.3



Programa de Arc Gis 9.3 (1)

Estaciones cercanas a la microcuenca (2)

**Gráfico 4.18 Caudal Método Polígonos de Thiesen**

En donde se obtuvo los siguientes resultados:

**Tabla 4.22** Caudal Polígonos de Thiesen Febrero

Microcuenca del Rio San Vicente	
Estación shushuqui	X: 992221 Y: 10007611
Precipitación	174,8 mm
Temperatura	25,26 °C
ETp:	99,5
Escorrentía:	75,3 mm
Área:	991091,21 m <sup>2</sup>
Caudal:	30,84 l/s

*Fuente: El Autor*

En la Tabla 4.22 se muestran el caudal, obtenido por el método de polígonos de Thiesen, durante el mes de febrero, dando como resultado un caudal de 30 l/s aproximadamente.

**Tabla 4.23** Caudal Polígonos de Thiesen Marzo

Microcuenca del Rio San Vicente	
Estación shushuqui	X: 992221 Y: 10007611
Precipitación	329,67 mm
Temperatura	25,14 °C
ETp:	125
Escorrentía:	204,67 mm
Área:	991091,21 m <sup>2</sup>
Caudal:	75,73 l/s

*Fuente: El Autor*

En la Tabla 4.23 se muestra el caudal, obtenido por el método de polígonos de Thiesen, durante el mes de marzo, dando como resultado un caudal de 75 l/s aproximadamente.

4.4.3.1. Caudal promedio anual Método Polígono de Thiesen

**Tabla 4.24** Caudal promedio anual método polígonos de Thiesen

Microcuenca del Rio San Vicente	
Estación shushuqui	X: 992221 Y: 10007611
Precipitación	3073,75 mm
Temperatura	25,15 °C
ETp:	1482,08
Escorrentía:	1591,67 mm
Área:	991091,21 m <sup>2</sup>
Caudal:	50,02 l/s

*Fuente: El Autor*

En la Tabla 4.24 se puede conocer el caudal promedio anual en la microcuenca del río san Vicente, utilizando el método de polígonos de Thiesen cuyo resultado es de 50,02 l/s aproximadamente.

4.4.3.2. Caudal promedio anual Método Isoyetas periodo 2010

Es uno de los métodos más precisos para el cálculo de la precipitación, con la cual también se puede llegar a obtener el resultado del caudal.

La herramienta utilizada para el cálculo respectivo fue el ARC GIS 9.3

**Tabla 4.25** Caudal promedio anual método Isoyetas

Microcuenca del Rio San Vicente	
Estación shushuqui	X: 992221 Y: 10007611
Precipitación Shushuqui	3073,75 mm
Precipitación Tena	3099,5 mm
Temperatura Shushuqui	25,15 °C
Temperatura Tena	25,20 °C
ETp:	1483,5 mm

Escorrentía:	1603,125 mm
Área:	991091,21 m <sup>2</sup>
Caudal:	50,38 l/s

*Fuente: El Autor*

En la Tabla 4.25 se identifica el caudal promedio anual en la microcuenca del río San Vicente, utilizando el método de Isoyetas, cuyo resultado es de 50,38 l/s aproximadamente.

#### 4.4.3.3. Caudal Promedio de la microcuenca del río “San Vicente”

Para el cálculo del caudal promedio en la microcuenca, se trabajó con todos los caudales a través de diferentes métodos, como se muestra en el cuadro siguiente.

En donde se tiene como resultado un caudal aproximado de 50l/s para el río “San Vicente”

**Cuadro 4.6 Resumen de Caudal periodo 2010**

Cuadro de resúmenes de caudales medios obtenidos en los esteros de la microcuenca del río "San Vicente"									
Periodo 2009 - 2010	Aforo método vertedero triangular (l/s)		Aforo método molinete electrónico (l/s)			Caudal método polígonos de thiesen (l/s)		Caudal método isoyetas (l/s) periodo 2010	Caudal método isoyetas (l/s) periodo 1980 - 2009
	PUNTOS DE AFORO		PUNTOS DE AFORO	Q= l/s	Detalle	Mensual	Anual	Anual	Anual
Oct.	Estero 1	24,39							
	Estero 2	19,98							
Nov.	Estero 1	40,77							
	Estero 2	37,72							
Dic.	Estero 1	25,9							
	Estero 2	23,64							
Ene.	Estero 1		AFORO 1	27,052					
		31,14	AFORO 2	25,86					
	Estero 2	23,74	AFORO 3	23,32					
	RÍO		AFORO 4	43,97					
	Estero 3		AFORO 5	33,38					
Feb.	Estero 1		AFORO 1	13,08	Lavado - pantano agua utilizada aforo 1				
		19,15	AFORO 2	20,26					
	Estero 2	15,39	AFORO 3	15,3					
	RÍO		AFORO 4	46,67		30,84			
	Estero 3		AFORO 5	50,84					
Mar.	Estero 1	77,45			mes en que se presenta > precipitación				
	Estero 2	65,85							
	RÍO						75,73		
	Estero 3								
Anual							50,02	50,37	57,43
Media	Estero 1	36,47		23,06					
	Estero 2	31,05		19,31					
	Río	67,52		45,32		53,285	50,02	50,37	57,43
	Estero 3			42,11					

Fuente: El Autor

#### 4.5. Caudal Ecológico promedio Mensual

##### Caudal Ecológico

En los esteros aforados, se calculó el caudal ecológico promedio mensual, a partir de las mediciones obtenidas durante un bimestre, considerando el 10 % del caudal promedio mensual, siguiendo los criterios de Tennant:

En el primer estero se consiguió registrar los siguientes caudales.

**Tabla 4.26** Caudal Ecológico Estero 1

Caudal Ecológico Estero 1	
Fecha/ Mes	Q=(l/s)
<b>Octubre</b>	<b>2,43</b>
<b>Noviembre</b>	<b>4,07</b>
<b>Diciembre</b>	<b>3,89</b>
<b>Enero</b>	<b>2,15</b>
<b>Febrero</b>	<b>2,12</b>
<b>Marzo</b>	<b>3,48</b>

*Fuente: El Autor*

El caudal ecológico mensual para el mes de Octubre fue de 2,43(l/s).

El caudal ecológico mensual para el mes de Noviembre fue de 4,07 (l/s).

Para el mes de diciembre se calculó el caudal ecológico mensual, promediando el caudal obtenido mediante el vertedero triangular y el caudal obtenido mediante la utilización del molinete electrónico en diferentes puntos del estero.

En donde:

El caudal ecológico mensual para el mes de Diciembre fue de 3,89 (l/s).

El caudal ecológico mensual para el mes de Enero fue de 2,15 (l/s).

El caudal ecológico mensual para el mes de Febrero fue de 2,12 (l/s).

El caudal ecológico mensual para el mes de Marzo fue de 3,48 (l/s).

Siguiendo la misma metodología se calculó el caudal ecológico para el segundo, Unión estero 1 y 2 que vienen a formar el Río “San Vicente”, y tercer estero, teniendo como resultado:

**Tabla 4.27** Caudal Ecológico Estero 2

Caudal Ecológico Estero 2	
Fecha/ Mes	Q=(l/s)
<b>Octubre</b>	<b>1,99</b>
<b>Noviembre</b>	<b>3,77</b>
<b>Diciembre</b>	<b>3,57</b>
<b>Enero</b>	<b>1,46</b>
<b>Febrero</b>	<b>1,53</b>
<b>Marzo</b>	<b>3,86</b>

*Fuente: El Autor*

El caudal obtenido en este punto de aforo es el resultado de la unión del primer y segundo estero con algunos aportes pequeños que tiene a lo largo del río, únicamente utilizando el molinete electrónico.

**Tabla 4.28** Caudal Ecológico Río San Vicente

Unión estero 1 y 2 Rio San Vicente	
Fecha/ Mes	Q=(l/s)
<b>Diciembre</b>	<b>9,94</b>
<b>Enero</b>	<b>2,91</b>
<b>Febrero</b>	<b>4,66</b>
<b>Marzo</b>	<b>2,94</b>

*Fuente: El Autor*

Cabe mencionar que el estero 3 pertenece a otra microcuenca pero sin embargo sus aguas llegan a el rio san Vicente, en una parte mas baja, por lo que también se aforo durante los meses diciembre – marzo.

**Tabla 4.29** Caudal Ecológico Estero 3

Caudal Ecológico mensual	
Fecha/ Mes	Q=(l/s)
<b>Diciembre</b>	<b>14,23</b>
<b>Enero</b>	<b>3,11</b>
<b>Febrero</b>	<b>5,08</b>
<b>Marzo</b>	<b>3,05</b>

*Fuente: El Autor*

#### 4.5.1. Caudal de Máximas Crecidas.

Durante la etapa de campo se registraron los siguientes caudales de máximas crecidas:

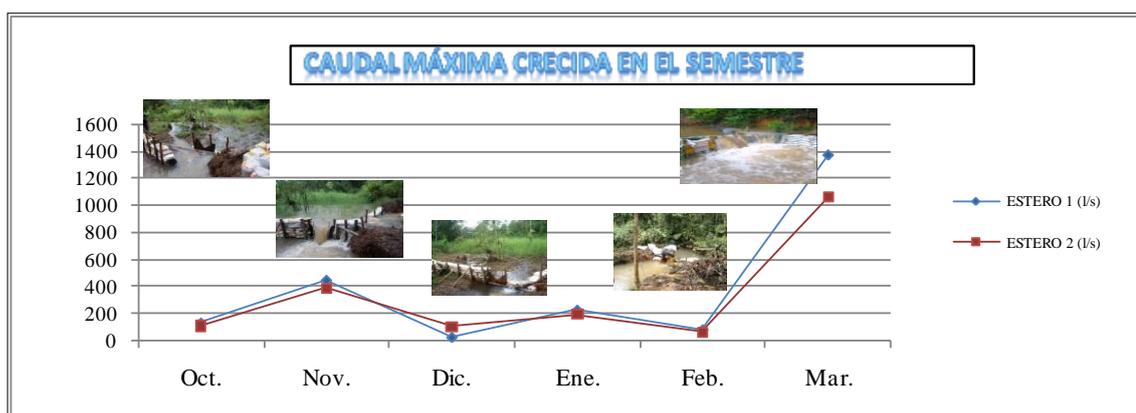
Durante la etapa de campo se registraron los siguientes caudales de máximas crecidas:

**Tabla 4.30** Caudales de Máximas Crecidas en un Semestre

Caudal Máximo en el Semestre		
Fecha:	Estero 1 (l/s)	Estero 2 (l/s)
<b>Octubre</b>	<b>122</b>	<b>103</b>
<b>Noviembre</b>	<b>439</b>	<b>381</b>
<b>Diciembre</b>	<b>17</b>	<b>99</b>
<b>Enero</b>	<b>218</b>	<b>186</b>
<b>Febrero</b>	<b>73</b>	<b>57</b>
<b>Marzo</b>	<b>1367</b>	<b>1050</b>

*Fuente: El Autor*

**Gráfico 4.19** Hidrograma de máximas crecidas



En el gráfico se muestra los caudales de máximas crecidas mensuales, durante un semestre de aforos.

Durante el mes de octubre se presentó una fuerte precipitación el día 22, la misma que provocó daños en el sitio de aforo 1, aforo 2 y dentro de las unidades experimentales, para este momento el caudal máximo aproximado es de 122 l/s en el primer estero y 106 l/s en el segundo estero.

En el mes de noviembre, después de haber realizado la reparación respectiva de los sitios de aforo se presenta otra fuerte precipitación el día 08, teniendo como resultado un caudal máximo aproximado de 439 l/s en el primer estero y 381 l/s en el segundo estero.

En el mes de diciembre durante la madrugada del día 12, se observa daños producidos por la fuerte crecida en el vertedero 1, aproximadamente el tiempo de duración es de unas dos horas por versiones de los moradores, por lo que se tiene los datos solo del vertedero 2, con un caudal máximo de 99 l/s y se aproxima la altura del primer vertedero dando un caudal aproximado de 186,193 l/s.

Después de haber tenido algunos incidentes con el derribo del vertedero 1, se procede a la construcción de una base de hormigón en donde se ubica al vertedero 1, y para el mes de enero se registra un caudal máximo el día 23, con 218 l/s en el primer estero y 186 l/s en el segundo estero.

En el mes de febrero se presenta la mayor cantidad de caudal el día 07 con 73 l/s en el primer estero y 57 l/s en el segundo estero aproximadamente.

En esta fase de campo y durante el año 2010, la mayor cantidad de precipitación registrada por el pluviómetro de la estación meteorológica ubicada en las instalaciones de la estación shushuqui fue durante el mes de marzo, con una precipitación de 87,82 mm el día 26; resultado de la escorrentía ese día se calcula un caudal de 1367 l/s en el primer estero y 1050 l/s en el segundo estero.



## 5. CONCLUSIONES

- ✖ Los datos de los diferentes parámetros meteorológicos, fueron obtenidos de la Estación Meteorológica Digital, que fue instalada dentro de la Estación de Bombeo Shushuqui, y que generó una base de datos durante el período 2010, en donde se registró que los meses en que existió la mayor cantidad de pluviosidad fueron: marzo, junio y noviembre respectivamente, sobrepasando los 300 mm.
- ✖ La crecida máxima que existió durante la fase de campo en los esteros de la microcuenca fue el día 26 de marzo del 2010, con una precipitación de 87,82 mm, durante un tiempo de 2 horas 30 minutos, en donde se calculó un caudal aproximado de 1367 l/s para el primer estero, mientras que para el segundo estero un caudal de 1050 l/s.
- ✖ Se identificó que la microcuenca, tiene una forma de casi redonda a oval oblonga, es decir que tiene una alta tendencia a las crecidas, con un relieve casi plano por lo que cuando se tiene fuertes precipitaciones, existe inundaciones y una alta densidad de drenaje en los esteros.
- ✖ Con la información recopilada por la Estación Meteorológica Digital se llegó a la conclusión de que en el área de estudio no se presentan meses ecológicamente secos, ya que la distribución de la precipitación mensual, sobrepasan con más del doble a la temperatura promedio mensual; y analizando los datos de precipitación y temperatura media anual (3073,75 mm/año; 25,15 °C), según la clasificación de Holdridge, tiene un bioclima cálido húmedo.
- ✖ En la microcuenca existen 2 esteros principales los mismos que forman el río San Vicente, estos fueron aforados por un tiempo de 6 meses, empleando diferentes métodos y formas para el cálculo del caudal, teniendo un promedio aproximado de 34,53 l/s para el primer estero mientras que para el segundo estero es de 29,86 l/s.

- ✘ El régimen hidrológico que existe en la microcuenca influye dentro de las construcciones de obras civiles, cuando estas son realizadas sobre una pendiente plana y que se encuentran cerca a los esteros, es decir en el área de inundación, principalmente durante los meses en donde se presenta la mayor cantidad de precipitación; y que luego de analizar cada una de las estaciones cercanas, de Nuevo Rocafuerte, Lumbaqui, Lago Agrio, y Palma Oriente, por un período de más de 25 años, se puede concluir diciendo que los meses más lluviosos son los de: abril, mayo y junio con un promedio de 391 mm/mes.
- ✘ Durante la fase de campo se evidenció fuertes precipitaciones, las cuales produjeron que se incremente la cantidad de agua en los esteros, como ocurrió el día 26 de marzo en donde el caudal de 9 l/s acrecentó a 1367 l/s en el primer estero, mientras que en segundo de 8 l/s a 1050 l/s, lo que produjo daños a las unidades experimentales de remediación de suelos y agua, construidas en las pendientes planas cercanas a los esteros.
- ✘ El caudal ecológico calculado para el río San Vicente mediante la metodología de Montana es aproximadamente de 5 l/s, por lo que debe ser tomado en cuenta, al momento de una construcción civil, más aún cuando existe una riqueza de fauna presente, que depende de este para poder sobrevivir.
- ✘ La caracterización de la microcuenca muestra que tiene un potencial en flora y fauna por lo que las microcuencas de esta parte de la Amazonía deben ser investigadas continuamente, para poder dar un buen manejo a estos componentes y tener un desarrollo sostenible.
- ✘ No se puede obtener un caudal medio mensual, ya que las diferencias de tiempos de estiaje y lluvioso, en un día son variados por lo que para el estudio de máximas crecidas solo se tomó en cuenta la mayor de cada mes, concluyendo que la máxima crecida que tuvo el río San Vicente durante la investigación fue el día 26 de marzo con un caudal aproximado de 2500l/s.



## 6. RECOMENDACIONES

- ✘ Instalar dentro del área, una Estación Meteorológica en donde se recopile la mayor cantidad de datos de los parámetros meteorológicos, ya que se debe tener una base de datos para poder predecir con exactitud los meses en que se presenta la mayor cantidad de precipitación dentro de esta zona.
- ✘ Para el cálculo de máximas crecidas se recomienda utilizar diferentes métodos para obtener un caudal preciso en los esteros en estudio.
- ✘ En el área de estudio no se presentan meses ecológicamente secos lo cual limita el establecimiento de determinados cultivos anuales, por lo que se recomienda que las plantaciones dentro de la microcuenca sean cultivos temporales como chontaduro, yuca, plátano, café y cacao que van acorde con la precipitación y temperatura que existe en la zona.
- ✘ Seguir monitoreando el caudal que tienen los esteros de la microcuenca, como también verificando la calidad de agua ya que puede existir contaminación con hidrocarburos en la parte alta de la microcuenca y contaminar los trabajos de remediación que realiza el CTT - FICAYA de la Universidad Técnica del Norte
- ✘ Tomar en cuenta los niveles de máximas crecidas que han tenido los esteros de la microcuenca San Vicente, para la construcción de cualquier obra civil, ya que inunda las partes planas por donde fluye la corriente de agua.
- ✘ Las unidades experimentales de remediación, deben ser construidas fuera de la pendiente plana cercana a los esteros de la microcuenca, ya que las fuertes precipitaciones dan lugar a crecidas que afectan cualquier trabajo de recuperación de suelos.

- ✘ El caudal ecológico que debe tener un río según el método de Montana es equivalente al 10% del caudal promedio anual, sin embargo se recomienda que el caudal ecológico para los esteros de la microcuenca sea el 60% del caudal promedio anual, ya que existe una fuerte contaminación por hidrocarburos y aguas de formación por lo que se podría acabar con la riqueza de flora y fauna que se tienen en estos.
  
- ✘ Elaborar medidas preventivas y de contingencia para evitar daños en las unidades experimentales de remediación de suelos y aguas, principalmente en los meses en que se presentan la mayor cantidad de precipitación como son los de abril, mayo y junio.
  
- ✘ Debido a que en el área de estudio en donde se construirá los diques tiene un relieve plano, se recomienda que la altura mayor de los diques deba ser estudiada minuciosamente, ya que puede llegar a interferir o afectar a los pozos en donde los moradores utilizan el agua de estos para el uso doméstico, por lo que podría ocasionar problemas de carácter social.
  
- ✘ Teniendo en cuenta la morfología que tiene la microcuenca del río San Vicente se recomienda, que los diques para contrarrestar la contaminación tengan una buena cimentación, ya que la tendencia a las crecidas que tienen los esteros es alta.
  
- ✘ Se recomienda que se realicen estudios de la cantidad de sedimentos que se arrastran principalmente cuando existe fuertes precipitaciones, para evaluar la vida única que tendrán los diques que se construirán en cada uno de los esteros de la microcuenca del río San Vicente.



## 7. RESUMEN

La presente investigación permite conocer el Régimen Hidrológico de la microcuenca del río San Vicente, correspondiente al área de influencia de la línea de flujo del pozo Shushuqui 13, Cantón Lago Agrio, Provincia de Sucumbíos.

La microcuenca del río San Vicente, se encuentra localizada al norte del Ecuador, en la Región 1, Provincia de Sucumbíos, Cantón Lago Agrio, Parroquia de Pacayacu, las coordenadas geográficas son: 0° 03' 30.44" N, 76° 34' 56.91" W, su extensión va desde los 290 m.s.n.m. en la parte alta en donde nacen los afluentes, hasta 200 msnm en la parte baja de la misma, en donde llegan los esteros a formar el río San Vicente.

Los objetivos planteados en esta investigación fueron los siguientes:

### **Objetivos:**

#### **General**

- ✘ Determinar el régimen hidrológico de la microcuenca del río San Vicente correspondiente al área de influencia de la línea de flujo del pozo Shushuqui 13.

#### **Específicos**

- ✘ Realizar la caracterización del área de estudio.
- ✘ Realizar el levantamiento topográfico y cartográfico del área de influencia.
- ✘ Analizar y cuantificar los componentes del balance hídrico, precipitación, evapotranspiración e infiltración en el área.
- ✘ Procesar e interpretar los datos obtenidos de la estación meteorológica digital.

- ✘ Determinar los caudales mensuales y curvas de descarga.
- ✘ Determinar el caudal ecológico promedio mensual.
- ✘ Calcular el nivel de inundación al construir los diques, en el área de influencia.

La metodología para determinar el régimen hidrológico de la microcuenca San Vicente, consta de 2 fases: una fase de campo en donde se recopilan datos, y otra en donde se realizó el análisis de los diferentes parámetros, caudales diarios y mensuales, obtenidos en el campo.

Durante la primera fase y debido a la falta de información en la microcuenca se realizaron trabajos como:

Recorrido de toda el área de la microcuenca tomando puntos GPS, por donde transita el flujo del agua, para identificar los cursos de agua que existen; donde están presentes los pasivos ambientales, para identificar la contaminación con hidrocarburos.

Realización de aforos diarios durante un tiempo de 6 meses, a través de diferentes métodos, por lo que tuvo que hacerse la adquisición de un molinete electrónico y la construcción de vertederos de pared delgada y ubicarlos en los esteros de la microcuenca.

Instalación de una estación meteorológica digital, para poder obtener los datos de los parámetros meteorológicos como: temperatura, precipitación, presión atmosférica, humedad relativa, etc.

Mientras que durante la segunda fase de esta investigación, se realizó el análisis respectivo de todos los datos obtenidos, en donde:

La microcuenca del río San Vicente tiene un área total de 99,10 Has, con un Índice de Compacidad (Ic-C) de 1,09, que significa que tiene una forma de Casi

Redonda a Oval Redonda siendo alta la tendencia a las crecidas, una Pendiente Media (Ir) de 2,58, cuyo valor significa un relieve casi plano, las aguas de las diferentes corrientes dan lugar a numerosas zonas pantanosas o fáciles de inundarse.

Existen dos afluentes principales en la microcuenca, que juntos llegan a formar el río San Vicente, el primero con un caudal de 34 l/s y el segundo con un caudal de 29 l/s aproximadamente, pero cuando existen precipitaciones fuertes estos debido al escurrimiento, alcanzan un caudal que supera los 2 m<sup>3</sup>/s cada uno, lo que ocasiona problemas como son las inundaciones en las partes planas que se encuentran cerca a los esteros.

Se elaboraron Hidrogramas concernientes al caudal de cada uno de los esteros, permitiendo identificar el caudal ecológico mediante los criterios de Tennant.

Mientras que para caracterizar los factores bióticos y abióticos en la microcuenca del Río San Vicente, se realizó recorridos por los senderos de toda el área, corroborando los datos obtenidos en el trabajo de caracterización que tiene el CTT- FICAYA de la Universidad Técnica del Norte.



## 8. SUMMARY

The present investigation, permit to know the Hydrological Regime of the watershed of the river San Vicente, Covering the area of influence of the well flow line shushuqui 13, Lago Agrio Canton Province of Sucumbíos.

The watershed of the river San Vicente, is located in northern Ecuador, in Region 1, Sucumbíos Province, Canton Lago Agrio, Parish Pacayacu, geographical coordinates are 0 ° 03 '30.44 "N, 76 ° 34' 56.91" W, its length ranges from 290 m in the upper tributaries where they are born, up to 200 meters at the bottom of it, where the streams come to form the river San Vicente.

The objectives of this research were:

### General Objective

- ✘ Determine the régime hydrology of the microcuenca of the river San Vicente for the area of influence of the well flow line Shushuqui 13.

### Specific Objectives

- ✘ Make the characterization of the study area.
- ✘ Perform surveying and mapping the area of influence.
- ✘ Analyze and quantify the components of water balance, precipitation, evapotranspiration and infiltration in the area.
- ✘ Processing and interpreting the data from the digital weather station.
- ✘ Determine the monthly flows and discharge curves.
- ✘ Determine the average monthly environmental flow.
- ✘ Calculate the level of flooding by building levees in the area of influence.

The methodology for determining the hydrological regime of the San Vicente watershed consists of 2 phases: a field where data is collected and another where the analysis was conducted of the various parameters, flow rates and monthly newspapers, from the field.

During the first phase and due to lack of information on watershed work was carried out as:

Tour of the entire catchment area taking GPS points along which the water flow, to identify existing water courses, which are present environmental liabilities, to identify the oil pollution.

Perform daily monitoring for a period of 6 months, through different methods, so it had to be the acquisition of an electronic turnstile and construction of landfills in the creeks of the watershed.

Installing a digital weather station, in order to obtain the data of meteorological parameters such as temperature, precipitation, atmospheric pressure, relative humidity, etc.

While during the second phase of this research was carried out the respective analysis of all data, wherein:

The San Vicente River watershed has a total area of 99.10 hectares, with a compact index (Ic-C) of 1.09, which means it has a way to Oval Round Almost Round the tendency to be high flood , an average gradient (Go) of 2.58, which value means an almost flat relief, different water flows resulting in numerous marshes or flooded easily.

There are two main tributaries in the watershed, that together they form the Rio San Vicente, the first with a flow rate of 34 l / s and the second with a flow rate of 29 l / s or so, but when are these due to heavy rainfall runoff achieve a throughput

of over  $2 \text{ m}^3 / \text{s}$  each, resulting in problems such as flooding in the flats that are close to the estuaries.

Hydrographs were developed concerning the flow of each of the estuaries in order to identify the ecological flow through Tennant criteria.

While to characterize the biotic and abiotic factors in the watershed of the Rio San Vicente, was conducted tours of the trails throughout the area, confirming the data obtained in the characterization work that has the CTT-FICAYA of the Técnica del Norte University.



## **9. BIBLIOGRAFÍA**

- 1.** BURBANO F. 1983. Poligrafiado “Notas de Hidrología” preparado para el cuarto de Ingeniería Forestal. Quito – Ecuador.
- 2.** BURBANO F.- 1989. “Manual de Hidrología” UTN, FICAYA.
- 3.** Brooks K.N. 1985. “Definiciones de cuenca hidrográfica”.
- 4.** CAÑADAS CRUZ, L. 1983. “Mapa Bioclimático y Ecológico del Ecuador”; Editorial Banco Central del Ecuador. 210p. Quito.
- 5.** CIDIAT. 1984. “Manual de Diagnóstico Físico Conservacionista en Cuencas Hidrográficas”, Ministerio del Medio Ambiente y Recursos Naturales Renovables, Mérida – Venezuela.
- 6.** ESTRADA W.- 2006. Poligrafiado de Meteorología y Climatología. Cátedra FICAYA UTN.
- 7.** Galarza G. 1994, citado por Edwin Vladimir Haro Vaca. Tesis UTN, FICAYA. “Diagnóstico Ambiental y Propuesta de un Plan de Manejo de la microcuenca del río Yanayacu, con fines de abastecimiento de agua”132p.
- 8.** GUÍA FAO.- Conservación 24, 1993, “Monitoreo y evaluación de logros en proyectos de ordenación de cuencas hidrográficas” Quito – Ecuador.
- 9.** Guía Mini Estación Meteorológica. 2009. HOB0 ® Micro Station “Ensamblaje e instrucciones de uso”. UTN, FICAYA, CTT.
- 10.** Haro V. Edwin.- 1994. UTN, FICAYA, Tesis “Diagnóstico Ambiental y Propuesta de un Plan de Manejo de la microcuenca del río Yanayacu”
- 11.** HENAO J.- 1988. “Introducción al Manejo de Cuencas Hidrográficas”. Universidad Santo Tomás, Bogotá.
- 12.** INAMHI 2006. “Anuario Meteorológico”.
- 13.** INAMHI 2005, “Hidrogeodinámica de la Cuenca Amazónica”, Quito – Ecuador.
- 14.** JAIME GAIBOR, 2005. UTN, FICAYA, Tesis. “Inventario Participativo y Propuesta de Alternativas de Manejo Sustentable de los

Recursos Hídricos de la Microcuenca del río Pitzambiche, Cantón Cotacachi”.

15. J. MARTÍNEZ RUBIO, 1998, PROGNSA. “Hidrología General”. Aguas Subterráneas. Captación y Aprovechamiento, Sevilla – España.
16. KINDSVATER Y CARTER (1957). “Expresión para el cálculo de la descarga” por el método de vertedero.
17. Manual Molinete Electrónico Pigmeo 2009. “Ensamblaje e instrucciones de uso”. UTN, FICAYA, CTT.
18. MICROSOFT® ENCARTA® 2009. © 1993-2008 Microsoft.- Definiciones de ecosistema.
19. Principios de Hidrogeografía. 1993. “Estudio del ciclo hidrológico” Serie Textos Universitarios, Núm. 1. Quito- Ecuador
20. RAMÍREZ H. JORGE; 2005, “Apuntes de Hidrología”, Construcción de polígonos de thiesen.
21. UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE 2008. CTT - FICAYA “Caracterización del Área afectada por el derrame en la línea de flujo del pozo shushuqui 13”.
22. SCHWARTZ F.ET. al 1976.- “Definiciones de cuenca hidrográfica”.
23. VEN TE CHOW. 1982. “Hidráulica de los canales abiertos”. Edit. Diana. México. 633 pp.
24. VEN TE CHOW, DAVID R. MAIDMENT, LARRY W. MAYS. “HIDROLOGÍA APLICADA” 1994, Mc Graw – Hill Interamericana S.A. Santafé de Bogotá.
25. <http://dspace.epn.edu.ec/bitstream/123456789/1187/8/T%2011053%20%20%20CAPITULO%202.pdf>
26. VERTEDERO TRIANGULAR  
<http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulos/medidores/vertedortriang2/verttriang2.html>
27. <http://www.ambiente.gob.ec/WEB/Publicaciones/Archivos%20pdf/DI ANOSTICOfinal.pdf> 2010.
28. CICLO HIDROLOGICO  
<http://www.ciclohidrologico.com/precipitacin>

**29. CICLO DEL AGUA**

[http://www.elpais.com/recorte/20070718elpepifut\\_5/XXLCO/Ies/ciclo\\_agua.jpg](http://www.elpais.com/recorte/20070718elpepifut_5/XXLCO/Ies/ciclo_agua.jpg).2010

**30. REGIMEN HIDROLÓGICO**

<http://www.greenfacts.org/es/glosario/pqrs/regimen-agua.htm>

Fuente: GreenFacts. Definición de Régimen Hidrológico.

**31. <http://www.igeograf.unam.mx/instituto/publicaciones/libros/hidrogeografia/cp2.pdf>.**

**32. <http://www.jmarcano.com/nociones/ciclo1.html> 2010**

**33. CANALES ABIERTOS**

[file:///G:/Perfil%20de%20area%20mojada/Canal%20\(ingenier%C3%ADa\)%20Wikipedia,%20la%20enciclopedia%20libre.htm](file:///G:/Perfil%20de%20area%20mojada/Canal%20(ingenier%C3%ADa)%20Wikipedia,%20la%20enciclopedia%20libre.htm)

**34. CANALES ABIERTOS**

[file:///G:/Perfil%20de%20area%20mojada/El%20flujo%20en%20canales%20abiertos%20y%20su%20clasificaci%C3%B3n%20-%20Monografias\\_com.htm](file:///G:/Perfil%20de%20area%20mojada/El%20flujo%20en%20canales%20abiertos%20y%20su%20clasificaci%C3%B3n%20-%20Monografias_com.htm)

**35. CAUDAL ECOLOGICO**

[http://es.wikipedia.org/wiki/Caudal\\_ecol%C3%B3gico](http://es.wikipedia.org/wiki/Caudal_ecol%C3%B3gico)

**36. <http://ocw.um.es/ciencias/ecologia/ejercicios-proyectos-y-casos-1/jalon-tanago-1998.pdf>**

**37. <http://www.unesco.org/phi/aqualac/fileadmin/phi/aqualac/Santacruz.pdf>**

**38. <http://www.fao.org/docrep/t0848s/t0848s06.htm>**

**39. [http://www.cortolima.gov.co/SIGAM/nuevas\\_guias/meiacol.pdf#page=370](http://www.cortolima.gov.co/SIGAM/nuevas_guias/meiacol.pdf#page=370)**

**40. <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/html/477/47710203/47710203.html>**

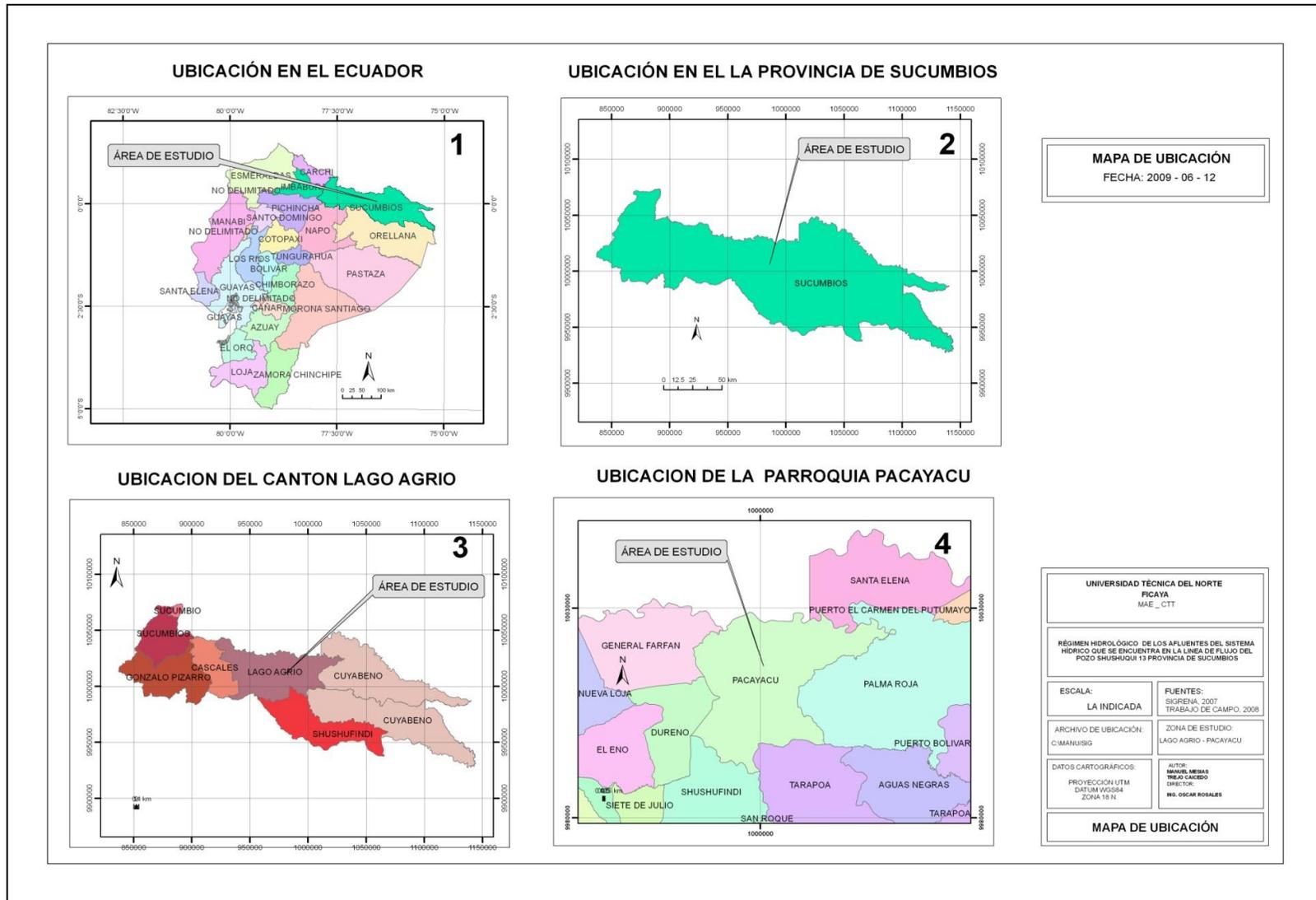
**41. DERRAMES DE PETROLEO ESTACIÓN SHUSHUQUI**

[http://www.oilwatch.org/reparacion/docs/anexo1\\_toxitour.pdf](http://www.oilwatch.org/reparacion/docs/anexo1_toxitour.pdf)



## 10. ANEXOS

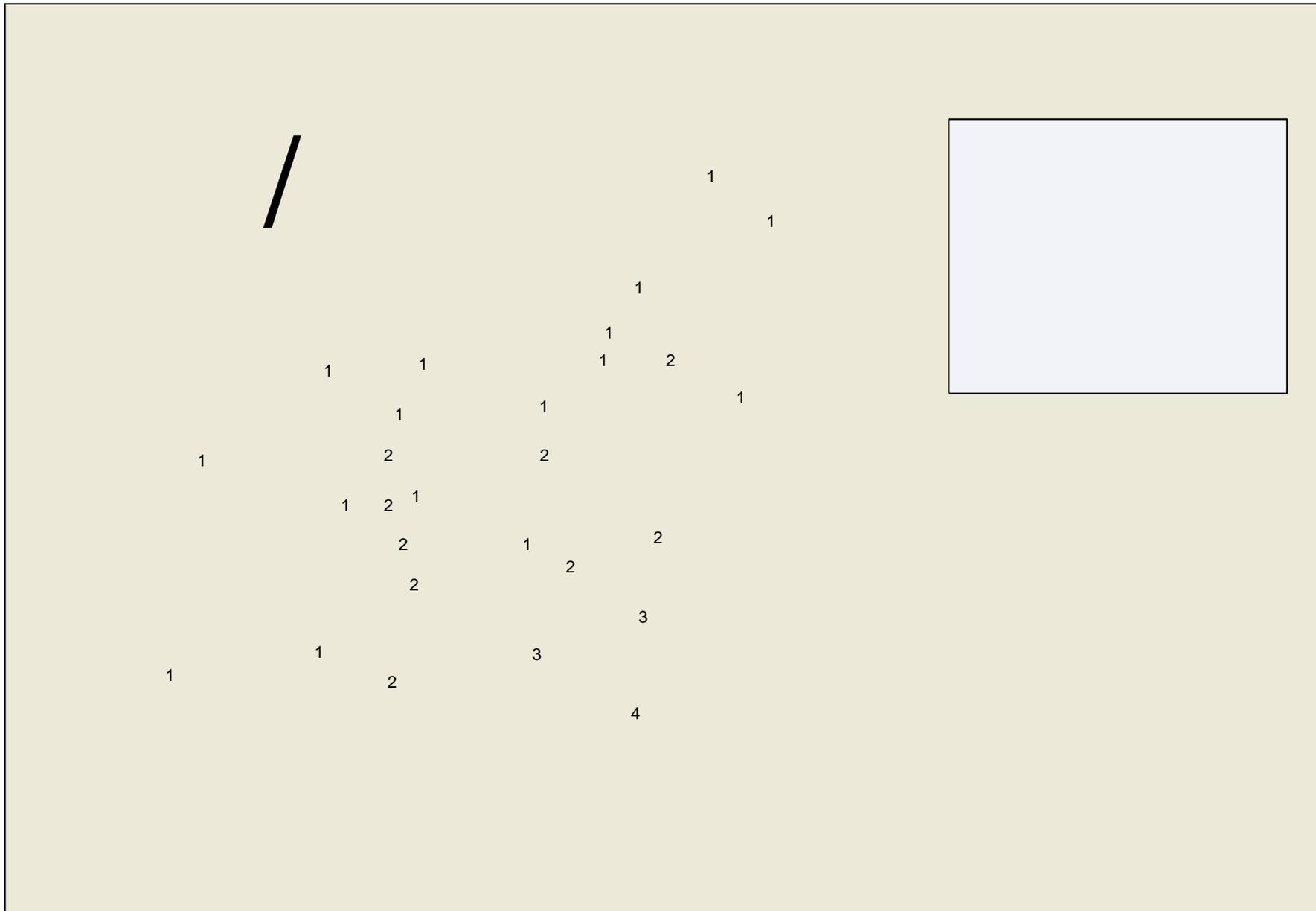
Mapa1. Ubicación de la micro cuenca del río “San Vicente”



Mapa 2.- Mapa base de la microcuenca del río “San Vicente”



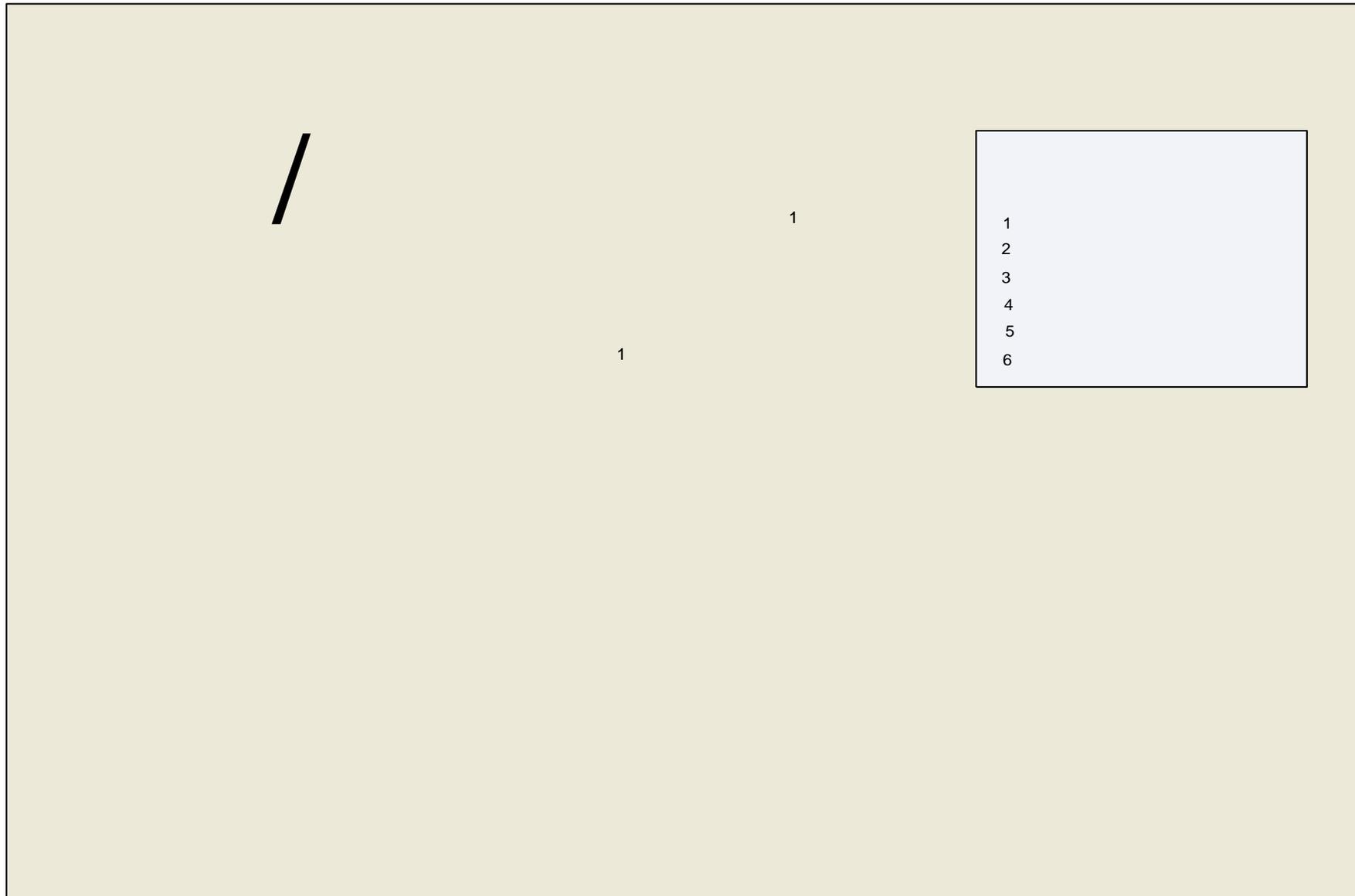
Mapa 3.- Mapa de Orden de las Corrientes

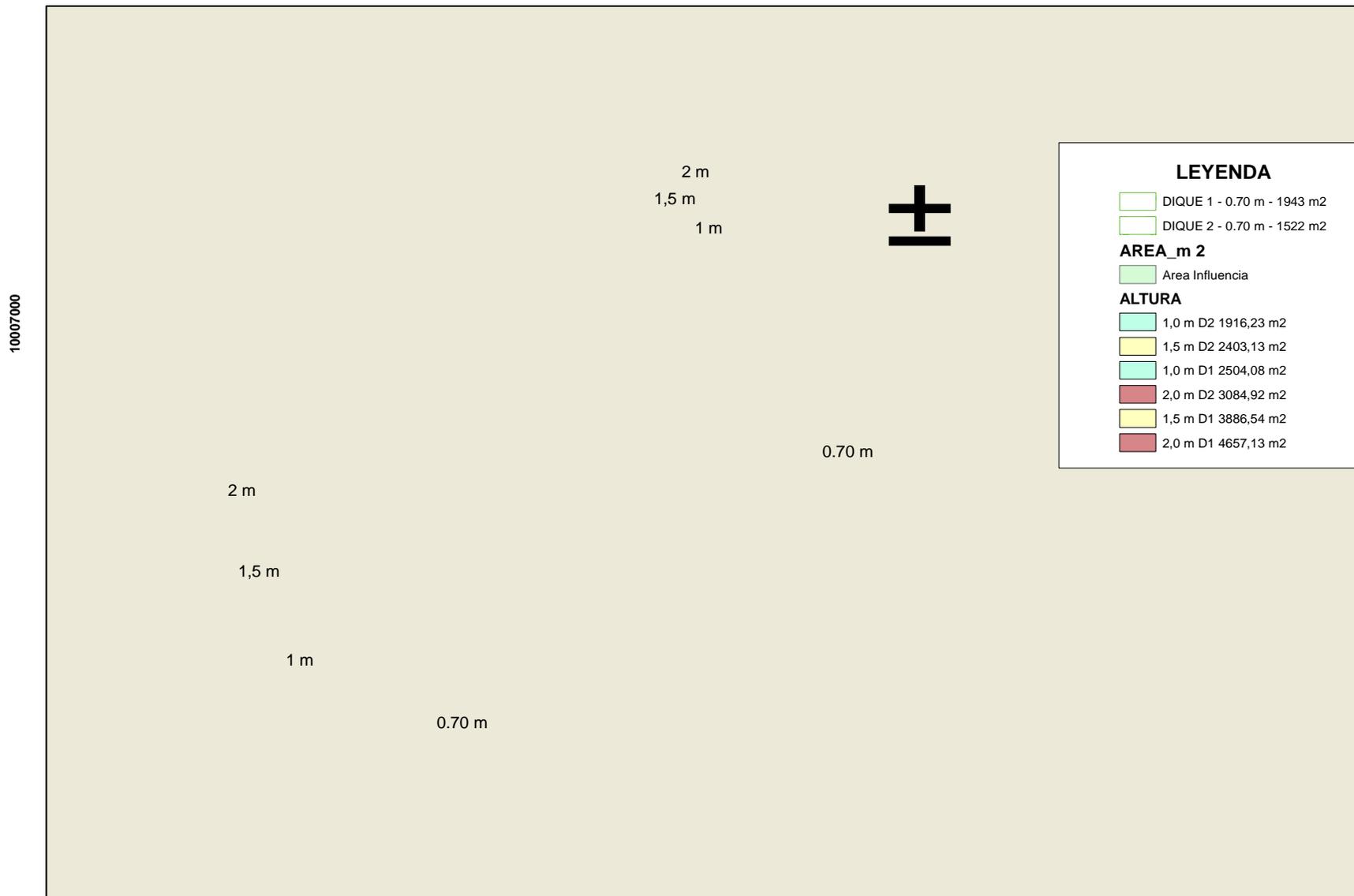


Mapa 4.- Mapa de Puntos de Contaminación por Pasivos Ambientales en la microcuenca del río “San Vicente”

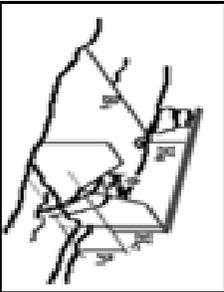


Mapa 5.- Mapa de Pendientes en la microcuenca del Río “San Vicente”





**Anexo 2.-** Hoja 1. Registro del caudal método del Vertedero Triangular Thompson

<b>PLANILLA DE DATOS-VERTEDOR TRIANGULAR DE PARED DELGADA</b>				
RESPONSABLE(S): .....		CODIGO DE AFORO		
FECHA: .....		<input style="width: 100px; height: 20px;" type="text"/>		
HORA INICIO AFORO: .....				
HORA FIN AFORO: .....				
<b>CROQUIS DEL SITIO DE AFORO</b>				
<b>DATOS (CM)</b>				
ANGULO DE	$\theta$	90	ESCOTADURA (*)	
ALTURA CRESTA	p1	1	2	3
ANCHO ESPALDO	B1			
ALTURA A LA CRESTA	HC			
ALTURA SUPERFICIE DE	HS			
			VERTEDOR	AGUA
			AGUA	
			AGUA	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cuando no existiera variaciones del nivel (caudal) las mediciones 2 y 3 son de control.</li> </ul>				
<b>OBSERVACIONES:</b>				
NRO DE HOJA: .....				



Hoja 3.- Hoja resultado del caudal, por medio de altura de agua en el vertedero Triangular de 90°, Thompson

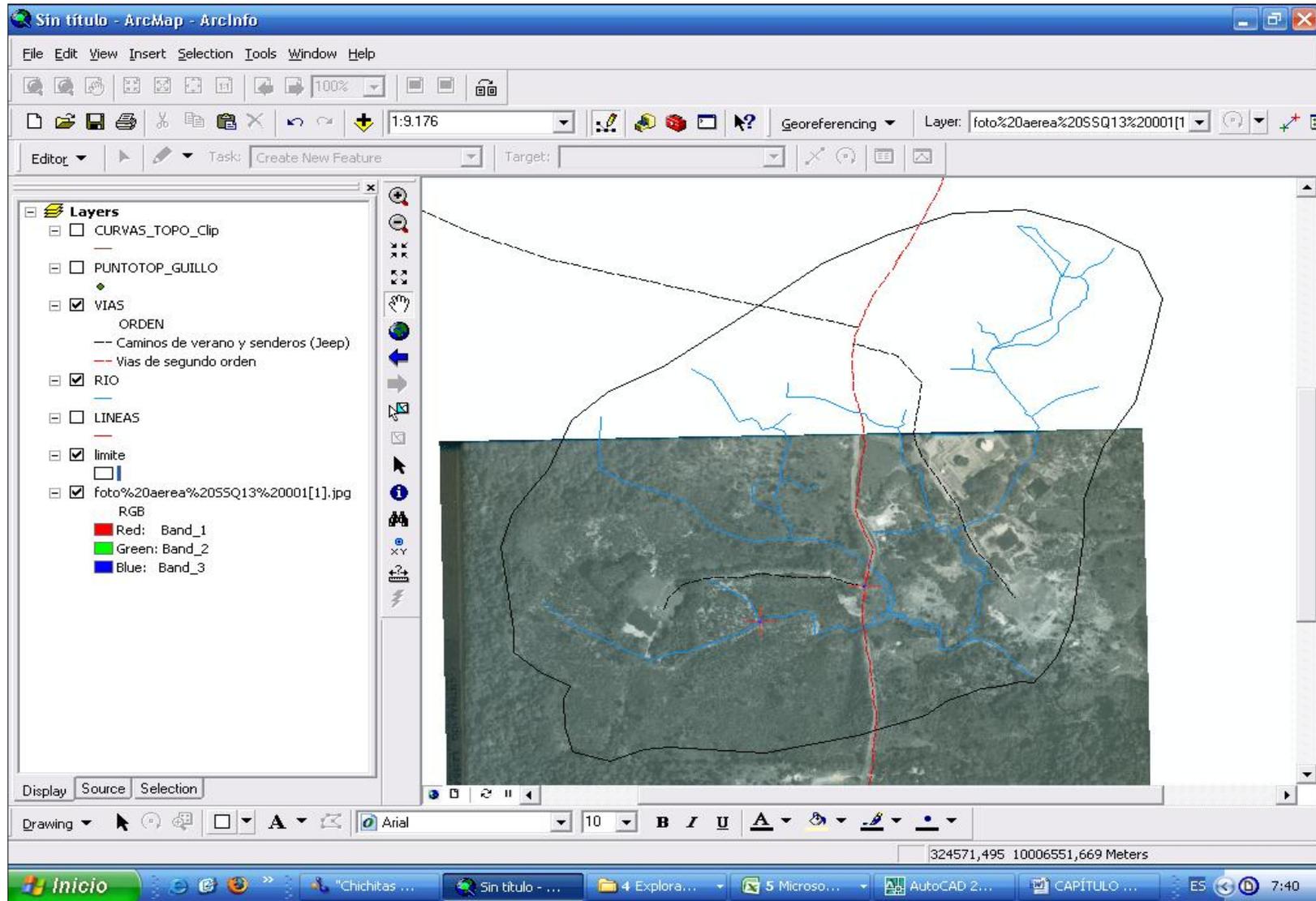
CAUDAL DEL CAUDAL VERTEDERO TRIANGULAR								
ALTURA (cm)	Q (l/s)	Q(m <sup>3</sup> /s)	ALTURA (cm)	Q (l/s)	Q(m <sup>3</sup> /s)	ALTURA (cm)	Q (l/s)	Q(m <sup>3</sup> /s)
5	0.79372	0.00079	37	114.25	0.11425	69	541.24	0.54124
6	1.24384	0.00124	38	122.11	0.122109	70	561.04	0.56104
7	1.82007	0.00182	39	130.28	0.130284	71	581.26	0.58126
8	2.53241	0.00253	40	138.78	0.138779	72	601.92	0.60192
9	3.39016	0.00339	41	147.6	0.147598	73	623.02	0.62302
10	4.40207	0.0044	42	156.75	0.156745	74	644.55	0.64455
11	5.57641	0.00558	43	166.22	0.166224	75	666.52	0.66652
12	6.92106	0.00692	44	176.04	0.176039	76	688.94	0.68894
13	8.44354	0.00844	45	186.19	0.186194	77	711.8	0.7118
14	10.1511	0.01015	46	196.69	0.196692	78	735.11	0.73511
15	12.0506	0.01205	47	207.54	0.207537	79	758.88	0.75888
16	14.1488	0.01415	48	218.73	0.218734	80	783.1	0.7831
17	16.4522	0.01645	49	230.29	0.230286	81	807.77	0.80777
18	18.9671	0.01897	50	242.2	0.242196	82	832.91	0.83291
19	21.6996	0.0217	51	254.47	0.254468	83	858.51	0.85851
20	24.6555	0.02466	52	267.11	0.267105	84	884.58	0.88458
21	27.8408	0.02784	53	280.11	0.280113	85	911.12	0.91112
22	31.261	0.03126	54	293.49	0.293493	86	938.13	0.93813
23	34.9217	0.03492	55	307.25	0.307249	87	965.61	0.96561
24	38.8281	0.03883	56	321.38	0.321385	88	993.57	0.99357
25	42.9857	0.04299	57	335.9	0.335904	89	1022	1.02201
26	47.3996	0.0474	58	366.11	0.366106	90	1050.9	1.05094
27	52.0747	0.05207	59	366.11	0.366106	91	1080.3	1.08035
28	57.0162	0.05702	60	381.79	0.381795	92	1110.2	1.11024
29	62.2288	0.06223	61	397.88	0.397881	93	1140.6	1.14063
30	67.7173	0.06772	62	414.37	0.414367	94	1171.5	1.17152
31	73.4866	0.07349	63	431.26	0.431255	95	1202.9	1.2029
32	79.541	0.07954	64	448.55	0.448551	96	1234.8	1.23478
33	85.8854	0.08589	65	466.26	0.466256	97	1267.2	1.26716
34	92.524	0.09252	66	484.37	0.484374	98	1300	1.30004
35	99.4613	0.09946	67	502.91	0.502907	99	1333.4	1.33343
36	106.702	0.1067	68	521.86	0.52186	100	1367.3	1.36733

Fuente: El Autor

**Anexo 3.-** Fotografía Aérea del Área de investigación escaneada.



Anexo 4.- Gráfico 1.- Empleo del programa de ARC GIS 9.3, para la delimitación de la microcuenca del río “San Vicente”

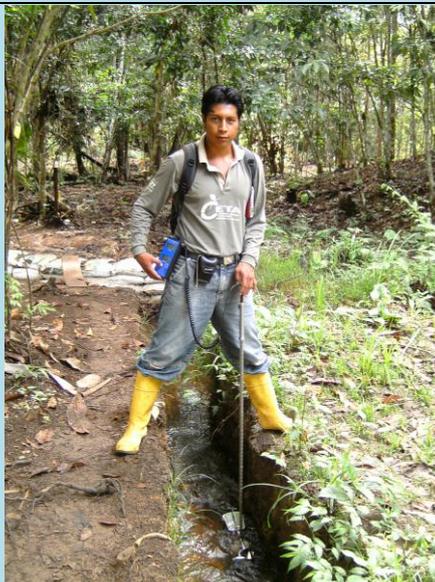


Anexo 5.- Fotografías1- Aforo en los esteros de la microcuenca

*Aforo en los esteros de la Microcuenca San Vicente*



*Armando el molinete electrónico(1)*



*Aforo estero 1 molinete electrónico(2)*



*Aforo método del vertedero triangular(3)*



*Aforo estero 3 molinete electrónico(4)*



*Aforo estero 2 molinete electrónico(5)*



*Aforo río "San Vicente" molinete(6)*



*Aforo método flotador(7)*



*Aforo estero 1 flotador(8)*



*Aforo estero 1 flotador*



*Perfil del área mojada estero 1*



*Aforo estero 1 molinete electrónico(9)*



*Aforo estero 2 molinete electrónico(10)*



*Aforo estero 3 molinete electrónico(11)*



*Molinete electrónico(12)*

Fotografías 2.- Colocación de Recipientes - medición de la Evaporación

*Recipientes para el Cálculo de la Evapotranspiración*



*Recipientes plásticos(1)*



*Cobertura vegetal(2)*



*Dentro de Vegetación(3)*



*Cobertura vegetal(4)*



*A cielo abierto(5)*



*Sin cobertura vegetal(6)*



*En la estación Meteorológica(7)*



*Sin cobertura vegetal(8)*

Fotografías 3. Colocación de la Estación Meteorológica

***Colocación de la Estación Meteorológica***



*Construcción de la base (1)*



*Transporte del cerramiento(2)*



*Nivelación de la estructura(3)*



*Varilla de cobre, precaución caída de rayos(4)*



*Revisión de sensores y pluviómetro(5)*



*Colocación del pluviómetro(6)*

Fotografías 4.- Colocación de Rótulos en los puntos de aforo

**PUNTOS DE AFORO**



*Punto de aforo 1 (1)*



*Vertedero 1(2)*



*Punto de aforo 2(3)*



*Vertedero 2(4)*



*Punto de aforo 3(5)*



*Punto de aforo 3(6)*



*Punto de aforo 4(7)*



*Punto de aforo 5(8)*

Fotografías 5.- Construcción de Vertederos

<b>CONSTRUCCIÓN DE LOS VERTEDEROS</b>	
	
<i>Septiembre Vertedero #1 (1)</i>	<i>12 de Octubre Vertedero#2(2)</i>
	
<i>24 de Octubre Vertedero #1(3)</i>	<i>5 de noviembre vertedero #1(4)</i>
	
<i>22 de diciembre(5)</i>	<i>28 de Diciembre(6)</i>
	
<i>15 de enero 2010(7)</i>	<i>Construcción definitiva vertedero #1(8)</i>

Fotografías 6.- Fauna en la microcuenca (Observación Directa)

<b>ESPECIES PRESENTES</b>	
<b>AVES</b>	
 <p>A close-up photograph of a green parrot with a white patch around its eye and a pinkish beak.</p>	 <p>A black and white bird in flight over a grassy field.</p>
<p><i>Ara Severa</i>(1)</p>	<p><i>Guigle.sp</i>(2)</p>
 <p>A yellow bird with a crest and dark wings perched on a tree trunk.</p>	 <p>A black woodpecker with a yellow and red patch on its head perched on a branch.</p>
<p><i>Melanerpes cruentatus</i>(3)</p>	<p><i>Campephilus melanoleucos</i>(4)</p>
<b>MAMIFEROS</b>	
 <p>A small brown rodent with a red collar on a dirt path.</p>	 <p>A rodent climbing a tree branch through dense green foliage.</p>
<p><i>Pejari Tajacu</i>(5)</p>	<p><i>Caluromys lanatus</i>(6)</p>

**REPTILES**



*Bothriechis schlegelii* (7)



*Micrurus sp.*(8)

**ANFIBIOS**



*Rinella Marinus* (9)



*Eleutherodactylus sp.* (10)

**PECES**



*Viejita*(11)



*Sardinilla*(12)

Fotografías 7.- Máximas Crecidas en los esteros

**MÁXIMAS CRECIDAS EN LOS ESTEROS**



*20 de Octubre (1)*



*22 de Octubre(2)*



*8 de Noviembre(3)*



*8 de noviembre(4)*



*21 de noviembre(5)*



*12de Diciembre(6)*



*1 de febrero(7)*



*26 de Marzo estero #1(8)*



*26 de marzo estero #2(9)*



*26 de marzo unión estero # 1 y 2(10)*



*31 de marzo estero #1(11)*



*31 de marzo estero #1(12)*



*31 de marzo estero #2(13)*



*31 de marzo Rio San Vicente(14)*



*7 de abril estero #1(15)*



*7 de abril estero #2(16)*

Fotografías 7.- Recolección de Parámetros

***Recolección de parámetros***



*Instalación, 09 de enero del 2010 (1)*



*30 de enero del 2010(2)*



*Recolección de parámetros (3)*



*Mantenimiento de la Estación (4)*



*Recolección datos de evaporación(5)*



*Estación meteorológica(6)*

**Anexo 6.- Puntos 1.** Obtenidos a través del GPS para georeferenciación estero 1.

<b>PUNTOS GPS ESTERO # 1</b>			
<b>PUNTO</b>	<b>x</b>	<b>y</b>	<b>ESTERO 1</b>
1	323852	10006929	<b>ALEJANDRO ESPINOZA</b>
2	323845	10006920	
3	323841	10006903	
4	323832	10006900	
5	323825	10006896	
6	323814	10006890	
7	323815	10006879	
8	323829	10006885	
9	323842	10006894	
10	323853	10006897	
11	323867	10006894	
12	323875	10006892	
13	323885	10006880	
14	323900	10006878	
15	323916	10006872	
16	323931	10006867	
17	323939	10006826	
18	323952	10006862	
19	323953	10006857	
20	323943	10006870	
21	323935	10006876	
22	323922	10006880	
23	323905	10006883	
24	323894	10006891	
25	323876	10006898	
26	323866	10006901	
27	323851	10006918	
28	323850	10006942	
29	323849	10006957	
30	323834	10006973	
31	323826	10006981	
32	323826	10006982	
33	323831	10006967	
34	323837	10006948	
35	323841	10006938	
36	323428	10006818	<b>TEODORO VERA</b>
37	323443	10006820	
38	323460	10006820	
39	323485	10006830	
40	323502	10006837	
41	323519	10006843	
42	323544	10006852	
43	323575	10006869	
44	323598	10006885	
45	323609	10006891	Punto Y
46	323592	10006900	
47	323581	10006923	
48	323539	10006952	
49	323503	10006971	Punto más alto 283 m
50	323623	10006894	
51	323648	10006895	

52	323675	10006904	
53	323700	10006900	
54	327715	10006863	
55	327704	10006858	
56	323753	10006876	
57	323771	10006865	Alcantarilla empata con el Sr. Alejandro Espinoza
58	323553	10007308	<b>GLORIA VERA</b>
59	323561	10007300	
60	323585	10007307	
61	323597	10007296	
62	323605	10007282	
63	323624	10007288	Y
64	323640	10007302	
65	323651	10007311	
66	323661	10007316	
67	323645	10007279	
68	323655	10007254	
69	323648	10007235	
70	323643	10007212	
71	323639	10007194	
72	323638	10007170	Y
73	323658	10007183	
74	323686	10007156	
75	323710	10007171	
76	323627	10007146	
77	323607	10007177	
78	323585	10007162	
79	323588	10007140	
80	323608	10007122	
81	323621	10007119	
82	323636	10007112	
83	323638	10007116	Vertiente Pozo, Agua de consumo humano
84	323644	10007107	
85	323657	10007076	
86	323660	10007054	Y
87	323617	10007054	
88	323596	10007050	
89	323554	10007061	
90	323519	10007076	
91	323507	10007081	
92	323476	10007116	
93	323449	10007140	
94	323415	10007150	
95	323350	10007172	
96	323299	10007198	
97	323295	10007252	VERTIENTE PLANTACIÓN DE PLATANO 280 m Y
98	323662	10007056	
99	323711	10007053	
100	323747	10007042	
101	323788	10007014	

Puntos 2. Obtenidos a través del GPS para georeferenciación del estero 2.

<b>PUNTOS GPS ESTERO # 2</b>			
<b>PUNTO</b>	<b>x</b>	<b>y</b>	
1	323994	10006867	<b>ALEJANDRO ESPINOZA</b>
2	323996	10006873	
3	324011	10006875	
4	324003	10006890	
5	324014	10006905	
6	324013	10006948	
7	324021	10006962	PANTANO
8	324035	10006963	
9	324027	10006990	
10	324021	10007000	
11	324019	10007010	
12	324009	10007010	
13	323994	10007017	
14	323987	10007028	
15	323985	10007048	
16	323974	10007076	
17	323963	10007073	
18	323953	10007070	
19	323962	10007064	
20	323974	10007056	
21	323977	10007041	
22	323985	10007018	
23	323986	10007007	
24	324005	10006996	
25	324020	10006983	
26	324023	10006970	
27	324012	10006910	PANTANO
28	324014	10006919	
29	324016	10006930	
30	324015	10006923	
31	324015	10006910	
32	324013	10006901	
33	324011	10006899	
34	323700	10007351	<b>ANGEL PALADINES</b>
35	323727	10007344	
36	323770	10007320	
37	323806	10007305	
38	323825	10007291	
39	323861	10007288	
40	323869	10007300	
41	323844	10007346	
42	323877	10007323	
43	323873	10007294	
44	323868	10007258	
45	323866	10007232	
46	323822	10007155	
47	323870	10007212	
48	323904	10007189	
49	323906	10007173	
50	323913	10007148	
51	323930	10007001	

52	323928	10007087	
53	323903	10007078	
54	323890	10007070	
55	323933	10007075	
56	323951	10007085	
57	323972	10007070	
58	324004	10007085	Unión esteros para formar el 2do, paza la alcantarilla
59	324046	10007115	
60	324080	10007172	BUFER 15 - 20 m zona inundada de difícil acceso
61	324100	10007211	BUFER 15 - 20 m zona inundada de difícil acceso
62	324118	10007229	BUFER 15 - 20 m zona inundada de difícil acceso
63	324126	10007268	BUFER 15 - 20 m zona inundada de difícil acceso
64	324114	10007273	BUFER 15 - 20 m zona inundada de difícil acceso
65	324128	10007287	
66	324113	10007310	
67	324102	10007316	LÍMITE
68	324004	10007085	LINDEROS
69	324046	10007111	
70	324080	10007172	
71	324100	10007211	
72	324118	10007229	
73	324126	10007268	
74	324114	10007273	
75	324128	10007287	
76	324113	10007310	
77	324102	10007316	
78	323798	10007316	LINDEROS
79	324102	10007316	
80	323812	10007071	
81	323962	10007075	
82	324029	10007132	Salida agua de formación al estero de la estación SSQ.
83	324101	10007115	Piscina de crudo filtrada de la grande.
84	324103	10007073	Piscina de los residuos de la estación SSQ.
85	324130	10007154	Piscina de mecheros de GAS- LIP Sistema de inyección.
86	323653	10007379	<b>Sra. CATALINA CRIOLLO</b> Piscina perteneciente Sr. Cabrera
87	323652	10007365	Piscina de crudo propiedad: Sra. Catalina Criollo
88	323650	10007350	cuello de ganso (salida de petróleo)
89	323928	10007382	<b>ANGEL ROMERO</b>
90	323960	10007408	
91	324004	10007431	
92	324001	10007449	
93	324001	10007408	
94	324011	10007506	
95	324014	10007523	
96	324019	10007528	
97	324020	10007498	
98	324020	10007487	
99	324044	10007482	
100	324086	10007481	
101	323122	10007494	
102	324155	10007548	
103	324165	10007582	
104	324217	10007592	

105	324145	10007992	POZO DE AGUA VERTIENTE EN MAL ESTADO
106	324311	10007594	PISCINA DE CRUDO
107	324218	10007583	
108	324217	10007556	
109	324205	10007538	PASIVO
110	324186	10007526	PASIVO
111	324166	10007505	PASIVO
112	324166	10007486	PASIVO
113	324145	10007466	PASIVO
114	324123	10007456	PASIVO
115	324108	10007459	PASIVO
116	324085	10007461	PASIVO
117	324076	10007467	PASIVO
118	324053	10007460	PASIVO
119	324038	10007450	
120	324030	10007429	
121	324045	10007400	
122	324061	10007377	
123	324103	10007322	
124	324101	10007317	LINDERO
125	324144	10007334	
126	324165	10007347	
127	324243	10007373	
128	323912	10007469	CASA 284 m
129	324448	10007721	<b>HUGO CALVA</b>
130	324505	10007722	
131	324544	10007712	
132	324560	10007682	
133	324575	10007664	
134	324593	10007669	
135	324611	10007674	
136	324630	10007686	
137	324655	10007678	
138	324649	10007662	
139	324646	10007638	
140	324652	10007631	
141	324670	10007639	
142	324689	10007634	
143	324715	10007631	
144	324752	10007640	
145	324762	10007646	
146	324772	10007634	
147	324788	10007609	
148	324725	10007660	
149	324704	10007679	
150	324680	10007682	
151	324764	10007628	PANTANO 1
152	324754	10007625	
153	324767	10007613	
154	324774	10007609	
155	324811	10007592	
156	324793	10007617	
157	324780	10007628	
158	324771	10007641	

159	324768	10007640	
160	324128	10007687	VERTIENTE 1
161	324122	10007699	
162	324110	10007703	
163	324086	10007705	punto más alto 281 msnm
164	324099	10007693	
165	324113	10007681	
166	324136	10007655	
167	324151	10007637	
168	324172	10007601	
169	324166	10007593	
170	324192	10007595	
171	324187	10007629	
172	324171	10007641	
173	324144	10007668	
174	324206	10007601	VERTIENTE 2
175	324223	10007619	
176	324247	10007629	

**Anexo7.-** Tabla 1.Datos Diarios recopilados, Estación Meteorológica Shushuqui (11-12 de En. 2010)

DATOS DE LA ESTACIÓN METEOROLÓGICA													
	Date/Time	PRECIPITACION (mm)	PRESIÓN (mbar)	Radiación Solar (W/m <sup>2</sup> )	Temperatura (°C)	Punto de rocío (°C)	RH (%)	HR (%)	Presión (mbar)	Radiación Solar	Punto de rocío	T °C media Diaria	Precipitación diaria (mm)
Lunes	01/11/10												
	18:00:19,0	0	976,65	1,9	28,543	23,71	75	89,82	978,4	0,7083	22,99	24,79683	0
	01/11/10												
	18:30:19,0	0	976,55	0,6	26,793	22,91	79,2						
	01/11/10												
	19:00:19,0	0	976,75	0,6	25,72	23,11	85,4						
	01/11/10												
	19:30:19,0	0	977,25	0,6	25,113	23,18	88,9						
	01/11/10												
	20:00:19,0	0	977,85	0,6	24,847	23,33	91,1						
	01/11/10												
	20:30:19,0	0	978,45	0,6	24,291	22,94	92						
	01/11/10												
	21:00:19,0	0	978,95	0,6	24,098	22,94	93,1						
01/11/10													
21:30:19,0	0	979,35	0,6	23,954	22,91	93,7							
01/11/10													
22:00:19,0	0	979,65	0,6	23,809	22,78	93,8							
01/11/10													
22:30:19,0	0	979,85	0,6	23,641	22,77	94,7							
01/11/10													
23:00:19,0	0	979,95	0,6	23,497	22,73	95,3							
01/11/10													
23:30:19,0	0	979,85	0,6	23,256	22,54	95,6							
Martes	01/12/10							83,43	978,6	25,565	22,34	25,7715	1,1999999
	00:00:19,0	0	979,65	0,6	23,064	22,37	95,7						
	01/12/10												
	00:30:19,0	0	979,35	0,6	22,872	22,21	95,9						
	01/12/10												
	01:00:19,0	0	979,15	0,6	22,633	21,99	96						
	01/12/10												
	01:30:19,0	0	978,75	0,6	22,417	21,78	96						
	01/12/10												
	02:00:19,0	0	978,45	0,6	22,178	21,57	96,2						
	01/12/10												
	02:30:19,0	0	978,05	0,6	22,034	21,45	96,3						
	01/12/10												
	03:00:19,0	0	977,85	0,6	22,034	21,48	96,5						
	01/12/10												
	03:30:19,0	0	977,65	0,6	21,843	21,31	96,6						
	01/12/10												
	04:00:19,0	0	977,75	0,6	21,652	21,13	96,7						
	01/12/10												
	04:30:19,0	0	977,85	0,6	21,652	21,18	97						
	01/12/10												
	05:00:19,0	0	977,85	0,6	21,652	21,18	97						
	01/12/10												
	05:30:19,0	0	978,05	0,6	21,604	21,12	96,9						
	01/12/10												
	06:00:19,0	0	978,35	0,6	21,437	20,92	96,7						
	01/12/10												
	06:30:19,0	0	978,85	5,6	21,413	20,93	96,9						
	01/12/10												
	07:00:19,0	0	979,35	14,4	22,011	21,56	97,1						
	01/12/10												
	07:30:19,0	0	979,85	31,9	23,208	22,67	96,6						
01/12/10													
08:00:19,0	0	980,25	34,4	24,074	23,24	94,9							
01/12/10													
08:30:19,0	0	980,55	45,6	24,823	23,68	93,2							
01/12/10													
09:00:19,0	0	980,75	65,6	25,841	24,24	90,7							
01/12/10													
09:30:19,0	0,399999972	981,05	74,4	27,333	24,95	86,7							
01/12/10													
10:00:19,0	0,799999945	981,05	60,6	28,99	25,09	79,4							
01/12/10													
10:30:19,0	0	980,85	40,6	28,941	23,57	72,7							

01/12/10 11:00:19,0	0	980,55	89,4	29,615	24,06	72					
01/12/10 11:30:19,0	0	980,15	73,1	30,444	23,17	65,1					
01/12/10 12:00:19,0	0	979,75	104,4	31,765	23,09	60,1					
01/12/10 12:30:19,0	0	979,35	76,9	31,714	21,61	55,1					
01/12/10 13:00:19,0	0	978,95	114,4	31,816	21,2	53,4					
01/12/10 13:30:19,0	0	978,35	96,9	32,124	21,08	52,1					
01/12/10 14:00:19,0	0	977,95	88,1	32,124	21,23	52,6					
01/12/10 14:30:19,0	0	977,45	66,9	32,433	21,58	52,8					
01/12/10 15:00:19,0	0	976,95	69,4	32,073	21,65	54,1					
01/12/10 15:30:19,0	0	976,65	34,4	31,842	21,55	54,5					
01/12/10 16:00:19,0	0	976,25	19,4	31,714	21,76	55,6					
01/12/10 16:30:19,0	0	976,15	1,9	30,697	21,56	58,2					
01/12/10 17:00:19,0	0	976,05	1,9	28,593	22,03	67,6					
01/12/10 17:30:19,0	0	976,05	1,9	27,677	23,98	80,2					
01/12/10 18:00:19,0	0	976,15	0,6	26,965	24,04	83,9					
01/12/10 18:30:19,0	0	976,55	0,6	25,914	23,65	87,2					
01/12/10 19:00:19,0	0	976,85	0,6	25,016	23,29	90					
01/12/10 19:30:19,0	0	977,25	0,6	24,581	23,19	91,8					
01/12/10 20:00:19,0	0	977,75	0,6	24,026	22,82	92,8					
01/12/10 20:30:19,0	0	978,25	0,6	23,689	22,61	93,5					
01/12/10 21:00:19,0	0	978,75	0,6	23,472	22,52	94,2					
01/12/10 21:30:19,0	0	979,25	0,6	23,28	22,41	94,7					
01/12/10 22:00:19,0	0	979,85	0,6	23,088	22,24	94,8					
01/12/10 22:30:19,0	0	980,25	0,6	22,944	22,16	95,2					
01/12/10 23:00:19,0	0	980,15	0,6	22,848	22,12	95,5					
01/12/10 23:30:19,0	0	980,25	0,6	22,872	22,18	95,7					

Tabla 2. Parámetros Diarios, Semanales y Mensuales. Microsoft Excel 2007-2010, Abril del 2010. (Ver todos los datos obtenidos, CD, CTT - FICAYA)

ABRIL																				
	P(mbar) Diario	P(mb) Semanal	P(mb) mensual	Radiación Solar Diaria	Radiación Solar Semanal	Radiación Solar Mensual	Punto de Rocío Diaria	Punto de Rocío Semanal	Punto de Rocío Mensual	HR (%) Diaria	HR (%) Semanal	HR (%) Mensual	Temperatura °C Diaria	Temperatura °C Semanal	Temperatura °C Mensual	Precipitación (mm) Diaria	Precipitación (mm) Semanal	Precipitación (mm) mensual		
01/04/2010	979,02083	978,4732	979,498	40,95	25,13244	32,21	23,8513	23,8378	23,6432708	91,785417	94,04732143	92,421	25,3595208	24,9079911	25,020044	0	100,42	257,84		
02/04/2010	976,725			41,366667			24,5023			88,675			26,685125			0				
03/04/2010	977,20625			9,3333333			23,8504			96,7125			24,3827083			16,8				
04/04/2010	978,15208			14,597917			23,321			97,1625			23,777875			39,41				
05/04/2010	978,9375			41,004167			24,2313			91,210417			25,8540833			0				
06/04/2010	979,80208			17,3833333			23,7096			95,185417			24,51875			4,8				
07/04/2010	979,46875			11,291667			23,399			97,6			23,777875			39,41			100,42	
08/04/2010	979,36667	979,4021	979,498	31,7875	30,9619	32,21	23,4225	23,3687	23,6432708	93,322917	92,74017857	92,421	24,6116875	24,6705	25,020044	0,2	10,8	257,84		
09/04/2010	980,69375			18,425			23,095			94,672917			24,0142708			5,2				
10/04/2010	980,96875			37,616667			23,0331			92,727083			24,3362917			1,2				
11/04/2010	979,55417			23,060417			23,2771			94,089583			24,2904375			0,4				
12/04/2010	977,23125			41,758333			23,4138			90,5625			25,1550417			0				
13/04/2010	978,19583			24,279167			23,5779			93,466667			24,730875			2,4				
14/04/2010	979,80417			39,80625			23,7617			90,339583			25,5548958			1,4			10,8	
15/04/2010	980,05	979,6333	979,498	42,825	41,7872	32,21	23,5173	23,3606	23,6432708	88,273958	90,28220238	92,421	25,7534375	25,102503	25,020044	0	63,81	257,84		
16/04/2010	979,50208			23,7375			23,6933			95,604167			24,4380625			5,2				
17/04/2010	979,10833			49,625			24,1548			89,805625			26,028375			0,2				
18/04/2010	979,825			59,020833			23,5658			87,7			25,4626042			0				
19/04/2010	980,96667			22,5723			22,5723			97,270833			23,0075417			58,41			63,81	257,84

20/04/2010	979,73542			53,008333			22,259			87,21875			24,4980208			0	
21/04/2010	978,24583			54,90625			23,761 9			86,10208 3			26,5294792			0	
22/04/2010	978,73125			36,310417			24,224 6			91,71875			25,7285417			2,4	
23/04/2010	978,325			43,916667			24,169 2			89,97291 7			26,0591667			8,4	
24/04/2010	979,96667			37,95625			23,524 2			91,91875			24,9857292			1,2	
25/04/2010	978,8875			23,970833			24,315			93,48125			25,4757083			1,8	
26/04/2010	978,66458			32,591667			24,270 6			93,29791 7			25,4699792			1,4	
27/04/2010	980,23125			30,660417			24,114 8			92,20833 3			25,5643958			0,4	
28/04/2010	981,52083	979,4753		15,041667	31,49256		23,515 2	24,0191		96,92083 3	92,7883928 6		24,0252083	25,3298185		18	33,6
29/04/2010	980,81667			32,66875			23,862 9			91,76041 7			25,3619167			1,2	
30/04/2010	980,19583	980,5063		30,6625	31,66563		23,397 3	23,6301		92,73333 3	92,246875		24,8168958	25,0894063		48,01	49,21

<b>Máxima</b>	981,52083			59,020833			24,502 3			97,6			26,685125			58,41		
<b>Media</b>	979,33	979,498		32,298333	32,20795		23,645 5	23,6433		92,45001 4	92,4209940 5		25,00848333	25,0200438		8,594666667	51,568	
<b>Mínima</b>	976,725			9,3333333			22,259			86,10208 3			23,0075417			0		
<b>TOTAL</b>																257,84	257,84	257,84

Anexo 8.- Diagrama1. Ombrotérmico Mensual. Estación Shushuqui, mes de marzo 2010. (Ver todos los Diagramas CD.CTT – FICAYA)

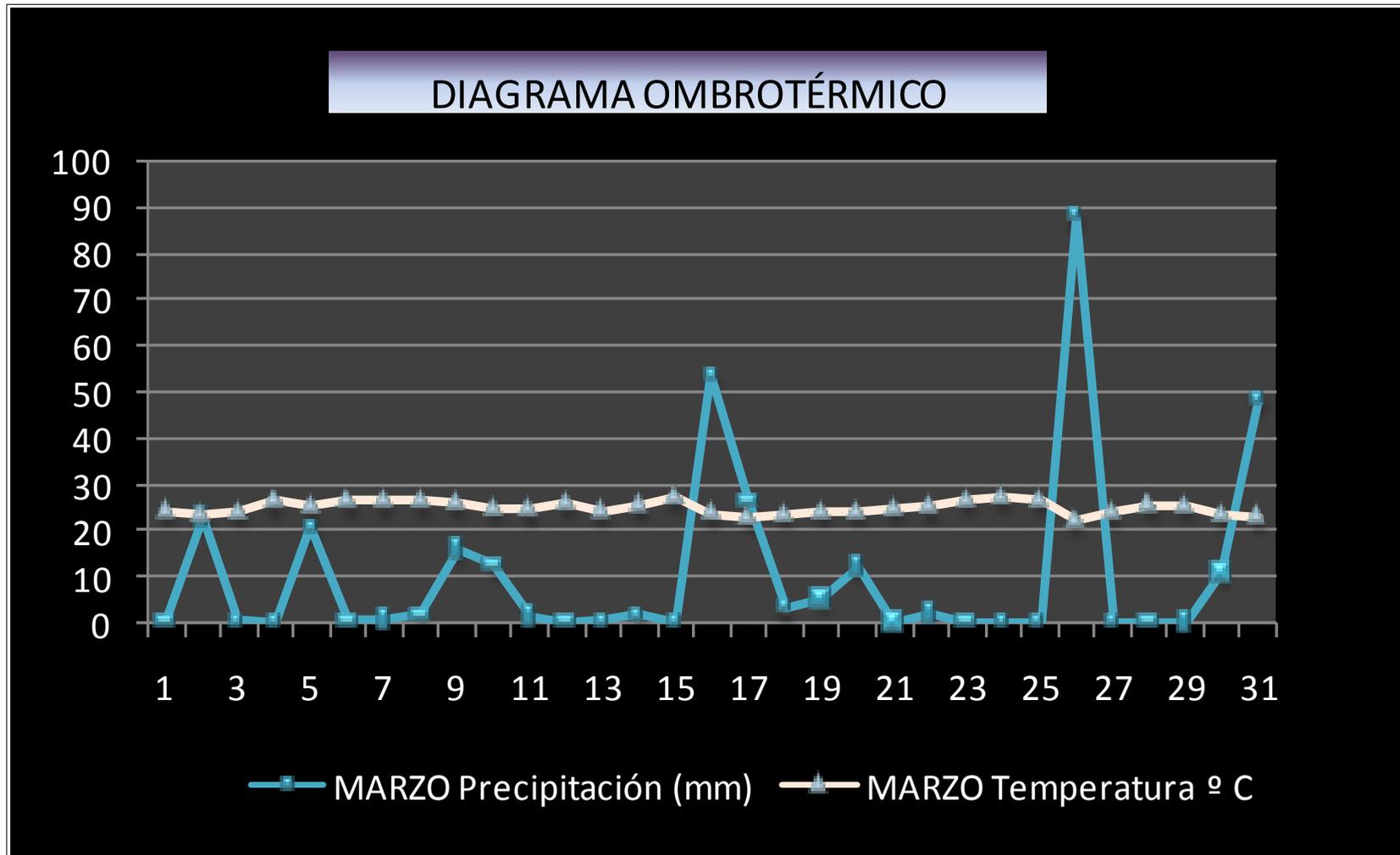
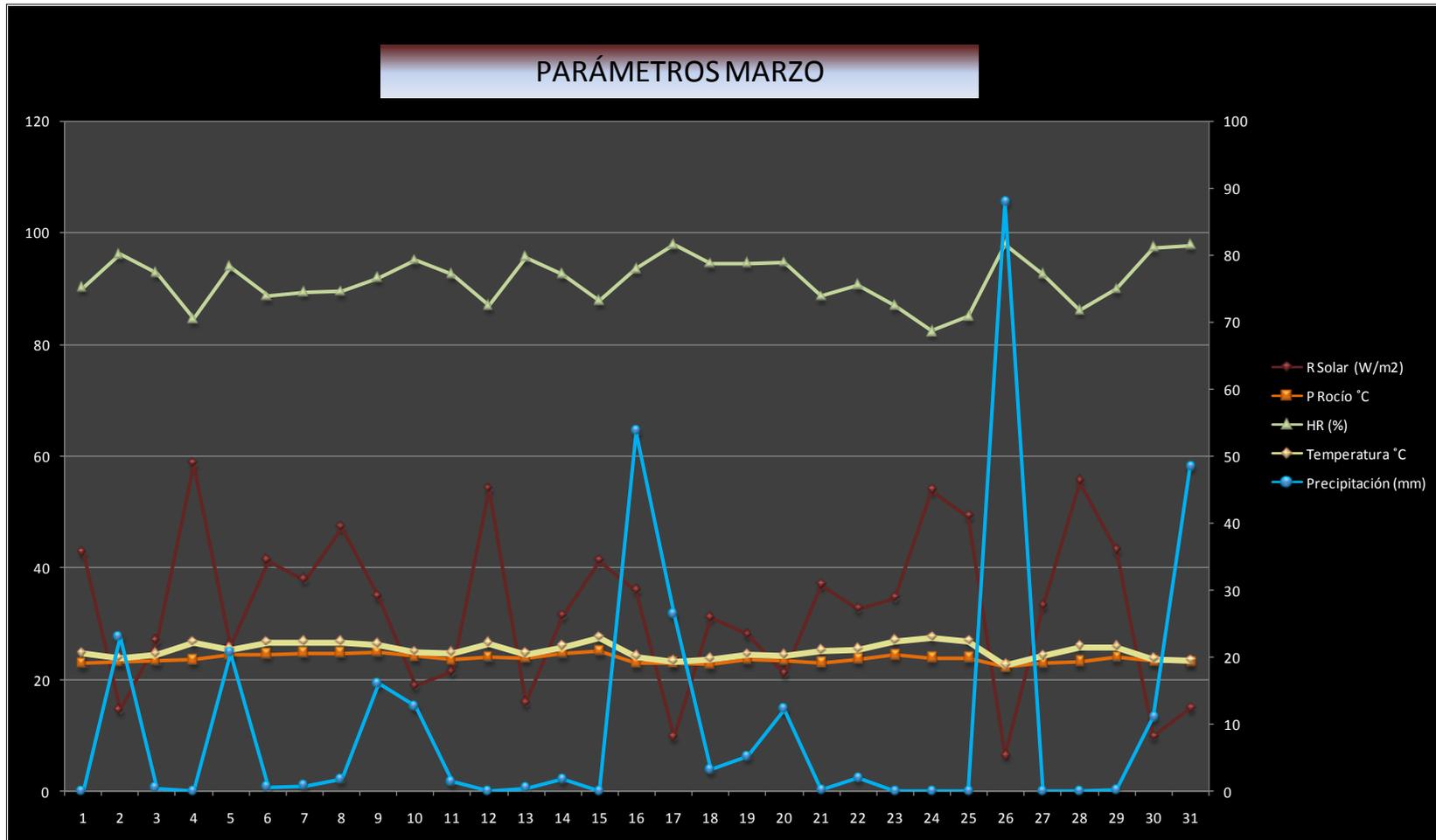


Diagrama 2. Parámetros obtenidos de la Estación Meteorológica Shushuqui. (Ver todos los diagramas, CD. CTT – FICAYA)



Anexo 9.- Ejemplo de cálculo del caudal Molinete Electrónico Rickly Hidrological Co. Datos Aforo 13 de febrero del 2010 (Ver todos los Cálculos, CD. CTT – FICAYA)

Sábado 13 de Febrero del 2010											
Hora: 08h40											
AFORO 1											
DIST. MEDICIÓN	PROF.	ALT. Helice	REVOLUCIONES	TIEMPO	VELOCIDAD	MED. SEC.	PROF. MEDIA	DIF. DIST.	Q (m3/s)	Q (ft3/s)	
0	0,02	0,075	0	40	0	0	0	0	0	0	
0,2	0,05	0,075	33	40,1	0,558	0,279	0,085	0,2	0,001953	1,953	
0,4	0,05	0,075	18	40,6	0,303	0,4305	0,05	0,2	0,004305	4,305	
0,6	0,04	0,075	38	40	0,644	0,4735	0,045	0,2	0,0042615	4,2615	
0,8	0,04	0,075	27	40	0,459	0,5515	0,04	0,2	0,004412	4,412	
1	0,03	0,075	27	40,5	0,453	0,456	0,085	0,2	0,003192	3,192	
									Q=	0,0181235	18,1235
AFORO 2											
DIST. MEDICIÓN	PROF.	ALT. Helice	REVOLUCIONES	TIEMPO	VELOCIDAD	MED. SEC.	PROF. MEDIA	DIF. DIST.	Q (m3/s)	Q (ft3/s)	
0	0,07	0,075	0	40	0	0	0	0	0	0	
0,1	0,08	0,075	38	40,4	0,637	0,3185	0,075	0,1	0,00238875	2,38875	
0,2	0,08	0,075	60	40,3	1,106	0,8715	0,08	0,1	0,006972	6,972	
0,3	0,08	0,075	46	40	0,778	0,942	0,08	0,1	0,007536	7,536	
0,4	0,07	0,075	26	40,5	0,47	0,624	0,075	0,1	0,00468	4,68	
									Q=	0,02157675	21,57675
AFORO 3											
DIST. MEDICIÓN	PROF.	ALT. Helice	REVOLUCIONES	TIEMPO	VELOCIDAD	MED. SEC.	PROF. MEDIA	DIF. DIST.	Q (m3/s)	Q (ft3/s)	
0	0,07	0,075	0	40	0	0	0	0	0	0	
0,1	0,07	0,075	40	40,2	0,711	0,3555	0,07	0,1	0,0024885	2,4885	
0,2	0,07	0,075	41	40	0,694	0,7025	0,07	0,1	0,0049175	4,9175	
0,3	0,07	0,075	47	40	0,795	0,7445	0,07	0,1	0,0052115	5,2115	
									Q=	0,0126175	12,6175
AFORO 4											
DIST. MEDICIÓN	PROF.	ALT. Helice	REVOLUCIONES	TIEMPO	VELOCIDAD	MED. SEC.	PROF. MEDIA	DIF. DIST.	Q (m3/s)	Q (ft3/s)	
0	0,02	0,075	0	40	0	0	0	0	0	0	
0,1	0,07	0,075	8	40	0,14	0,07	0,045	0,1	0,000315	0,315	
0,2	0,07	0,075	36	40	0,61	0,375	0,07	0,1	0,002625	2,625	
0,4	0,07	0,075	46	40	0,778	0,694	0,07	0,2	0,009716	9,716	
0,6	0,08	0,075	36	40,2	0,607	0,6925	0,075	0,2	0,0103875	10,3875	
0,8	0,07	0,075	28	40,4	0,475	0,541	0,075	0,2	0,008115	8,115	
1	0,07	0,075	19	40	0,325	0,4	0,07	0,2	0,0056	5,6	
1,2	0,07	0,075	24	40	0,409	0,367	0,07	0,2	0,005138	5,138	
									Q=	0,0418965	41,8965
AFORO 5											
DIST. MEDICIÓN	PROF.	ALT. Helice	REVOLUCIONES	TIEMPO	VELOCIDAD	MED. SEC.	PROF. MEDIA	DIF. DIST.	Q (m3/s)	Q (ft3/s)	
0	0,02	0,075	0	40	0	0	0	0	0	0	
0,2	0,06	0,075	62	40	1,275	0,6375	0,04	0,2	0,0051	5,1	
0,4	0,05	0,075	87	40,1	1,463	1,369	0,055	0,2	0,015059	15,059	
0,6	0,08	0,075	49	40,1	0,827	1,145	0,065	0,2	0,014885	14,885	
0,8	0,08	0,075	90	40	1,635	1,231	0,08	0,2	0,019696	19,696	
1	0,08	0,075	65	40,1	1,095	1,365	0,08	0,2	0,02184	21,84	
1,2	0,08	0,075	41	40	0,694	0,8945	0,08	0,2	0,014312	14,312	
1,3	0,08	0,075	34	40,4	0,571	0,6325	0,08	0,1	0,00506	5,06	
									Q=	0,095952	95,952