

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL**  
**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**



**TESIS:**

**“ESTUDIO HIDROLOGICO Y PROPUESTA TECNICA PARA LA  
REDUCCION DE LA VULNERABILIDAD POR INUNDACION EN EL  
CANTON EL BORBOLLÓN CAUSADO POR EL DESBORDAMIENTO DE LA  
LAGUNA EL JOCOTAL”**

**PRESENTAN:**

**BR. SALVADOR PINEDA MELGAR**  
**BR. LUIS ALONSO RUBIO ORELLANA**

**DOCENTE DIRECTOR:**

**ING. FRANCISCO ANTONIO AGUIRRE GALLO**

**PARA OPTAR AL TITULO DE:**

**INGENIERIO CIVIL**

**NOVIEMBRE DE 2009**

**SAN MIGUEL**

**EL SALVADOR**

**CENTRO AMERICA**

**AUTORIDADES UNIVERSITARIAS  
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

RECTOR:

Máster. Rufino Antonio Quezada Sánchez

VICERECTOR ACADEMICO:

Máster. Miguel Ángel Pérez Ramos

VICERECTOR ADMINISTRATIVO:

Máster. Oscar Noé Navarrete

SECRETARIO GENERAL:

Lic. Douglas Vladimir Alfaro Chávez

FISCAL GENERAL:

Doctor. René Madecadel Perla Jiménez

**FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL**

DECANO:

Ing. David Arnoldo Chávez Saravia

VICEDECANO:

Doctora. Ana Judith Guatemala de Castro

SECRETARIO:

Ing. Jorge Alberto Rugamas Ramírez

JEFE DEL DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA:

Ing. Uvín Edgardo Zúniga Cruz

**TRABAJO DE GRADUACION APROBADO POR:**

DOCENTE DIRECTOR

---

**ING. FRANCISCO ANTONIO AGUIRRE GALLO**

COORDINADOR DE PROCESOS DE GRADUACION

---

**ING. MILAGRO DE MARIA ROMERO BARDALES**

## AGRADECIMIENTOS

Son muchas las personas e instituciones que han colaborado en la elaboración de este trabajo de graduación. A todos ellos expresamos nuestros más sinceros agradecimiento y especialmente a:

Ing. Francisco Aguirre Gallo

Lic. Oscar Calderón

Lic. Cristóbal Ríos

Licda. Rosa María Araujo Cabrera

Ing. José Atilio Vásquez Hernández

Lic. Willian Reyes

## AGRADECIMIENTO A INSTITUCIONES

Servicio Nacional de Estudios Territoriales (SNET)

Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN)

Solidaridad Internacional (OIKOS)

Asociación Para la Autodeterminación de la Mujer Salvadoreña (AMS)

Centro de Protección de Desastres de El Salvador (CEPRODE)

Programa Salvadoreño de Investigación Sobre Desarrollo y Medio Ambiente  
(PRISMA)

Laboratorio de Química de esta Facultad.

DEDICO ESTE TRIUNFO:

**A DIOS TODOPODEROSO Y A LA VIRGEN MARÍA:** Por permitir terminar esta etapa de mi vida guiando mis pasos a lo largo de mi formación académica y por darme fortaleza en los momentos más difíciles que tuve en los años de estudio, ayudándome a comprender que las metas por muy difíciles que sean con sacrificio se alcanzan.

**A MI PADRE: Salvador Melgar Montiel,** por todo su apoyo brindado a lo largo de mis años de estudio y por todos sus consejos para que yo me convirtiera en un profesional.

**A MI MADRE: Blanca Lidia Pineda,** por estar conmigo siempre, apoyándome en todo momento, sus consejos han sido fundamentales en mi vida; el esfuerzo que hicimos junto se ha logrado.

**A MIS HERMANOS: Elmer, Oswaldo, Walter, Miria y Gladis,** todos ustedes también son parte de este logro, su ayuda incondicional ha sido de gran valor para mí.

**A MI FAMILIA Y AMIGOS,** a todos gracias por toda la ayuda brindada.

**SALVADOR PINEDA MELGAR.**

Este triunfo se lo dedico primeramente a Jehová, nuestro Padre Celestial, por haberme iluminado a lo largo de mi formación académica y guiarme siempre por el buen camino. Sin su ayuda nada hubiese sido posible.

**A mi Padre:** Leonidas Orellana, por sus sabios concejos y por su apoyo incondicional

**A mi Madre** Bonifacia Rubio, por estar con migo siempre en los momentos más difíciles. Gracias Madrecita.

**A mi Hijito:** Jonathan, Por su amor, su ternura y que ha sido y será para mí, fuente de inspiración.

**A mis hermanos(as):** Gloria del Carmen, Dinora y Aníbal, Por su afecto y su comprensión a lo largo de mi carrera.

**A mi Novia:** Misaida Cruz, Por su amor y por su ayuda a lo largo de este proyecto.

**A mis sobrinitas:** Katherinne y Beatriz con mucho amor

**A mis primos:** Geovanny y Marvin por su apoyo sincero y desinteresado

**A mi Tía Sara Alfaro y su Esposo:** Por haberme brindado su ayuda para que fuese posible el desarrollo de mi carrera.

**A mi Amigo:** Ing. Carlos Enrique Vaquero, por brindarme su amistad sincera.

**A mi Amigo y ex compañero:** José Arnoldo Crespo, por su ayuda y brindarme buenos concejos a lo largo de mi vida.

**A mis compañeros:** George Leiva, Kike Medina y Beneke, por ser muy buenos compañeros y las ayudas mutuas durante nuestra formación académica.

**A todos** mis compañeros, amigos y familiares, que de una u otra forma me han ayudado a iniciar y finalizar mis metas, A TOD@S MUCHAS GRACIAS.

**LUIS ALONSO RUBIO ORELLANA.**

## INDICE

### **CAPITULO I: “ANTEPROYECTO”**

INTRODUCCION.....	25
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	27
JUSTIFICACION .....	30
OBJETIVOS .....	33
DELIMITACIONES.....	34
HIPOTESIS .....	36
METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION .....	37

### **CAPITULO II: “GENERALIDADES”**

#### **2.1 MARCO HISTORICO.**

2.1.1 Descripción y características del desastre	
Provocado por el huracán Mitch .....	41
2.1.2 Amenazas debido a la formación geológica .....	46

#### **2.2 DESCRIPCION DEL ÁREA DE ESTUDIO.**

2.2.1 Ubicación Geográfica del área de estudio .....	51
2.2.2 Características del área de estudio .....	52
Superficie .....	52
Tipo de Humedal.....	53
Altitud.....	53
Descripción General.....	53
Características Físicas .....	54
Régimen de Propiedad .....	55

#### **2.3 MEDIDAS DE CONSERVACIÓN.**

2.3.1 Medidas de Conservación Adoptadas.....	55
2.3.2 Medidas de Conservación propuestas, pero aún no implementadas.....	56

<b>2.4 USOS ACTUALES Y/O PRINCIPALES ACTIVIDADES HUMANAS.</b>	
Del Sitio .....	57
2.4.1 Condiciones Socioeconómicas .....	57
Población .....	57
Educación .....	58
Salud .....	58
Vivienda .....	58
Actividades Económicas .....	58
Organización .....	58
2.4.2 Condiciones Socioambientales .....	59
Deterioro Ambiental .....	59
Fauna .....	59
Flora .....	60
<b>2.5 ACUMULACIÓN DE SEDIMENTOS .....</b>	<b>62</b>
<b>2.6 INUNDACIÓN Y DEFORESTACIÓN .....</b>	<b>62</b>
<b>2.7 VULNERABILIDAD DE LA ZONA .....</b>	<b>63</b>
<b>2.8 INUNDACIONES.</b>	
2.8.1 Consecuencias de las inundaciones .....	65
2.8.2 Ocurrencia de las inundaciones .....	65
2.8.3 Impactos de la inundación .....	66
2.8.4 Riesgos .....	67
2.8.5 Programa de prevención y mitigación de riesgo .....	69
2.8.6 Clasificación de las inundaciones .....	69
Inundación Repentina .....	69
Inundación Lenta .....	70
2.8.7 Desastres .....	71
2.8.8 Inundaciones, Hombre y Desastres .....	71
2.8.9 Sistemas de Alerta Temprana para inundaciones .....	72
<b>2.9 UTILIZACIÓN DEL TERRITORIO .....</b>	<b>73</b>



<b>2.10 INFRAESTRUCTURA Y EQUIPAMIENTO</b>	
<b>COMUNITARIO</b> .....	75
<b>2.11 SISTEMA VIAL</b> .....	76
<b>2.12 PERFIL CLIMATOLÓGICO DE LA ZONA DE</b>	
<b>ESTUDIO</b> .....	78
2.12.1 Temperatura .....	79
2.12.2 Precipitación .....	81
2.12.3 Humedad Relativa .....	84
<b>2.13 HIDROLOGÍA</b>	
2.13.1 Aguas Subterráneas .....	87
<b>2.14 MARCO GEOLÓGICO</b> .....	89
<b>2.15 TIPOS DE SUELOS</b> .....	92
Aluviales .....	93
Andisoles .....	93
Litosoles.....	94
<b>2.16 MARCO NORMATIVO</b> .....	94

### **CAPITULO III: “MARCO TEÓRICO”**

<b>3.1 RESEÑA HISTÓRICA DE LA HIDROLOGÍA COMO</b>	
<b>CIENCIA</b> .....	107
Concepto de Hidrología.....	107
<b>3.2 EL CICLO HIDROLÓGICO</b>	
3.2.1 Evaporación .....	110
3.2.2 Transpiración .....	110
3.2.3 Evapotranspiración .....	113
Factores que influyen en la Evapotranspiración .....	114
Calculo de la Evapotranspiración .....	115
Medida de la Evapotranspiración.....	118
3.2.4 Condensación .....	121

3.2.5 Precipitación .....	122
Formas de precipitación .....	123
Tipos Básicos de precipitación .....	123
Medición de la precipitación .....	126
3.2.6 Infiltración .....	129
3.2.7 Escurrimiento superficial o Escorrentía .....	129
Medición del agua superficial .....	130
Factores que influyen en la escorrentía superficial .....	134
Variables que intervienen en el análisis de E. Superficial .....	136
Métodos para medir la escorrentía superficial .....	138
Representación de la escorrentía .....	145

### **3.3 ANALISIS DE LLUVIA**

3.3.1 Intensidad.....	148
3.3.2 Duración .....	148
3.3.3 Frecuencia.....	149
3.3.4 Curva Intensidad – Duración – Frecuencia .....	149

### **3.4 CUENCAS HIDROGRAFICAS**

3.4.1 Definición de cuenca .....	150
3.4.2 clasificación de las cuencas .....	151
Clasificación de los cursos de agua .....	152
3.4.3 Formación de las cuencas de drenaje.....	153
3.4.4 Hidrología de las cuencas de drenajes .....	153
Patrones de drenajes de una cuenca .....	155
3.4.5 Morfometría de las cuencas .....	155
3.4.6 Modelo de drenaje de una cuenca hidrográfica .....	156
Criterios para el trazado del parte aguas .....	159
3.4.7 Parámetros físicos de las cuencas .....	159
3.4.8 Características de forma de la cuenca .....	166
Coeficiente de compacidad .....	166

Factor de forma .....	167
<b>3.5 ESTUDIO HIDROLOGIO</b>	
3.5.1 Factores que influyen en el estudio hidrológico .....	168
3.4.2 Métodos para determinar el caudal de diseño.....	168
Métodos empíricos .....	168
Métodos estadísticos .....	170
Métodos hidrometeorológicos .....	170
<b>3.6 ANALISIS HIDRULICO .....</b>	<b>179</b>
<b>CAPITULO IV: “EVALUACION DEL ÁREA DE ESTDIO”</b>	
<b>4.1 CARACTERISTICAS FISICAS DE LA CUENCA.</b>	
Geología.....	184
Vegetación .....	186
Uso de suelo.....	186
<b>4.2 PARAMETROS FISICOS DE LA CUENCA.</b>	
Área y perímetro de la cuenca .....	187
Longitud del cauce más largo .....	187
Modelo de drenaje de la cuenca.....	188
Densidad de drenaje de la cuenca.....	188
Elevación media.....	188
Pendiente media.....	192
<b>4.3 CARACTERISTICAS DE FORMA.</b>	
Coeficiente de compacidad.....	194
Factor de forma.....	194
<b>4.4 CALCULO DEL CAUDAL MAXIMO.</b>	
4.4.1 Método de las curvas Isocronas .....	195
Establecimiento de las líneas Isocronas .....	196
Tiempo de concentración .....	197
Determinación de los coeficientes de escorrentía .....	199

Determinación de las intensidades de precipitación de diseño.....	203
Periodos de retornos .....	204
Calculo de caudales por sector .....	204
4.4.2 Método del Hidrograma Unitario Triangular	
Equivalente.....	209
4.4.3 Análisis comparativo de los resultados obtenidos en el estudio Hidrológico .....	215
<b>4.5 EFECTO DE LA CRECIDA DEL RIO GRANDE DE SAN MIGUEL.</b>	
4.5.1 Caudal en el canal de entrada “método de las curvas Isocronas” .....	217
<b>4.6 ANALISI HIDRÁULICO.</b>	
4.6.1 Aforo del cana artificial .....	233
4.6.2 Curva de descarga natural.....	235
<b>4.7 BALANCE HIDRICO.</b>	
4.7.1 Ubicación .....	238
4.7.2 Precipitación media de la cuenca.....	238
4.7.3 Evapotranspiración potencial .....	242
4.7.4 Evapotranspiración real, Reserva y Excedente para el área de estudio .....	246
4.7.5 Evaporación de cuerpos de agua.....	255
Cálculo de la radiación neta .....	256
Calor latente de vaporización.....	259
Densidad del agua .....	260
4.7.6 Recarga o infiltración “método RAS” .....	261
Balance climático .....	262
Coeficiente de la pendiente .....	262
Coeficiente de transpiración vegetal .....	264
Coeficiente de tipo de suelo .....	266

4.7.7 Demandas .....	268
4.7.8 Retornos .....	269
4.7.9 Resultados.....	269

**CAPITULO V: “PROPUESTA TECNICA”**

**5.1 ESTRUCTURAS DE CONTENCIÓN.**

5.1.1 Tipos de muros de contención .....	273
Muros de mampostería de piedra .....	273
Muros de concreto ciclópeo .....	273
Muros gaviones .....	274

**5.2 DISEÑO DEL MURO DE CONTENCIÓN EN EL CANAL**

<b>ARTIFICIAL (TIPO GAVION).....</b>	<b>275</b>
--------------------------------------	------------

<b>5.3 ELABORACION DEL MAPA DE RIESGO .....</b>	<b>284</b>
---	------------

<b>5.4 REUBICACION DEFINITIVA .....</b>	<b>286</b>
---	------------

5.4.1 Propuesta de ordenamiento territorial para el sector bajo del Cantón El Borbollón .....	287
Ordenanza de uso de tierra municipal .....	290
Ordenanza de código de construcción local .....	291

**CAPITULO VI: “CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES”**

<b>6.1 COCLUSIONES .....</b>	<b>297</b>
------------------------------	------------

<b>6.2 RECOMENDACIONES .....</b>	<b>299</b>
----------------------------------	------------

<b>MAPAS .....</b>	<b>301</b>
--------------------	------------

<b>PLANOS .....</b>	<b>312</b>
---------------------	------------

**ANEXOS**

ANEXO 1: Coeficientes de escorrentía para diferentes periodos de retorno.....	317
ANEXO 2: Intensidades máximas anuales (Estación El Papalón) .....	318
ANEXO 3: Periodos de duración tomados para el análisis (Estación El Papalón) .	319

ANEXO 4: Intensidad de precipitación máxima anual (Estación El Papalón) .....	320
ANEXO 5: Curva Intensidad – Duración – Frecuencia (Estación El Papalón) .....	321
ANEXO 6: Intensidades máximas anuales (Estación Santiago de María) .....	322
ANEXO 7: Periodos de duración tomados para el análisis (Estación Santiago de María) .....	323
ANEXO 8: Intensidad de precipitación máxima anual (Estación Santiago de María).....	324
ANEXO 9: Curva Intensidad – Duración – Frecuencia (Estación Santiago de María).....	325
ANEXO 10: Nomograma de Ven Te Chow para el calculo del Coeficiente de escorrentía .....	326
ANEXO 11: Coeficientes de cultivo ( $k_s$ ) .....	327
ANEXO 12: Pruebas de Infiltración .....	329
ANEXO 13: Análisis Microbiológico de Aguas y ph .....	344
ANEXO 14: Especificaciones técnicas para el diseño de muros gavionados .....	347
<b>FUENTES DE CONSULTA</b> .....	354

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.1:</b> Vía de acceso principal a la Laguna El Jocotal.....	29
<b>Figura 1.2:</b> Nivel de agua alcanzado en una de las viviendas del Cantón El Borbollón .....	32
<b>Figura 2.1.1.1:</b> Trayectoria del huracán Mitch (1998).....	44
<b>Figura 2.1.2.1:</b> Depósitos de lava reciente en el costado sur del volcán Chaparrastique .....	49
<b>Figura 2.2.1.1:</b> Ubicación geográfica del área de estudio.....	51
<b>Figura 2.9.1:</b> Distribución del uso de suelo en la comunidad El Borbollón .....	74
<b>Figura 2.12.1.1:</b> Temperatura media anual .....	81
<b>Figura 2.12.2.1:</b> Precipitación media anual .....	84
<b>Figura 2.13.1:</b> Cuerpos de agua continentales .....	87
<b>Figura 2.13.1.1:</b> Hidrología de la cuenca de la laguna El Jocotal .....	89
<b>Figura 2.14.1:</b> Formaciones Geológicas de la cuenca de la laguna El Jocotal .....	90
<b>Figura 2.14.2:</b> Geología de la cuenca de la laguna El Jocotal .....	92
<b>Figura 2.15.1:</b> Tipos de suelos predominantes en la cuenca de la Laguna El Jocotal .....	93
<b>Figura 3.2.1:</b> Componentes del ciclo hidrológico .....	110
<b>Figura 3.2.3.1:</b> Cajas lisimétricas .....	119
<b>Figura 3.2.3.2:</b> Esquema de lisímetro monolito .....	120
<b>Figura 3.2.3.3:</b> Lisímetro de pesada .....	120
<b>Figura 3.2.4.1:</b> Proceso de condensación .....	122
<b>Figura 3.2.5.1:</b> Precipitación convectiva .....	124
<b>Figura 3.2.5.2:</b> Precipitación orográfica .....	124
<b>Figura 3.2.5.3:</b> precipitación ciclónica .....	126
<b>Figura 3.2.5.4:</b> Pluviómetro .....	127
<b>Figura 3.2.5.5:</b> Pluviógrafo .....	129

<b>Figura 3.2.7.1:</b> Escorrentía superficial .....	130
<b>Figura 3.2.7.2:</b> Correntómetro tipo molinete .....	131
<b>Figura 3.2.7.3:</b> Correntómetro suspendido desde un bote y desde un puente .....	132
<b>Figura 3.2.7.4:</b> Perfil de velocidades con sus respectivas isovelas .....	133
<b>Figura 3.2.7.5:</b> Cálculo del caudal utilizando la información de un aforo .....	134
<b>Figura 3.2.7.6:</b> Molinetes usados en corrientes superficiales .....	141
<b>Figura 3.2.7.7:</b> Molinete por suspensión desde un puente .....	141
<b>Figura 3.2.7.8:</b> Molinete por suspensión desde un cable-canastilla .....	142
<b>Figura 3.2.7.9:</b> Limnómetro .....	144
<b>Figura 3.2.7.10:</b> a) Limnógrafo mecánico. b. Limnógrafo en Estación Hidrométrica automática .....	144
<b>Figura 3.2.7.11:</b> Aforo en una sección de control .....	145
<b>Figura 3.2.7.12:</b> Partes de un Hidrograma .....	147
<b>Figura 3.4.1.1:</b> Modelo de cuenca .....	151
<b>Figura 3.4.2.1:</b> Cuenca endorreica (izquierda), cuenca exorreica (derecha) .....	152
<b>Figura 3.4.4.1:</b> Hidrología de una cuenca de drenaje .....	154
<b>Figura 3.4.5.1:</b> Ordenes de corrientes .....	156
<b>Figura 3.4.6.1:</b> Modelos de Drenaje .....	157
<b>Figura 3.4.7.1:</b> Modelos de Drenaje .....	160
<b>Figura 3.4.7.2:</b> Grilla para el análisis de la pendiente media de la cuenca .....	164
<b>Figura 3.4.7.3:</b> Curva hipsométrica .....	165
<b>Figura 3.5.2.1:</b> Hidrograma unitario aislado .....	173
<b>Figura 3.5.2.2:</b> Hidrograma unitario triangular .....	176
<b>Figura 3.5.2.3:</b> Esquematización de líneas Isocronas .....	178
<b>Figura 4.1.1:</b> Cuenca de la Laguna El Jocotal .....	183
<b>Figura 4.1.2:</b> Geología en las riberas del Rio Grande de San Miguel .....	184
<b>Figura 4.1.3:</b> Geología en las riberas de la Laguna El Jocotal.....	185
<b>Figura 4.1.4:</b> Geología en la comunidad del Cantón El Borbollón .....	185
<b>Figura 4.1.5:</b> Vegetación en las riberas de la Laguna El Jocotal .....	186



<b>Figura 4.1.6:</b> Uso de suelo predominante en la subcuenca .....	187
<b>Figura 4.2.1:</b> Drenaje centrípeto .....	188
<b>Figura 4.4.1.1:</b> Tipos de vegetación que se encuentran en la cuenca de la Laguna El Jocotal.....	200
<b>Figura 4.5.1:</b> Cuenca hidrográfica del Rio Grande de San Miguel .....	216
<b>Figura 4.5.1.1:</b> Parte de la cuenca del Rio Grande de San Miguel, para el Calculo de su área y perímetro respectivamente .....	218
<b>Figura 4.5.1.2:</b> Líneas Isocronas para la cuenca del Rio Grande de San Miguel .....	222
<b>Figura 4.5.1.3:</b> Geología de la cuenca del Rio Grande de San Miguel .....	224
<b>Figura 4.5.1.4:</b> Uso de suelo para la cuenca del Rio Grande de San Miguel .....	225
<b>Figura 4.6.1.1:</b> Medición indirecta del ancho del canal y velocidad del flujo .....	234
<b>Figura 4.6.2.1:</b> Curva de descarga natural .....	237
<b>Figura 4.7.2.1:</b> Polígonos de Thiessen para la cuenca de la Laguna El Jocotal .....	241
<b>Figura 4.7.4.1:</b> Área de tipos de suelos encontrados en la zona de estudio .....	252
<b>Figura 4.7.5.1:</b> Radiación Promedio Anual para el Salvador .....	256
<b>Figura 4.7.6.1:</b> Esquema de pasos para la aplicación del método RAS .....	261
<b>Figura 4.7.6.2:</b> Mapa de pendientes en la zona de estudio .....	263
<b>Figura 4.7.6.3:</b> Uso de suelo en la zona de estudio .....	265
<b>Figura 5.1.1.1:</b> Muros de mampostería de piedra .....	273
<b>Figura 5.1.1.2:</b> Muros de concreto ciclópeo .....	274
<b>Figura 5.1.1.3:</b> Muros tipo gavión .....	275
<b>Figura 5.2.1:</b> Dimensionamiento del muro de contención .....	276
<b>Figura 5.2.2:</b> Distribución de empujes laterales .....	278
<b>Figura 5.2.3:</b> Fuerzas gravitatorias actuantes en el muro .....	279
<b>Figura 5.2.4:</b> Punto de aplicación del sistema de fuerzas .....	280
<b>Figura 5.2.5:</b> Determinando la excentricidad de las fuerzas verticales .....	282
<b>Figura 5.2.6:</b> Distribución de esfuerzos máximos y mínimos .....	283
<b>Figura 5.4.1.1:</b> Materiales de construcción en buen estado .....	291

<b>Figura 5.4.1.2:</b> Calidad del diseño estructural .....	292
<b>Figura 5.4.1.3:</b> Viviendas de forma regular .....	293
<b>Figura 5.4.1.4:</b> Previsión de ampliaciones futuras .....	293
<b>Figura 5.4.1.5:</b> Control en el ancho de aberturas .....	294
<b>Figura 5.4.1.6:</b> Condiciones de estabilidad para los muros de relleno .....	295

## INDICE DE GRAFICOS

<b>Gráfico 2.12.1.1:</b> Temperatura anual .....	80
<b>Gráfico 2.12.2.1:</b> precipitación anual .....	83
<b>Gráfico 2.12.3.1:</b> humedad relativa anual .....	86
<b>Gráfico 4.2.1:</b> Curva Hipsométrica .....	190
<b>Gráfico 4.7.9.1:</b> Gráfico del Balance Hídrico para la zona de estudio .....	270

## INDICE DE TABLAS.

<b>Tabla 2.1.1.1:</b> Registro histórico de Huracanes en el área de estudio .....	43
<b>Tabla 2.1.2.1:</b> Conceptos de vulnerabilidad ambiental .....	47
<b>Tabla 2.11.1:</b> Sistema vial de la comunidad El Borbollón .....	78
<b>Tabla 2.12.1.1:</b> Temperatura anual en la cuenca de la laguna El Jocotal .....	80
<b>Tabla 2.12.2.1:</b> Precipitación mensual en la cuenca de la Laguna El Jocotal .....	83
<b>Tabla 2.12.3.1:</b> Humedad relativa en la cuenca de la laguna El Jocotal .....	85
<b>Tabla 3.2.1:</b> Distribución del agua en la superficie terrestre .....	109
<b>Tabla 3.2.3.1:</b> $R_A$ para el Hemisferio del norte .....	117
<b>Tabla 4.2.1:</b> Tabulación para la Curva Hipsométrica .....	189
<b>Tabla 4.2.2:</b> Datos para el método de pares de contornos .....	191
<b>Tabla 4.2.3:</b> Longitudes de las curvas de nivel .....	193
<b>Tabla 4.4.1.1:</b> Pendiente media para cada sector .....	201
<b>Tabla 4.4.1.2:</b> Coeficiente de escorrentía para cada sector .....	202
<b>Tabla 4.4.1.3:</b> Intensidades de diseño en mm/min para cada sector .....	204
<b>Tabla 4.4.1.4:</b> Calculo del caudal máximo para cada sector de la cuenca Período de retorno = 15 años .....	205
<b>Tabla 4.4.1.5:</b> Calculo del caudal máximo para cada sector de la cuenca Período de retorno = 26 años .....	206
<b>Tabla 4.4.1.6:</b> Calculo del caudal máximo para cada sector de la cuenca Período de retorno = 30 años .....	207
<b>Tabla 4.4.1.7:</b> Calculo del caudal máximo para cada sector de la cuenca Período de retorno = 50 años .....	208
<b>Tabla 4.4.2.1:</b> Coeficientes de escorrentía .....	210
<b>Tabla 4.4.2.2:</b> Valores promedio de Intensidades máximas en mm/hr .....	211
<b>Tabla 4.4.2.3:</b> Caudal pico para un periodo de retorno de 15 años .....	213
<b>Tabla 4.4.2.4:</b> Caudal pico para un periodo de retorno de 26 años .....	213
<b>Tabla 4.4.2.5:</b> Caudal pico para un periodo de retorno de 30 años .....	214

<b>Tabla 4.4.2.6:</b> Caudal pico para un periodo de retorno de 50 años .....	214
<b>Tabla 4.4.3.1:</b> Caudales máximos para los periodos de retorno considerados .....	215
<b>Tabla 4.5.1.1:</b> Pendiente promedio de la cuenca del Rio Grande de San Miguel ..	219
<b>Tabla 4.5.1.2:</b> Coeficientes de escurrimiento para la cuenca del Rio Grande de San Miguel .....	226
<b>Tabla 4.5.1.3:</b> Intensidades de diseño en mm/min para cada sector .....	228
<b>Tabla 4.5.1.4:</b> Calculo del caudal máximo para cada sector de la cuenca. Periodo de retorno = 15 años .....	229
<b>Tabla 4.5.1.5:</b> Calculo del caudal máximo para cada sector de la cuenca. Periodo de retorno = 26 años .....	230
<b>Tabla 4.5.1.6:</b> Calculo del caudal máximo para cada sector de la cuenca. Periodo de retorno = 30 años .....	231
<b>Tabla 4.5.1.7:</b> Calculo del caudal máximo para cada sector de la cuenca. Periodo de retorno = 50 años .....	232
<b>Tabla 4.6.1.1:</b> Caudales de entrada a la Laguna El Jocotal .....	235
<b>Tabla 4.6.2.1:</b> Resumen del cálculo del factor geométrico .....	236
<b>Tabla 4.7.2.1:</b> Precipitación Mensual en la Estación Meteorológica El Papalón (M6) .....	239
<b>Tabla 4.7.2.2:</b> Precipitación Mensual en la Estación Meteorológica Santiago de María (U6).....	239
<b>Tabla 4.7.2.3:</b> Precipitación Mensual en la Estación Meteorológica La Carrera(U11) .....	240
<b>Tabla 4.7.2.4:</b> Calculo de la precipitación media .....	241
<b>Tabla 4.7.2.5:</b> Precipitación Media calculada por el método de los Polígonos de Thiessen .....	242
<b>Tabla 4.7.3.1:</b> Temperatura Mensual Media, promediada para la estación El Papalón y Santiago de María ( <sup>0</sup> C) .....	243
<b>Tabla 4.7.3.2:</b> Humedad Relativa Mensual Media, promediada para la estación El Papalón y Santiago de María (%) .....	244

<b>Tabla 4.7.3.3:</b> Radiación extraterrestre mensual para una Latitud de $13^{\circ} 21.67105'$ .....	245
<b>Tabla 4.7.3.4:</b> Evapotranspiración potencial (en mm) por el método de Hargreaves .....	246
<b>Tabla 4.7.4.1:</b> Tipos de cultivos encontrados en el área de estudio .....	247
<b>Tabla 4.7.4.2:</b> Coeficientes de cultivo para el área de estudio .....	248
<b>Tabla 4.7.4.3:</b> Coeficientes de cultivo ponderado .....	249
<b>Tabla 4.7.4.4:</b> Evapotranspiración de Cultivo en (mm) .....	249
<b>Tabla 4.7.4.5:</b> Evapotranspiración Real en (ETR en mm) .....	251
<b>Tabla 4.7.4.6:</b> Punto de Marchitez Permanente, Capacidad de campo y Capacidad de agua disponible para suelos de varias texturas .....	252
<b>Tabla 4.7.4.7:</b> Reserva de agua útil (SAT, en mm) para el área rural .....	253
<b>Tabla 4.7.4.8:</b> Reserva en el área rural (mm) .....	253
<b>Tabla 4.7.4.9:</b> Excedente en el área rural (mm) .....	254
<b>Tabla 4.7.4.10:</b> Déficit en el área rural (mm) .....	255
<b>Tabla 4.7.5.1:</b> Radiación neta en la Laguna El Jocotal en $w/m^2$ .....	258
<b>Tabla 4.7.5.2:</b> Calor latente en KJ/kg .....	259
<b>Tabla 4.7.5.3:</b> Evaporación de cuerpos de agua (Laguna El Jocotal), en mm/mes .....	260
<b>Tabla 4.7.6.1:</b> Cálculo del Balance Climático .....	262
<b>Tabla 4.7.6.2:</b> Valores de $k_p$ según el rango de pendiente .....	263
<b>Tabla 4.7.6.3:</b> Cálculo de $k_p$ para la zona de estudio .....	264
<b>Tabla 4.7.6.4:</b> Cálculo de $k_v$ para la zona de estudio .....	265
<b>Tabla 4.7.6.5:</b> Coeficiente de tipo de suelo .....	266
<b>Tabla 4.7.6.6:</b> Coeficiente de tipo de suelo ponderado del área de estudio .....	266
<b>Tabla 4.7.6.7:</b> Cálculo de la recarga o infiltración .....	267
<b>Tabla 4.7.7.1:</b> Censo de la comunidad del Cantón El Borbollón .....	268
<b>Tabla 4.7.7.2:</b> Consumo de agua anual para el Cantón El Borbollón .....	268
<b>Tabla 4.7.9.1:</b> Resultado del Balance Hídrico .....	270

<b>Tabla 5.2.1:</b> Procedimiento para el calculo del momento resistente ( $M_R$ ) .....	280
<b>Tabla 5.3.1:</b> Resumen del calculo del tirante normal (altura de calados) .....	285
<b>Tabla 5.3.2:</b> Niveles de Riesgos .....	286
<b>Tabla 5.4.1.1:</b> Considerando mapas, Intensidades y pendientes .....	288
<b>Tabla 5.4.1.2:</b> Considerando aspectos generales .....	289



**CAPITULO I**  
**“ANTEPROYECTO”**





## INTRODUCCION.

En el presente estudio “Estudio hidrológico y propuesta técnica para la reducción de la vulnerabilidad por inundación en la comunidad El Borbollón”, se estudiarán las posibles alternativas de solución que nos permitan obtener un mejor nivel de vida en el cantón El Borbollón, ya que como es muy conocido, esta zona es seriamente vulnerable en la época de invierno, pues esta se encuentra ubicada en la planicie de inundación del río Grande de San Miguel y también es afectada por la escorrentía superficial proveniente de la falda sur del volcán Chaparrastique.

Cuando la escorrentía superficial genera creciente de agua escurrida, al acumularse, esta define una lamina de agua desde la superficie del suelo donde se encuentran las viviendas y ha sobrepasado el nivel de los pisos de ellas, afectando no solo la permanencia de las personas en sus moradas, sino también los bienes materiales que les sirven para subsistir, a la vez que les genera las pérdidas de producción agrícolas que siembran en la época, sin poder cosechar, así como también el ahogamiento de animales domésticos, además la Flora y Fauna silvestre son impactadas negativamente.

Las inundaciones generan problemas de insalubridad principalmente por la inundación de letrinas, aguas estancadas y los consiguientes focos de enfermedades (como el dengue y parasitismo) que se producen.

Este documento está compuesto en seis capítulos, los cuales se citan a continuación.

- Anteproyecto: En este capítulo se da a conocer el problema de estudio, el por qué de la investigación, lo que se pretende alcanzar, las limitantes que se tendrán en dicha investigación, así como también, lo que se pretende alcanzar con el desarrollo de la misma.

- Generalidades: Contiene el marco histórico; es decir todo lo relacionado a los antecedentes y descripción de acontecimientos de inundaciones en el área de estudio, además contiene el marco normativo, es decir todo sobre los aspectos legales para el cuidado y conservación de la zona.
- Marco Teórico: Contiene las bases fundamentales y aspectos relevantes sobre los cuales se basa la investigación, tales como El ciclo hidrológico, cuencas hidrográficas, estudio hidrológico y análisis hidráulico.
- Evaluación del área de estudio: Este capítulo contiene información específica de la cuenca de interés, es decir todos los aspectos teóricos detallados en el capítulo anterior son aplicados para evaluar los diferentes puntos de interés para la zona de estudio.
- Propuesta: De acuerdo a toda la información de campo y de gabinete que se ha estructurado, también de acuerdo a los resultados obtenidos del estudio hidrológico, se hace la mejor propuesta, la cual debe ser viable tanto física como económicamente y lo más importante que cumpla con los requerimientos de seguridad.
- Conclusiones y recomendaciones: Se dieron las conclusiones de los resultados obtenidos y las recomendaciones para el mejoramiento de las comunidades vulnerables a inundación.

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

<sup>1</sup>En el país los eventos naturales que provocan desastres son frecuentes, causando graves efectos en áreas pobladas, como resultado de una falta de planificación a todo nivel para la prevención de dichos desastres y la mitigación de sus efectos. Las amenazas más frecuentes en el país son: amenaza sísmica, amenaza por inundación, amenaza por deslizamientos, amenaza volcánica y amenaza por sequías. La comunidad El Borbollón, debido a su ubicación geográfica (al sur del volcán Chaparrastique y al norte de la laguna El Jocotal) comparte en mayor grado las grandes amenazas del país.

Las inundaciones afectan al país debido a las fuertes precipitaciones, desbordamientos de ríos, lagos y lagunas, ya que los primeros arrastran gran cantidad de partículas sólidas depositándose en lugares críticos, obstruyendo la circulación libre del agua, ocasionando grandes estragos.

La laguna El Jocotal presenta variaciones en el nivel de su espejo de agua que provoca el desbordamiento de la misma debido a fenómenos meteorológicos y fuertes precipitaciones como las que provocó el huracán Fifi en 1974, y la tormenta tropical Mitch en 1998, produciendo la saturación de los suelos, etc. Otros factores que influyen son la Morfología de la zona que presenta relieves planos, las altas recargas hídricas que provienen principalmente del volcán Chaparrastique en forma superficial y subsuperficial y la influencia del río Grande de San Miguel que en la época lluviosa, cuando crece provoca el desbordamiento de su cauce, todo lo anterior incide en el incremento de agua de la laguna El Jocotal lo cual conlleva a que cuando se da una inundación, la comunidad del cantón El Borbollón enfrenta problemas de diferentes índoles, tales como:

- 1- Las emanaciones húmedas provocan el brote de diferentes tipos de enfermedades debido a la reacción del cuerpo humano según el estado de salud de cada

---

<sup>1</sup> Programa de saneamiento ambiental integral para la comunidad El Borbollón y laguna El Jocotal.

persona, entre las cuales tenemos: enfermedades respiratorias tales como neumonía (principalmente en los niños) bronquitis, entre otras; enfermedades de la piel tales como: hongos y erupciones corporales; enfermedades gastrointestinales tales como: gastroenteritis agudas, parasitismo, etc.

- 2- El problema de los desechos sólidos en el momento de la inundación como excretas, basura, etc., lo cual podría ser previsible; este fenómeno sucede en la mayor parte de la comunidad, puesto que cierto sector conocido como caserío el borbollón cuenta con un sistema de compostaje con el apoyo de la Asociación para la autodeterminación de las mujeres salvadoreñas (A.M.S); cabe mencionar que esta comunidad cuenta aproximadamente con 210 familias con este servicio y el total de familias que registra la unidad de salud de el tránsito en toda la comunidad es de 548 familias; por lo tanto ni siquiera la mitad de la población cuenta con este servicio.
- 3- El deterioro de los alimentos tales como maíz, frijoles, entre otros debido a los altos niveles de humedad.

<sup>2</sup>La laguna es básicamente de depresión, formada por las aguas subterráneas del manto de lava del volcán Chaparrastique en el área norte, donde existen sitios específicos donde alcanza su mayor profundidad. Por otra parte, la Laguna se encuentra en la Planicie de inundación del Río Grande de San Miguel, el cual inunda durante las temporadas de máxima precipitación, debido a ello la Laguna presenta sedimentos de origen volcánico y aluvial. En relación a su morfometría se tienen pocos datos. Se sabe que su profundidad media oscila entre los 1 .5 y 3 metros entre los periodos de sequía y máxima precipitación respectivamente. Su desarrollo de perímetro es simple y de forma casi circular, especialmente en la estación seca. Mientras que en la estación lluviosa se une a la planicie de inundación del río Grande de San Miguel. La laguna cuenta con dos drenajes uno natural y otro artificial, este último abierto por los ganaderos de la zona.

---

<sup>2</sup> Convención RAMSAR Ficha técnica Laguna El Jocotal, El Salvador.

**Figura N° 1.1:** Vía de acceso principal a la Laguna el Jocotal.



## JUSTIFICACION

Las comunidades aledañas a la laguna El Jocotal se vuelven seriamente vulnerables cuando el volumen del agua sube considerablemente a raíz de fuertes precipitaciones que ocurren con normalidad en nuestro país por ser una región con un clima tropical; esto no solo afecta la permanencia de las personas en sus hogares, sino también muchas veces acabando con los pocos bienes materiales que les sirve para subsistir entre los que se puede mencionar los cultivos, lo cual genera la mayor fuente de ingreso para dicha población, a parte de la pesca; así también podemos mencionar la pérdida de algunos animales domésticos tales como ganado, cerdos, entre otros.

En la época lluviosa muchas personas se ven seriamente afectadas por las inundaciones que se generan año con año en la comunidad El Borbollón y lugares aledaños, pero más que todo cuando ocurren fenómenos tropicales como el Fifi en 1974, Mitch en 1998, el huracán Stan en el 2005, estas comunidades sufren consecuencias aún mayores por los estragos que estos generan.

<sup>3</sup>El desbordamiento de la laguna, daña significativamente las viviendas de algunos pobladores, principalmente las que son construidas de adobe y de bahareque, las cuales en la mayoría de los casos deben ser reparadas anualmente; a todo esto hay que agregar el brote de enfermedades, principalmente gastrointestinales y de la piel, estas en la mayoría de los casos afectan a la población infantil de dicha comunidad.

Es muy difícil la situación que vive la mayoría de habitantes de esta comunidad en épocas de invierno, ya que año con año se ven obligados a trasladar sus bienes materiales a una vivienda provisional. Dichas viviendas han sido construidas con sus

---

<sup>3</sup> Felicita Chávez, Promotora de Salud de La Comunidad El Borbollón

propios esfuerzos en la denominada loma de Magaña, la cual es una propiedad privada, esta se encuentra a pocos metros al costado oriente de la laguna.

Una amplia combinación de factores es la que determina el grado de vulnerabilidad, entre los cuales se pueden mencionar las condiciones físicas que presentan los asentamientos humanos, la infraestructura misma, así como también la conciencia existente sobre estos peligros, las habilidades organizativas en todos los campos relacionados con la gestión de los desastres, las políticas de estado y la administración pública, además la pobreza se considera otro factor que da origen a estas condiciones de vulnerabilidad.

Los que se buscan beneficiar con este estudio son todos los habitantes del cantón El Borbollón, la cual es una población bastante considerable demográficamente hablando; por lo que consideramos que este tema es de suma importancia, ya que puede ser la solución más factible al problema de inundación para dicha comunidad, ya que también incluiremos la propuesta de obras de mitigación para la reducción de la vulnerabilidad en la zona.

Muchas de las personas del cantón El Borbollón, más que todo los líderes de dicha comunidad han manifestado su apoyo y su entusiasmo en la realización de esta investigación, ya que para ellos es de mucho beneficio contar con un documento que respalde las peticiones de obras de mitigación, las cuales posteriormente serán solicitadas a instituciones competentes, tal como se observa en la siguiente fotografía, el panorama no es nada alentador en la época de invierno para sus habitantes y urgen de una solución que pueda minimizar estos efectos.

**Figura N° 1.2:** Nivel de agua alcanzado en una de las viviendas del cantón El Borbollón.





## OBJETIVOS.

### Objetivo General:

- Elaborar una alternativa técnica de planificación, que permita abordar el problema de inundación, para reducir el grado de vulnerabilidad en la comunidad El Borbollón.

### Objetivos Específicos:

- Determinar en que medida la escorrentía superficial proveniente de la falda sur del volcán Chaparrastique genera inundación a la comunidad El Borbollón.
- Elaborar un mapa de riesgo por inundación que represente los niveles máximos que puede llegar a alcanzar la Laguna El Jocotal.
- Analizar las causas generadas por las escorrentías superficiales producto del desbordamiento ocasional del río grande de San Miguel.
- Realizar un estudio hidrológico, para obtener parámetros que ayuden a definir la propuesta de obras de protección para mitigar en cierta medida el problema de inundación en el cantón El Borbollón.

## **DELIMITACIONES.**

### **ALCANCES**

Para determinar el grado de vulnerabilidad de la comunidad El Borbollón, se hará una evaluación de riesgos por inundación, que nos permita optar por una propuesta técnica que sea capaz de reducir los riesgos al máximo nivel posible.

Se hará el diseño de una obra civil, para reducir el nivel de desbordamiento del Rio Grande de San Miguel, evitando con ello el desvío en su totalidad de su curso natural.

Se entregará un documento completo a los líderes de la comunidad El Borbollón, para que ellos puedan gestionar con alguna institución internacional o gubernamental la ejecución de las obras civiles que serán propuestas.

La exposición del documento final, se hará en presencia de líderes de la comunidad El Borbollón, así como también ante autoridades que velan por la protección del medio ambiente de la zona, para que ellos puedan transmitir los conocimientos y aspectos de gran importancia sobre vulnerabilidad al resto de la población y la forma en que estos pueden mitigarse, de manera que todos puedan sensibilizarse ante tal situación y estén dispuestos a colaborar en el mejoramiento y la construcción de un mejor nivel de vida.

## LIMITACIONES

En nuestra investigación, no tomaremos en cuenta las inundaciones que puedan generarse directamente por el desbordamiento del Rio Grande de San Miguel y que puedan afectar a comunidades cercanas a la comunidad El Borbollón.

El alto costo económico y técnico para elaborar un levantamiento topográfico exacto en el tramo del Rio Grande de San Miguel desde el canal artificial hasta el canal El Desague, reduciendo la alternativa de una rectificación del cauce.

En el estudio hidrológico se tomará en cuenta únicamente los eventos que producen intensidades máximas para identificar los límites máximos que alcanza el agua en las proximidades del Cantón El Borbollón.

En el interior de la zona de drenaje de la cuenca de la Laguna El Jocotal no se cuenta con información meteorológica ni mucho menos datos hidrométricos.

Los registros históricos de intensidad de precipitación máxima anual de diseño fueron obtenidos únicamente para el periodo 1961 – 1983.

## **HIPOTESIS**

“SEGÚN EL ESTUDIO HIDROLÓGICO Y LA PROPUESTA TECNICA, SERA POSIBLE SEGUIR HABITANDO LA COMUNIDAD EL BORBOLLÓN SIN PRESENTAR RIESGOS MAS ALTOS DE LOS YA EXPERIMENTADOS”.

## METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION

De acuerdo a la naturaleza e importancia de la investigación, adoptaremos un procedimiento que nos indique una secuencia lógica en cada una de las etapas del proyecto, y de esa forma satisfacer los objetivos propuestos; para ello, la metodología que se ajusta a nuestros intereses es la siguiente:

### **a) Investigación bibliográfica (Recopilación de toda información relacionada a la investigación).**

1. Visitas a entidades públicas y privadas, bibliotecas: alcaldía municipal, unidad de salud, OIKOS solidaridad, Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN), Servicio Nacional de Estudios Territoriales (SNET), Centro Nacional de Registros (CNR), Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG).
2. Recolección de material geográfico: mapas de referencia (cuadrantes, hojas altimétricas, fotografías aéreas), mapas de uso público (agrologico, agua superficial, agua subterránea, bosque natural, geológico, uso de suelos, corredor biológico mesoamericano, zonas protegidas).
3. Visitas a personas claves relacionadas con el fenómeno de inundación que causa la Laguna el Jocotal: miembros de ADESCO, promotora de salud de la comunidad El Borbollón.

**b) Investigación de campo.**

1. Reconocimiento y delimitación del área de estudio.
2. Identificación de afluentes principales de la laguna El Jocotal.
3. Recopilación de impresiones de personas afectadas en tiempos críticos.
4. Caracterizar los sectores más vulnerables, profundizando el análisis en la comunidad el Borbollón.
5. Identificación de las obras físicas que se han construido hasta la fecha para prevenir y mitigar los riesgos de inundación en la comunidad El Borbollón.
6. De una manera previa identificar los niveles máximos que alcanza el agua en la comunidad El Borbollón cuando la laguna se desborda de su estado normal.
7. Realizar las pruebas de laboratorio pertinentes en las zonas mas frágiles donde se requiera el diseño de una obra civil, o cualquier alternativa que como grupo de investigación se llegue a concluir.

**c) Análisis de oficina o de gabinete.**

1. Depuración y ordenamiento de toda la información recopilada.
2. Manipulación de datos obtenidos por medio de la investigación de campo.
3. Estudio hidrológico de la microcuenca que encierra el área de estudio.
4. Balance Hídrico de la zona de estudio.
5. Análisis de los niveles de infiltración.
6. Análisis bacteriológico del cuerpo de agua.
7. Elaboración de la propuesta técnica de la investigación.
8. Conclusiones y Recomendaciones.



# CAPITULO II “GENERALIDADES”

## 2.1 MARCO HISTORICO.

<sup>4</sup>La Laguna el Jocotal, políticamente pertenece al municipio de El Tránsito, en el Departamento de San Miguel, a unos 20 Kms. al Suroeste de la ciudad de San Miguel. Se encuentra ubicada en la región oriental de la República de El Salvador, sobre un valle interior, limitado al norte por el volcán Chaparrastique y al sur por las colinas de Jucuarán, con una altura de 23 msnm. El área de la laguna para efectos de inscripción como sitio RAMSAR, se considera de 1571 hectáreas.

La laguna se encuentra en una Zona de Bosque Húmedo Subtropical con una temperatura ambiente media anual de 26 °C, humedad relativa del 70%, brisas débiles y constantes todo el año, con velocidades de entre 9 y 5 .8 Km/h. El brillo solar promedio anual es de 8.5 horas/día, la evaporación potencial de la lámina de agua es de 2,202 .3 mm y la precipitación media anual de 1,750 mm; su tipo de humedal es: Humedal de agua dulce, lacustre.

América Latina, debido a su clima tropical, es una de las regiones que siempre ha sido afectada por las inundaciones causadas por precipitación pluvial excesiva que normalmente acompañan a las tormentas tropicales y huracanes. Sin embargo existen otros factores que no están directamente relacionados con los fenómenos meteorológicos, pero que también son determinantes. Entre estos factores podemos mencionar las obstrucciones en los causes naturales, la presencia de represas, los azolvamientos en los causes de los ríos o lagos, los cambios en el nivel del agua, los deslizamientos de tierra, la fisiografía de los terrenos y la cubierta vegetal.

Las Inundaciones dan como resultado graves daños a la población de las comunidades marginales, situación que ha sido evidente en los últimos años en donde se ha experimentado ocasiones conflictivas en la comunidad El Borbollón.

---

<sup>4</sup> Convención RAMSAR Ficha técnica Laguna El Jocotal El Salvador.



Los tipos de Precipitación que pudiesen causar inundaciones en el Área de Estudio son:

1. Huracanes y Tormentas tropicales provenientes del Mar Caribe.
2. Lluvias tropicales de alta intensidad.
3. Precipitación continúa de intensidad media.

Entre los acontecimientos más recientes que han provocado graves daños en las zonas marginales de la zona Oriental, basta mencionar las recientes Inundaciones del invierno del 29 de Octubre **1998** con el Huracán **Mitch**, 19 de Mayo de **2005** con el Huracán **Adrián**, 04 de Octubre de **2005** con el Huracán **Stan**.

### **2.1.1 DESCRIPCIÓN Y CARACTERÍSTICAS DEL DESASTRE PROVOCADO POR EL HURACÁN MITCH**

El huracán Mitch ha sido calificado como el desastre de origen hidrometeorológico más grave que haya afectado a la región centroamericana en muchísimos años. No resulta singular solamente por la fuerza que alcanzó el evento al tocar costas de la región, sino también por la extensión de su diámetro, la acumulación de humedad y lluvias que acarreo y la aparentemente errática trayectoria que mantuvo durante varios días.

Hace 11 años, en 1998, El Salvador sufrió el embate del huracán Mitch, el precedente más cercano de una tragedia natural causada por un fenómeno meteorológico. Las lluvias y los fuertes vientos le arrebataron la vida a 240 salvadoreños, la mayor parte de ellos en la zona oriental del país, resultando más afectado el municipio de San Miguel. Asimismo, 84 mil compatriotas más quedaron desamparados y 20 fueron dados por desaparecidos.

El paso del huracán Mitch dejó daños totales estimados en 388 millones de dólares, es decir, el país perdió el equivalente al 6.4 por ciento del Producto Interno Bruto nacional. Según los datos proporcionados por el Comité de Emergencia Nacional (COEN), más de 10 mil viviendas fueron destruidas por el paso de Mitch en El Salvador. Los departamentos de Ahuachapán y San Miguel y la zona del Bajo Lempa, entre Usulután y San Vicente, fueron seriamente afectados.

"En esas zonas se concentra el 60 por ciento del total de los damnificados", aseguró un informe de la CEPAL, que asimismo cifró en cerca de 48 millones de dólares la inversión para reconstruir las viviendas dañadas. Además, 22 unidades de salud fueron destruidas y 405 escuelas resultaron afectadas. Asimismo, la Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados reportó severos daños en los sistemas de distribución de agua potable de 16 municipios.

Las comunicaciones terrestres con el oriente del país, vitales en ese momento debido a los severos daños que sufrió la población migüeña, se vio interrumpida

Uno de los sectores más afectados fue la agricultura. El Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) estimó que 100 mil hectáreas de sembrados, la décima parte de los cultivos del país, se perdieron debido a la catástrofe y que murieron 10 mil cabezas de ganado. Una quinta de la cosecha de maíz y de caña de azúcar fue destruida, lo que significó la ruina de muchos agricultores y campesinos.

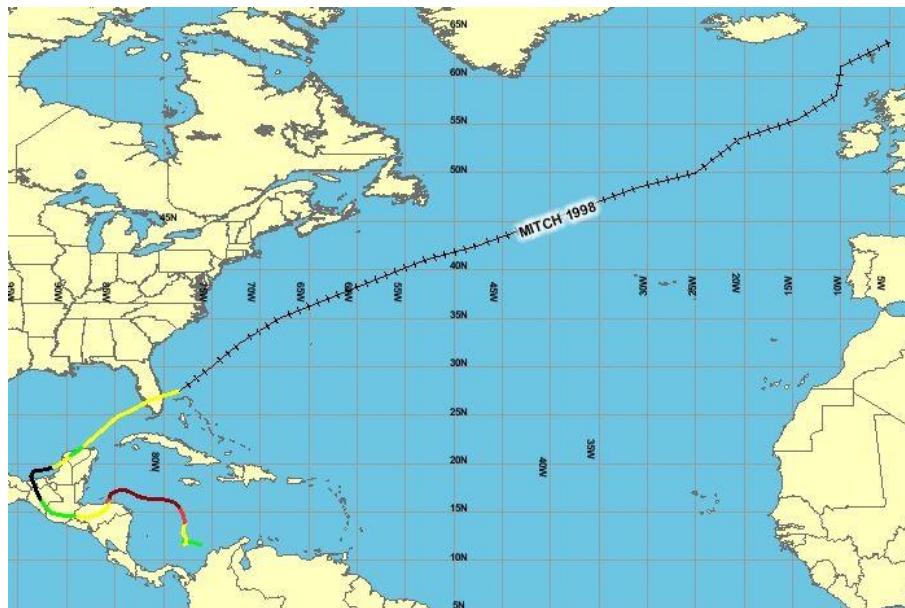
En el siguiente cuadro se presenta los Huracanes con sus respectivas Precipitaciones y estación Meteorológica.

**Tabla N° 2.1.1.1:** Registro histórico de Huracanes en el área de estudio.  
**Fuente:** Servicio Nacional de Estudios Territoriales (SNET).

Fecha	Huracán	Precipitación	Estación
04/Sep/1969	Francelia	167.60 mm	[M6] Beneficio el Papalón
20/Sep/1974	Fifí	232.1 mm	[U6] Santiago de María
16/Sep/1988	Gilberto	221.6 mm	[M6] Beneficio el Papalón
29/Jul/1996	Cesar	125.6 mm	[M6] Beneficio el Papalón
01/Nov/1998	Mitch	167.4 mm	[Z2] San Fco. Gotera
20/May/2005	Adrián	144.0 mm	[M16] Chapelrique
04/Oct/2005	Stan	103.0 mm	[M16] Chapelrique

La tormenta tropical Mitch iniciada 22 de octubre en el Atlántico Colombiano, se transformó en huracán dos días después y alcanzó su máxima intensidad los días 26 y 27 de octubre al estacionarse en el Caribe Hondureño con vientos entre 280 y 300 Km/h, con un desplazamiento relativamente lento del sistema (11Km/h), que fue desatando intensas lluvias en la zona norte de Nicaragua y Honduras. El 26 de octubre se decreto en el Salvador la alerta nacional ante la inminencia del meteoro y se informo a cada una de las instituciones que integran el sistema nacional de emergencia.

**Figura N<sup>o</sup> 2.1.1.1:** Trayectoria del Huracán Mitch (1998).  
**Fuente:** Servicio Nacional de Estudios Territoriales (SNET).



<sup>5</sup>Durante la época de invierno del año (2007), aproximadamente 14 familias de los alrededores de la Laguna El Jocotal tuvieron que ser evacuadas por el inminente peligro a causa de fuertes precipitaciones en el país, lo que provocó un aumento severo en el volumen de agua, lo cual generó finalmente considerables inundaciones, las cuales año con año ponen en peligro la permanencia de sus habitantes, considerando además que esto muchas veces provoca el brote de epidemias que afectan seriamente la salud de cada uno de ellos; así mismo el efecto económico que da origen a esta situación problemática, se refleja en la pérdida de granos básicos como lo son maíz, frijoles y algunas hortalizas que fueron dañados en un 65%, según estimaciones de la comunidad, por lo que los agricultores no pudieron obtener las cosechas esperadas producto de su trabajo durante algunos meses; así mismo esta situación repercute en gran medida en el ámbito social, ya que esta es una zona turística por la belleza natural, sin embargo este hecho se entorpece a consecuencia del mal estado en el que se encuentra la zona cuando

---

<sup>5</sup> El Diario de hoy.

ocurren inundaciones a mediana y gran escala en la época de invierno; así también cabe mencionar que las actividades escolares son interrumpidas ya que a veces es muy difícil y peligroso que los niños puedan transitar por las zonas de alto riesgo para trasladarse a su centro escolar respectivo, conociendo además que esta situación entorpece el desarrollo de ciertas actividades que se realizan en la zona, tales como la pesca, la agricultura y la ganadería, entre otras.

Esta situación en cierta medida es muy común en los alrededores de la Laguna El Jocotal, puesto que el peligro de inundación es evidente cada año, pero cuando ocurren eventos trascendentales como el Fifi (1974) y el Mitch (1998), las comunidades se vuelven más vulnerables a tal punto de haberse considerado pérdidas humanas, según información obtenida de sus habitantes, esto sin tomar en cuenta las muertes causadas por enfermedades producto de la contaminación por vectores epidemiológicos, ya que en la mayoría de los casos las inundaciones generan focos de insalubridad en las zonas más cercanas.

<sup>6</sup>Las inundaciones pueden generar beneficios, cuando los ríos en creciente alcanzan los pantanos, estanques y lagunas, llevándoles agua con bastante oxígeno y nutrientes, esto ayuda a que la multiplicación de los peces sea más efectiva. Pero a pesar de todas estas ventajas, no podemos dejar sin importancia las grandes amenazas que la acompañan, ya que en nuestro país debido a la situación económica, política y social, existen muchos asentamientos ubicados sobre las zonas de inundación, los cuales son catalogados como “comunidades vulnerables a la inundación”.

La inundación afecta grupos humanos, causando muerte y desolación a los pobladores, especialmente niños, gente minusválida y ancianos, es desastrosa cuando la

---

<sup>6</sup> Informe GEO EL SALVADOR 2003-2007.

creciente también destruye viviendas, arrastra cultivos y ahoga animales, daña enseres y acaba con el empleo y las tareas productivas de los grupos humanos.

En septiembre de 2008, la crecida en el nivel de la laguna El Jocotal en San Miguel, provocó pequeñas inundaciones en los patios de las viviendas de al menos 35 familias que habitan en el cantón el Borbollón. Las lluvias aumentaron este cauce en metro y medio. El agua se salió en cerca de 120 metros de longitud.

### **2.1.2 AMENAZA DEBIDO A LA FORMACIÓN GEOLÓGICA.**

<sup>7</sup>El Salvador, a lo largo de toda su historia geológica, se ha caracterizado por una gran actividad volcánica y sísmica, debido a que forma parte del Cinturón de Fuego del Pacífico. Dicha actividad volcánica y sísmica está relacionada con el movimiento de placas tectónicas, que en el caso de América central, reciben los nombres de placa de Cocos, placa del Caribe y placa de Norte América, que se mueven durante un año de 2 a 9 centímetros. La placa de Cocos se introduce por debajo de la placa del Caribe (fenómeno de subducción), la cual está constituida por el territorio de América Central.

---

<sup>7</sup>Informe GEO EL SALVADOR 2002.

<sup>8</sup>Tabla N° 2.1.2.1: Conceptos de vulnerabilidad ambiental.

Concepto	Definiciones
<b>Vulnerabilidad ambiental</b>	<p>a) La vulnerabilidad es la condición en virtud de la cual una población está o queda expuesta o en peligro de resultar afectada por un fenómeno de origen humano o natural, denominado amenaza.</p> <p>b) Se define la vulnerabilidad como un factor interno, el cual contiene las condiciones que posee una región para enfrentar la amenaza. Pueden considerarse diversos tipos; usualmente se citan, la estructural, la social, la económica, la de organización, la cultural, la biológica, la sanitaria y la ambiental.</p> <p>c) Vulnerabilidad ambiental es un concepto que se relaciona con la susceptibilidad o predisposición intrínseca del medio y los recursos naturales a sufrir un daño o una pérdida. Estos elementos pueden ser físicos o biológicos.</p> <p>d) La comprensión de la vulnerabilidad ambiental de una determinada región implica comprender con precisión la susceptibilidad o resistencia de dicha área respecto a desastres naturales. La capacidad de resistencia o amortiguamiento de una región está en proporción directa con el conjunto de servicios ambientales que posee (bosques, cuencas bien conservadas, etc.).</p>
<b>Amenazas</b>	<p>a) La amenaza provocada por un fenómeno natural es un factor externo. Se vincula a la probabilidad de que ocurra un fenómeno natural potencialmente dañino dentro de un área y un periodo de tiempo dado. Son las fuentes de peligro asociadas a un fenómeno que pueda manifestarse, produciendo efectos adversos sobre la salud humana, sus bienes y el medio ambiente.</p> <p>b) Los tipos de amenazas más comunes son los terremotos, las erupciones volcánicas, las tormentas o huracanes, las inundaciones repentinas, la inestabilidad de los suelos, los deslizamientos, y los incendios.</p>
<b>Riesgo ambiental</b>	<p>a) El riesgo que tiene una región de ser afectada por un desastre se define como el resultado de calcular la acción potencial de una amenaza determinada con las condiciones de vulnerabilidad que esta región presenta. Es decir, el riesgo de una región estará determinado por la magnitud de la amenaza que lo afecte y su vulnerabilidad ante esa amenaza.</p>

Desde el punto de vista hidrológico, la presencia de un volcán es muy importante, ya que por la misma naturaleza de los materiales geológicos que lo

<sup>8</sup> Tomado del resumen ejecutivo **Cooperación Regional para Reducir la Vulnerabilidad Ambiental y Promover el Desarrollo en Centroamérica**, CCAD/SICA-DGMA con la colaboración de PNUD/PNUMA/CEPAL y el Banco Mundial Stockholm, Mayo de 1999.

constituyen, puede dar lugar a la formación de zonas de recarga hídrica, en las cuales las aguas pluviales se infiltran a profundidades indeterminadas, las que al desplazarse en una cierta dirección, pueden ser aprovechadas mediante la perforación de pozos o captadas en aquellos sitios donde emergen a la superficie, es decir en las zonas de descarga.

Desde hace varias décadas, el volcán de San Miguel, se ha mantenido en actividad, expulsando cantidades variables de vapor de agua, en ciertas ocasiones, cantidades moderadas de ceniza y escorias volcánicas. Si bien no significan problemas vinculados con erupciones, no se puede afirmar lo mismo cuando se trata de movimientos grandes de volúmenes de escoria y otros materiales piroclásticos, que en más de una oportunidad han provocado daños materiales en ciertas poblaciones.

La fragilidad ambiental de la lava y la extracción continua de piedras por parte de la comunidad (actividad económica de los pobladores), incrementa el grado de erosión del suelo, ocasionando el transporte de materiales hasta la orilla del costado norte de la laguna, contribuyendo al asolvamiento de la misma, como se muestra en la figura 2.1.3. Una investigación reciente para la Organización Norteamericana Patos Sin Fronteras, encontró que las corrientes de arena que bajan desde el volcán Chaparrastique favorece la proliferación de plantas como el carrizo y el Jacinto de agua que han modificado el ecosistema original de la laguna.



**Figura N° 2.1.2.1:** Depósitos de lavas recientes en el costado sur del Volcán Chaparrastique.



Hoy en día ante la constante aparición de nuevas Zonas marginales, surgen problemas mucho mas graves que tendrán a generalizarse con las consecuentes perdidas económicas y de bienes. A pesar de reconocer la existencia del problema muy poco se ha hecho al respecto. Hasta la fecha han existido varios estudios en relación al problema de inundación en nuestra área de estudio, entre los cuales podemos mencionar los siguientes:

- ◆ El Gobierno de La República de El Salvador ha propuesto un “Plan de Desarrollo Económico y Social, 1994 - 1999” en 1996. Este Plan incluye el desarrollo de las áreas propensas a Inundaciones, por medio de un proyecto de control de crecidas y drenaje, basándose en las siguientes políticas de desarrollo nacional:

- a) Reducción de la pobreza, especialmente de la pobreza extrema.
- b) Fortalecimiento del desarrollo de las áreas Rurales.

c) Conservación de los recursos naturales y el desarrollo de la economía sostenible.

Por lo tanto, el control de Inundaciones debe considerar los Recursos Hídricos de manera urgente e imprescindible para el desarrollo y la estabilización de la región.

- ◆ Vivienda sobre plataforma, una solución al problema de inundación de la laguna El Jocotal, Cantón El Borbollón:  
Trabajo de investigación de la Universidad de El Salvador  
San Salvador, Octubre de 1998.

En esta investigación se hace el diseño de una plataforma, sobre la cual se pretende sean construidas las viviendas propensas a inundación de la zona, pero cuyo costo es bastante elevado en comparación a la situación económica de los pobladores de dicho lugar, es una plataforma construida de concreto reforzado, cuyo costo en la mayoría de los casos sobre pasa el valor promedio de las viviendas, por lo que gran parte de personas afectadas no podrían tener el acceso económico para la solución que ha sido planteada por los investigadores.

- ◆ Programa de saneamiento ambiental integral para la comunidad El Borbollón y la laguna El Jocotal  
Autores: Willian E. Marroquín  
Arturo Escalante  
Lidia Salamanca  
Editorial: UCA, editores  
San Salvador, El Salvador, noviembre de 2001.

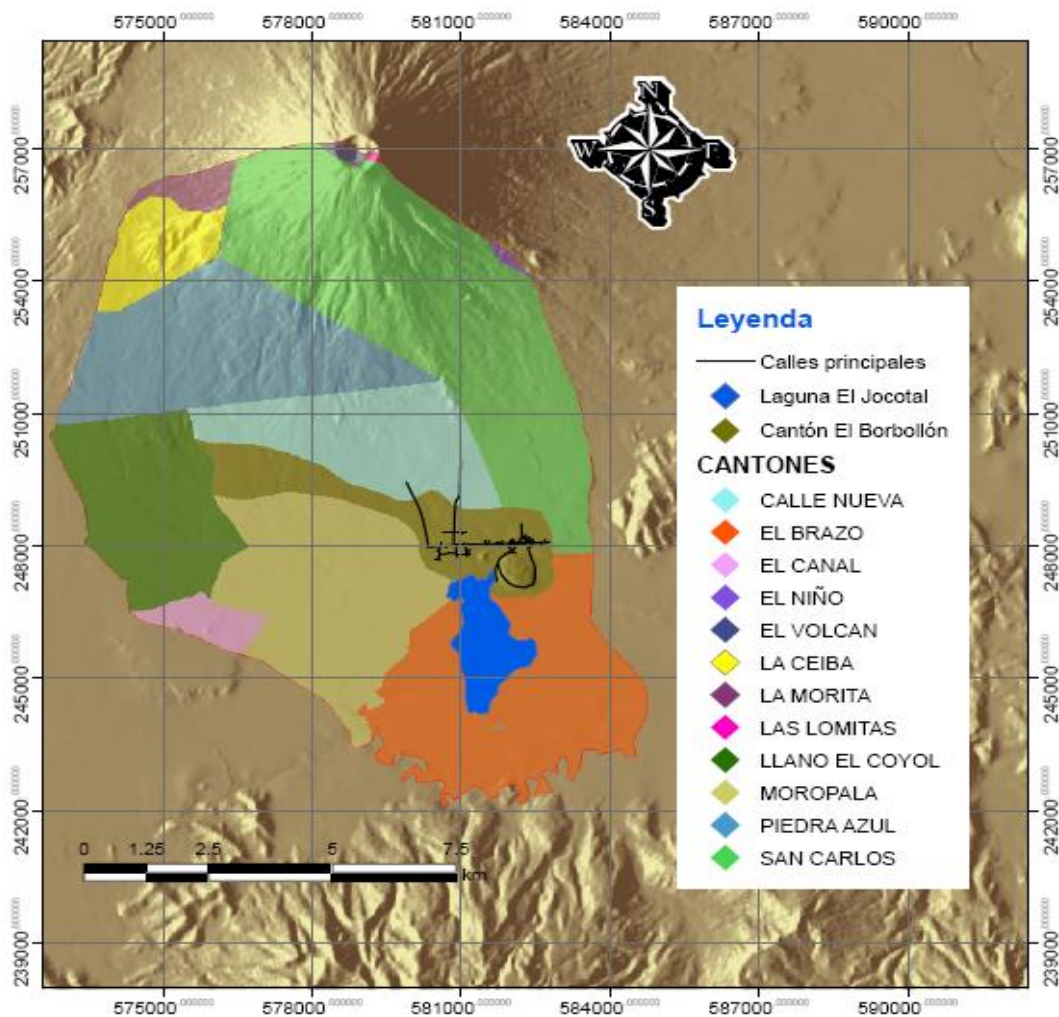
Si bien es cierto esta investigación hace referencia a una alternativa de ordenamiento territorial, a nuestro juicio creemos que se encuentra bien superficial y que

debe ser sustentada con una investigación mas profunda teniendo en cuenta todas la variables hidrológicas de la zona.

## 2.2 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.

### 2.2.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL ÁREA DE ESTUDIO.

Figura N° 2.2.1.1: Ubicación Geográfica del área de estudio.



Nuestra área de estudio está enfocada en la <sup>9</sup>Laguna El Jocotal y comunidad El Borbollón, la cual es jurisdicción del municipio de El Transito, en el departamento de San Miguel, a unos 20 kilómetros al Sur-Oeste de la ciudad de San Miguel, ubicada en la región oriental de la república de El Salvador, geográficamente está localizada a 13° 15' latitud norte y 88° 16' longitud oeste. Se encuentra limitada al norte por el Volcán Chaparrastique y al sur por las colinas del cerro de Jucuarán. <sup>10</sup>Está comprendida dentro de la zona de vida como bosque Húmedo Subtropical Caliente, con temperatura media anual de 26°C, humedad relativa media de 70%, luz solar promedio anual de 8.5 horas/día; “brisa muy débil”, durante todo el año, con velocidad máxima de 9 km/hr y mínima de 5.8 km/hr, evaporación potencial de la lamina de agua es de 2202.3 mm (evaporación durante la lluvia mas la evaporación permanente de la laguna) y precipitación media anual de 1750 mm.

### 2.2.2 CARACTERÍSTICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO.

#### **Superficie:**

<sup>11</sup>El área de la Laguna durante la estación seca es de aproximadamente 900 hectáreas, según mediciones del Instituto Geográfico Nacional en 1993, mientras que se ha estimado que puede alcanzar hasta 1800 hectáreas durante la estación lluviosa, según estimaciones del Servicios de Parques Nacionales y Vida Silvestre de El Salvador. Para efectos de inscripción como sitio RAMSAR, se consideran 1571 has, amparado según decreto ejecutivo N° 689 del 3 de junio de 1996.

---

<sup>9</sup> MAG PANA VIS Laguna El Jocotal, El Salvador, Pág. 10

<sup>10</sup> Diario Oficial San Salvador, Junio 29 de 1988 Tomo 340.

<sup>11</sup> Convención RAMSAR Ficha técnica Laguna El Jocotal El Salvador.

**Tipo de Humedal:**

Humedal de agua dulce, lacustre.

**Altitud:**

La Laguna se encuentra a 23 metros sobre el nivel del mar.

**DESCRIPCIÓN GENERAL.**

Es una Laguna cuyo origen se debe a los afloramientos de aguas del subsuelo del manto de lava del volcán Chaparrastique, en una depresión ubicada entre éste y las Colinas de Jucuarán. La Laguna es somera e inundada durante épocas de crecidas por el Río Grande de San Miguel.

<sup>12</sup>La laguna El Jocotal fue designado como sitio RAMSAR en 1996 y constituye un sitio representativo de humedales en el país. En este lugar ocurren procesos y fenómenos ecológicos, principalmente para la conservación de las aves locales y migratorias. Hasta el momento se han registrado al menos 73 especies de aves migratorias, entre acuáticas y terrestres. La gran variedad de vegetación provee de alimento a una amplia variedad de aves. Además, los “playones” de lodo que se descubren en las zonas de Puerto Viejo y las lagunas del sur, proveen de sitios de descanso y alimentación para muchas especies de aves, por ejemplo, playeros, chorlitos, gaviotas, golondrinas de mar, rayadores, patos, entre otras. El Jocotal posee la vegetación acuática más rica del país, sobresaliendo la flor barbona (*Ceratophyllum demersum*), el platillo (*Nimphaea ampla*), el carrizo (*Phragmites communis*) y el lirio de agua (*Eichornia crassipes*), esta última es la vegetación flotante dominante de la laguna. Su profundidad oscila entre 1.5 y 3 m en general, aunque existe una zona al noroeste donde es mucho mayor, conocida como La Poza Azul (15 m). La laguna está rodeada de bosques inundables en su parte sur, en el sector de Casamota-La Pezota hay árboles de conacaste negro y carretos.

---

<sup>12</sup> UICN ORMA Guía del sendero interpretativo acuático de la Laguna El Jocotal.

Entre las aves acuáticas más atractivas que habitan en El Jocotal se encuentran el pichiche aliblanco (*Dendrocygna autumnalis*) que es la especie acuática mas abundante, la espátula rosada (*Ajaia ajaja*), el ibis de cara oscura (*Plegadis falcinellus*), las golondrinas de mar (*Sterna caspia*), el pato canelo (*Anas cyanoptera*), el pato golondrino (*Anas acuta*), el pato calvo (*Anas americana*), la gran garza azul (*Ardea herodias*) y el pelícano blanco (*Pelecanus erythrorhynchus*). Algunas especies en peligro de extinción que también se reproducen en la laguna y sus alrededores son el pato real (*Cairina moschata*), la garcita de tular (*Ixobrychus exilis*) y la gallineta azul (*Porphyrola martinica*).

### **CARACTERÍSTICAS FÍSICAS.**

<sup>13</sup>La laguna es básicamente de depresión, formada por las aguas subterráneas del manto de lava del volcán Chaparrastique en el área norte, donde existen sitios específicos donde alcanza su mayor profundidad. Por otra parte, la Laguna se encuentra en la Planicie de inundación del Río Grande de San Miguel, el cual inunda durante las temporadas de máxima precipitación, debido a ello la Laguna presenta sedimentos de origen volcánico y aluvial.

En relación a su morfometría se tienen pocos datos. Se sabe que su profundidad media oscila entre los 1 .5 y 3 metros entre los periodos de sequía y máxima precipitación respectivamente. Su desarrollo de perímetro es simple y de forma casi circular, especialmente en la estación seca. Mientras que en la estación lluviosa se une a la planicie de inundación del río Grande de San Miguel. La laguna cuenta con dos drenajes uno natural y otro artificial, este último abierto por los ganaderos de la zona; ambos drenan hacia el Río Grande de San Miguel.

---

<sup>13</sup> Convención RAMSAR Ficha técnica Laguna El Jocotal El Salvador.

**Régimen de Propiedad.**

a) **Del Sitio:** Los cuerpos de aguas continentales son de propiedad estatal, según define la Constitución de El Salvador. Las tierras inmediatas a la Laguna son en su mayoría de propiedad privada, excepto una pequeña franja en el área norte que es ocupada por las comunidades de El Borbollón y la Curruncha que ocupan la superficie de las coladas de lava del volcán Chaparrastique o de San Miguel. Dado que estas tierras son de propiedad municipal, la mayoría de estos pobladores de las orillas carecen de documentación que demuestre la propiedad.

b) **Del Área Circundante:** En la mayoría las tierras del área circundante de la Laguna son privadas, como latifundios dedicados a la ganadería y a la agricultura, y otra parte estatal (sector reformado).

**2.3 MEDIDAS DE CONSERVACIÓN.****2.3.1 MEDIDAS DE CONSERVACIÓN ADOPTADAS.**

<sup>14</sup>Desde 1976, El Servicio de Parques Nacionales y Vida Silvestre reconoció la importancia de la Laguna por la fauna y flora asociada, así como su importancia para las comunidades que habitan en la zona. El Servicio comenzó actividades de conservación con la contratación de guardaparques seleccionados de la comunidad local. El número de guardaparques ha variado alcanzando a diez, en la actualidad se cuenta con un jefe de área un, administrativo y ocho guardaparques (4 pagados por el estado y 6 por ONG).

<sup>15</sup>Entre las actividades prioritarias preliminares se estableció un sistema de vigilancia forestal y de vida silvestre para evitar la cacería y la tala de árboles de los alrededores. Por otra parte, se han realizado manejo de vida silvestre a través de la instalación de cajas de anidación para pishishes *Dendocygna autumnalis*. El programa

<sup>14</sup> Raúl Herrera: A.M.S, El Borbollón.

<sup>15</sup> Oficina del Medio Ambiente y Recursos Naturales de la comunidad El Borbollón.

cuenta con un promedio de 150 cajas en producción y han usado 454 cajas, en total, desde su comienzo. Producto de esta investigación se ha incrementado la población de 500 a 15,000 pishishes y hasta 1992, se calcula que se habían comercializado y consumido aproximadamente 48.000 huevos, por la población local. Por otra parte, se están realizando programas opcionales en la zona seleccionada para el establecimiento de letrinas, así como estufas ahorradoras de leña de alto rendimiento, como otros tipos de infraestructura necesarias para el área, que de acuerdo a su categoría de manejo son aceptables.

La Secretaría Ejecutiva del Medio Ambiente, con apoyo de la comunidad local, la Asociación Amigos del Árbol y el Comité Sindical Pro-derechos Humanos y Medio Ambiente realizaron en 1992, un proyecto de construcción de diques para el control de los niveles de aguas de la Laguna, con el objetivo de evitar el drenaje excesivo producto de la apertura de un canal artificial por parte de los ganaderos de la zona, y que por medio de la comunidad, ONG's y gobierno se le da mantenimiento.

En 1995, se delimitó la Laguna como iniciativa del Servicio de Parques Nacionales y Vida Silvestre, la Secretaria Ejecutiva del Medio Ambiente contando con el apoyo de UICN y del Instituto Geográfico Nacional, logrando con ello que a partir de 3 de Junio de 1996, la Laguna se establece como Área Protegida por Decreto Ejecutivo N°. 689.

### **2.3.2 MEDIDAS DE CONSERVACIÓN PROPUESTAS, PERO AÚN NO IMPLEMENTADAS.**

Se pretende establecer cultivos de árboles en zonas adyacentes a la laguna, en especial en áreas de potreros donde se encuentra totalmente deforestada la región. Esto podría aumentar el hábitat de anidación de los patos silvestres e incluso servir como sustrato para nuevas cajas en el futuro.



También se pretende adquirir áreas a favor del estado para que éstas formen parte del ecosistema natural, así también incorporar las áreas privadas para el manejo de los recursos, mediante planes operativos.

## **2.4 USOS ACTUALES Y/O PRINCIPALES ACTIVIDADES HUMANAS.**

### **Del Sitio**

Las principales actividades humanas son la pesca artesanal de alrededor de 173 pescadores, censados durante 1990, quienes pescan con cordel, trasmallos, arpón y principalmente atarrayas. En las áreas de las riberas de la Laguna se realizan la mayoría de las actividades del hogar, se toma el agua, se descargan las aguas residuales, se lava ropa y mucha de la población adyacente a la Laguna se baña ahí. Por otra parte, se aprovechan algunos recursos de la Laguna como los tallos de carrizo para construcción, uso de

*Typha sp.*, para la elaboración de utensilios y artesanías. Es frecuente el uso de plantas acuáticas flotantes para el mantenimiento del ganado en la temporada de sequía.

### **2.4.1 CONDICIONES SOCIOECONÓMICAS.**

#### **Población**

Dentro del área de estudio se encuentra el caserío El Borbollón del municipio El Tránsito departamento de San Miguel. Aproximadamente residen 548 familias, entre 3000 y 3500 habitantes. La población local vive de la pesca; otros recursos naturales de la laguna son aprovechados, por ejemplo las plantas de donde se elaboran tapexcos para uso del hogar. Las especies de avifauna son las más características, pues están en el cuerpo de agua más importante de El Salvador en la ruta de las aves migratorias.

El pichiche, como es conocido, es la especie de pato más abundante y utilizado para la alimentación.

**Educación**

En la zona solo existe la Escuela Rural Mixta Caserío El Borbollón que atiende de parvularia a noveno grado por el día. Hasta 1999 existió una sección nocturna que atendía de primero a sexto grado para alfabetización de adultos.

**Salud**

Cuenta con una unidad de salud donde solo hay una promotora de salud que atiende las necesidades de la población, pues no hay médicos ni paramédicos, y cuando hay una emergencia, se traslada el paciente para Usulután o San Miguel.

**Vivienda**

Las casas de las comunidades están construidas de sistema mixto con un 60% Y un 40% de bajareque. Un 30% de las casas cuenta con pozos y bombas de mecate para extraer el agua, y un 90% poseen letrinas de fosa que en época de lluvia tienden a inundarse y las excretas salen contaminando las aguas y el medio ambiente.

**Actividades Económicas**

La pesca artesanal es la actividad principal, hay 173 pescadores que lo hacen con cordel, trasmallos, arpón y principalmente atarrayas, efectuando en lanchas de fibra de vidrio y de madera por turnos, y se distribuyen según sus habilidades. Hay otras actividades como la venta de pescado, unas 35 personas se dedican a la comercialización del producto ya sea fresco o cocido.

**Organización**

Tienen la Asociación de Desarrollo Comunal El Jocotal (A.D.C.J) que representa a la comunidad El borbollón, dirigida por la junta directiva, ésta cuenta con personería jurídica la cual es reconocida por las autoridades del municipio de El Transito.

### 2.4.2 CONDICIONES SOCIOAMBIENTALES.

La laguna el Jocotal, esta comprendida entre los ecosistemas naturales mas distintivos del área, afectada por condiciones socioambientales tales como: la sobre pesca, la falta de veda, el deterioro ambiental, y de la calidad del agua; acumulación de sedimentos y plantas acuáticas.

#### **Deterioro ambiental**

A la estabilidad de la laguna en su cuerpo de agua la afecta la falta de bosques, así como las actividades de desarrolladas por el hombre, y el desborde ocasionado por el río grande de San Miguel lo cual conlleva a un deterioro del hábitat de las especies de fauna y flora de la laguna.

#### **Fauna**

Esta se ha adaptado, según la estación del año a un medio acuático tranquilo, abierto plano y de muy poca profundidad cubierta de vegetación acuática baja, frecuentemente densa, que se caracteriza principalmente por la presencia de la avifauna.

**1. Las aves acuáticas residentes**, unas están adaptadas a caminar entre y sobre la vegetación flotante, otras a los espacios de agua abierta, a los terrenos pantanosos adyacentes a la laguna y a las gramíneas altos (carrizos). De las especies residentes las mas destacadas son: cuatro especies de pato nativos como el pavo real, el pato enmascarado, el pichiche ala blanca y el pichiche real; hay otras especies de gallineta de agua constituyendo parte de la fauna mas distintiva y numerosa del lugar como la gallineta pico rojo, gallineta azul, y la gallineta pico blanco; otras especies son la mantellina, garza blanca, perra gallineta, el caracolón, el colimbo, la tortolita azul, la rálida amarilla de El Salvador, el colibrí de color dorado y el martín pescador de pecho fajeado.

**2. Las aves acuáticas migratorias,** la laguna El Jocotal es un punto de descanso de aves que vuelan miles de kilómetros desde el norte al sur o viceversa. Pequeños grupos de patos migratorios llamados comúnmente zarcetas han aparecido sorpresivamente ya que estos patos viajan principalmente de noche, otras especies que visitan la laguna son las zarcetas de ala azul, la zarceta candileja o de frente blanca, la zarceta cola de aguja, zarceta rojiza, la zarceta careta o lomo blanco, la carolina (rálida), la golondrina mareña negra, la gran garza azul, gaviotas y los pelícanos, entre otros, estos se pueden observar en la laguna en época seca. (Noviembre a marzo).

**3. Otras especies, en la laguna El Jocotal,** hay población de reptiles como: cocodrilos acutus, especie en peligro de extinción, iguana (iguana, ictenosaura, boa constrictor), además de la tortuga (kinosternum sp). En las zonas adyacentes a la laguna se presentan algunas especies de mamíferos de importancia como el venado cola blanca (odocoilus virginianus) y el coyote (canislatrans). También se encuentran los peces de importancia por su uso comercial, y fuente de alimento. Los más comunes por su abundancia son: el guapote tigre (cichlasoma managüense) y la tilapia (tilapia aurea).

## Flora

<sup>16</sup>La vida silvestre de esta laguna como la del resto del país, corresponden a la región neotropical, sub-región centroamericana, provincia pacífica. Cabrera y Willink, (1973) Bristol, S.F. y Benítez (1981), han clasificado la vegetación acuática sumergida, emergente, flotante y marginal; también esta la vegetación arbórea y el plancton.

**1. Vegetación sumergida:** En la laguna El Jocotal se han reportado tres especies de plantas que desarrollan su ciclo completo sin emerger del agua, sin embargo en años recientes loma o barbona (ceratophyllum damerson), mientras que poblaciones de colochas (hidrilla verticillata) y cadenillo (najas sp) parecen haber desaparecido.

---

<sup>16</sup> MAG PANAVIS Laguna El Jocotal, El Salvador, Pág. 12

**2. Vegetación emergente:** Son plantas que poseen un sistema radicular fijo al fondo pero con sus estructuras foliares y florales sobresaliendo del agua; la única especie representante de este sustrato es *Nymphaea ampla* (ninfa o platanillo).

**3. Vegetación flotante:** son plantas que carecen de fijación y deambulan por la laguna movidas por el viento, las mas importantes son: El Jacinto de agua (*Eichornia crassipes*) que sirve de alimento para muchos animales acuáticos y terrestres, el platanillo, la cola de pato, la lechuga de agua (*pistia estratoides*), el centavito, y el helecho flotante. Esta es la vegetación más abundante en la laguna que conlleva a ciclos o cadenas alimenticias diferentes.

**4. Vegetación marginal:** Constituidas por las plantas acuáticas que crecen a las orillas de la laguna, llamadas marginales entre ellas se encuentran: el zacate y el collolito, también el tule (*thypia angostifolia*), el carrizo además de servir para anidación y refugio de aves acuáticas, son usadas por algunos pobladores para construir las paredes de sus viviendas, así como tapexcos para secar el pescado. El casco de burro es otra planta marginal que pertenece al grupo de los helechos, no producen flores.

**5. Vegetación Arbórea terrestre:** Esta ha sido eliminada en la mayor parte de los alrededores, únicamente quedan árboles dispersos de pimiento (*phillantus elsiae*), carrito (*pitecellobium saman*), Ceiba (*caiba pentandra*), papalón (*coccoloba cara casana*) y amates (*Picus jimenezii*).

**6. Plancton:** En ciertos cuerpos de agua este presenta diferentes tonos de color verde, acua, pardo o rojizo; los responsables de esta coloración son los organismos microscópicos flotante, presentes en cualquier volumen de agua que permanecen suficiente tiempo al aire libre; de estos existe una diversidad de especies, familias

órdenes, clases, divisiones y hasta reinos, que se encuentran en densidades de miles de millones por litros de agua, en conjunto constituyen el plancton.

## **2.5 ACUMULACION DE SEDIMENTOS.**

La disminución o desaparición de la cobertura vegetal de la superficie del suelo en cuencas y laderas cercanas a los cuerpos de agua, provocan el arrastre de suelo y otros sólidos que se depositan en el fondo, causando disminución en su capacidad de retención de agua, la disminución de peces, fauna y flora, lo cual está sucediendo en la laguna El Jocotal.

## **2.6 INUNDACION Y DEFORESTACIÓN.**

La deforestación puede aumentar las inundaciones, ya que se atribuye a la cobertura vegetal el control de la escorrentía superficial. La capa delgada de tierra en áreas de terrenos elevados puede aumentar la tasa de deforestación, así como la tala de árboles hecha por la población y la pérdida de tierra agrícola asociando así la inundación con la deforestación aguas abajo. Según la morfología del país, en las altiplanicies se producen deslizamientos y erosión del suelo que llegan a generar inundación local mediante represamientos de correntadas de agua y el aumento del lodo sedimentado de los ríos, contribuyendo a que los lechos de los ríos sean menos profundos y estos causen mayor peligro de inundación.

Una estrecha conexión entre deforestación e inundación es incierta, ya que los datos hidrológicos no demuestran que una buena capa vegetal en las cuencas de los ríos, necesariamente sea un factor para el rápido escurrimiento de las aguas de lluvia, también han ocurrido inundaciones de equivalente severidad y frecuencia, durante siglos, en las cuencas de los ríos, mucho antes de los recientes aumentos de deforestación, la vulnerabilidad a las inundaciones tiene dos aspectos si se acepta que la vulnerabilidad se

deriva de sistemas sociales y económicos, el proceso de deforestación no se debe incluir como factor importante para la creciente vulnerabilidad, de esto se llega a que la vulnerabilidad no se logra reducir necesariamente disminuyendo la deforestación, aunque una política así puede ser de beneficio. Reducir la vulnerabilidad en estas áreas, no es fácil debido a la falta de políticas adecuadas en este sentido, así como la falta de logística acorde a la realidad del país, sin embargo la deforestación juega un papel importante en la permanencia de la población en la zona.

## **2.7 VULNERABILIDAD DE LA ZONA.**

La actividad humana y la existencia de recursos explotables como el pescado, llevan a la población a localizarse en áreas rurales y urbanas propensas a inundaciones y el número de personas vulnerables se aumenta a medida que la población crece y le faltan lugares alternativos de asentamiento, de modo que la vulnerabilidad por inundaciones es producto de ambientes creados por el hombre, como los asentamientos humanos del cantón El Borbollón, que hicieron sus viviendas a la orilla de la laguna El Jocotal, incluyendo el área de protección de la misma y por lo tanto año con año están siendo afectados por las inundaciones que provoca el incremento de nivel del espejo de agua de ésta. La vulnerabilidad a los fenómenos naturales está también en función de la forma de organización social, de lo físico-material, social-organización y motivacional-actitudinal.

Lo físico-material: Se vincula con las características de la tierra, clima, ambiente, salud, fuerza de trabajo, infraestructura, alimentación, vivienda, capital y tecnologías.

En lo Social-Organizacional: Esta incluye estructuras políticas formales y sistemas informales, a través de los cuales las personas logran tomar decisiones, establecer liderazgos y organizar actividades sociales y económicas.

Lo Motivacional-Actitudinal: Se refiere a la forma en que las comunidades se ven a ellas mismas y sus capacidades para tratar efectivamente el ambiente físico y socio-político (victimización fatalismo y dependencia en contraposición a propósito, poder y conciencia).

La vulnerabilidad depende de las condiciones de vida, del sistema político y del nivel organizacional, los cuales resultan ineficientes para prevenir los efectos de un fenómeno natural peligroso, entonces la amenaza de desastre natural está en función de la vulnerabilidad social y el riesgo en el ambiente.

Los desastres por inundaciones ejercen un impacto variable sobre la población de acuerdo con los patrones de vulnerabilidad generado por el sistema Socio-Económico en que vivan, sus relaciones de clase y estructuras de dominio, una amenaza de inundación puede convertirse en desastre, dependiendo de la localización de las viviendas y propensión a la inundación, tipo de vivienda y su resistencia a las inundaciones. Otras variables de desastre son, la destrucción de medios de subsistencia, de los ingresos económicos al hogar, usos social o legal de la tierra, disponibilidad o costos de los materiales de construcción y la ubicación de actividades para la subsistencia.

## **2.8 INUNDACIONES.**

Son amenazas naturales en gran parte del territorio nacional, son las inundaciones, principalmente en la cuenca baja de los ríos, zonas aledañas a los cauces, tal como la comunidad El Borbollón que se encuentre en la zona baja y planicie de inundación del río grande, también se generan inundaciones en sitios específicos del país por deficiencias de drenaje, por falta de obras hidráulicas y de excesos de basura o sedimentos en los cauces.

Algunos ríos en su recorrido remueven y arrastran gran cantidad de partículas sólidas. Si sus aguas inundan en forma lenta un valle o una planicie, estas partículas en



suspensión pierden velocidad y se depositan en el suelo, aumentando así la cantidad de nutrientes orgánicos e inorgánicos de la tierra que mejora su fertilidad.

La precipitación pluvial excesiva que normalmente acompaña a las tormentas tropicales y huracanes es la responsable de las inundaciones, otros factores que también determinan la inundación son las obstrucciones en los cauces naturales, la presencia de represas, los asolvamientos en los cauces de los ríos o lagos, los cambios en el nivel del agua, los deslizamientos de tierra, la fisiografía de los terrenos y la cubierta vegetal.

### **2.8.1 CONSECUENCIAS DE LAS INUNDACIONES**

Las inundaciones son desastres naturales extensos que llevan a la mayor pérdida de vidas, en forma inmediata a través del ahogamiento, enfermedades y hambruna; mas tarde otros pueden morir y nunca contarse como víctimas de las inundaciones.

Las enfermedades y lesiones que se pueden sufrir a consecuencia de las inundaciones son factores importantes que aumentan la vulnerabilidad; los enfermos y los lesionados por lo general no pueden trabajar y la pérdida de su mano de obra y en especial durante los intentos de recuperación después de una amenaza, puede ser un elemento de desastre. La mortalidad causada directamente por una inundación puede ser baja, pero las enfermedades y problemas de salud pueden ser peores si los medios de subsistencia de la población también son afectados.

### **2.8.2 OCURRENCIA DE LAS INUNDACIONES.**

Es difícil conocer con suficiente anticipación el día y la forma como se producirá una inundación. La lluvia intensa en periodos de temporal, produce las inundaciones que por lo general ocurren en zonas adyacentes a lagos, lagunas, esteros, riberas de los ríos,

también cuando hay desbordamiento de éstos e inundan planicies o suelos con topografía planas o con pendientes bien suaves que no poseen drenaje natural. Lo anterior conlleva a que los suelos inundados permanezcan así por varios días. Las inundaciones también dependen de la duración y frecuencia de las precipitaciones, ya que al permanecer lloviendo sobre un suelo, llega un momento en que éste ya está saturado a su capacidad máxima y el agua que le sigue cayendo la comienza a drenar para que corra libremente por su superficie, lo que es conocido como avenida de la escorrentía superficial. Esta agua drenada se va acumulando en el punto más bajo a tal grado que provoca la excedencia de un espesor de agua superficial que va en aumento en tanto siga lloviendo, provocando con esto la inundación y el desastre.

### **2.8.3 IMPACTOS DE LA INUNDACIÓN.**

Las inundaciones destruyen vidas, no solo por ahogo y daños directos, sino también debido a las enfermedades asociadas y la hambruna. Su impacto también tiene que medirse desde el punto de vista del trastorno y destrucción que causan en los medios de subsistencia y de los cambios en los perfiles de acceso a la población afectada. La pérdida de activos o capacidad de trabajo de tierras y animales y las consecuencias de las lesiones y enfermedades se puede sentir durante muchos meses e incluso años después que la inundación ha desaparecido. Cualquier muerte que ocurre después de ese espacio de tiempo, probablemente no se liga directamente a la inundación sino a sus consecuencias. Como ocurre con la hambruna y los desastres biológicos, el modelo de acceso indica como la vulnerabilidad a futuras inundaciones (u otros desastres) se puede aumentar por medio de los impactos a largo plazo de inundaciones sobre los activos del hogar, el potencial laboral y las redes sociales. Por ejemplo, después de una inundación también muchos utensilios del hogar pueden necesitar reemplazo, como las ollas de cocina y recipientes de agua. Esto también desvía tiempo y mano de obra de las actividades para el sustento y consume reservas limitadas con que cuentan las personas

afectadas. La población al no poseer ahorros de dinero pierde dos veces en una inundación, pierde los bienes, muchos de los cuales son esenciales para la vida y pierden el tiempo que deben gastar en trabajo para reemplazarlos, dificultándose más la supervivencia. Disponer de ahorros significa ser capaz de regresar más rápido a las actividades normales de subsistencia.

Las cosechas permanentes son una pérdida para los agricultores que las poseen, debido a esto los propietarios grandes no necesitan peones en los campos cuando estos están inundados. La consiguiente pérdida de empleo para ganar salario puede ser desastrosa para las familias que dependen en gran parte de esas oportunidades de salario.

La subsistencia basada en la agricultura y la pesca se deterioran gravemente, pero las aguas de la inundación traen grandes cantidades de oxígeno que estimulará el crecimiento y sobrevivencia de los peces.

#### **2.8.4 RIESGOS.**

Históricamente, el país ha sido sometido a una serie de eventos de origen natural, como terremotos, tormentas tropicales, sequías, actividad volcánica, inundaciones y deslizamientos; los cuales aunados a los procesos sociales de transformación del medio natural, como deforestación, sequía, cambios en el uso del suelo y modificación de los cauces naturales; se transforman en condiciones de riesgo y plantean altas posibilidades de ocurrencia de desastres.

La vulnerabilidad corresponde a la predisposición o susceptibilidad física, ambiental, económica, política o social que tiene una comunidad de ser afectada o de sufrir efectos adversos en caso de la ocurrencia de un fenómeno peligroso de origen natural o causado por el ser humano.

Ante la realidad de las condiciones socio ambientales que prevalecen en El Salvador, puede estimarse que los desastres causados por fenómenos naturales podrían ser cada vez mayores, debido a la alta vulnerabilidad que presenta el país.

A estos factores se añade el bajo nivel de concientización de los riesgos de parte de los diferentes sectores de la población, y la falta de información técnica precisa que permita mejorar la gestión de riesgo

Las aguas de las inundaciones provocan enfermedades como el cólera y otras enfermedades parasitarias, que provienen de las aguas negras esparcidas en el agua lluvia estancadas, o la que provoca inundación lenta, esto prolifera vectores como el mosquito, el zancudo y otras microespecies que pueden propagar enfermedades como la malaria, dengue y fiebre debido a esta agua estancadas, las cuales pueden quedar ahí por meses después de una inundación. Esto sucede en la comunidad El Borbollón, cuando la laguna El Jocotal inunda las viviendas por la influencia del desbordamiento del río Grande de San Miguel, debido al pobre drenaje de la planicie aguas debajo de la laguna. Cuando ocurren las inundaciones, los pobladores están propensos a que fácilmente puedan contraer enfermedades gastrointestinales en mayor grado, también enfermedades dermatológicas al estar en contacto con estas aguas y permanecer en lugares húmedos por varios días. Entre algunas medidas tomadas por la población para evitar la contaminación del agua para consumo humano que es extraída de pozos que han perforado en su propiedad es la instalación de bombas de mecate permaneciendo de esta manera sellado el pozo, pero esto no garantiza que el agua para consumo no les contamine, ya que el sistema de deposición de excretas humanas es a través de letrinas de fosa séptica y letrinas aboneras, las cuales al ser inundadas esparcen las excretas en toda el agua que inunda la zona. Para la construcción de letrinas de fosa sépticas no se toman en cuenta los parámetros como la distancia mínima entre pozos de agua para consumo humano, al igual que la profundidad del nivel freático para evitar que el agua de estos se contamine. La letrina abonera es la indicada en lugares donde el nivel freático está superficial, pero no para lugares que se inundan. Se puede observar al

recorrer la comunidad, que algunas letrinas están en un nivel más alto que el de los pozos, lo cual puede dar lugar a infiltraciones hacia éstos y contamine el agua, convirtiéndose en no apta para el consumo humano. Otros riesgos debido a las inundaciones, son las enfermedades respiratorias que se vuelven graves después de que éstas suceden y que cobran víctimas, específicamente en los niños de 0 a 5 años y en ancianos.

### **2.8.5 PROGRAMA DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN DE RIESGOS.**

La Gestión del Riesgo se refiere a un proceso social y de planificación, cuyo propósito es lograr la reducción de los niveles de riesgo existentes en la sociedad y fomentar la construcción del desarrollo y nuevas oportunidades, sobre una base de seguridad y sostenibilidad aceptables.

Esta gestión considera la producción de información técnico-científica basada en el monitoreo de los fenómenos naturales, la realización de obras de mitigación, divulgación para un proceso de concientización en la población sobre el riesgo que enfrentan. Se plantean opciones y prioridades en términos de su reducción, tomando en cuenta los recursos disponibles y el diseño de las estrategias para afrontarlo.

El SNET, conjuntamente y en coordinación con algunas organizaciones no gubernamentales, han desarrollado estudios puntuales sobre vulnerabilidad en el ámbito nacional, registros monitoreo y análisis de la misma, tomando en cuenta los lineamientos que proporciona el Marco Estratégico para la Reducción de Vulnerabilidades suscrito por los Presidentes de Centroamérica en 1999.

### **2.8.6 CLASIFICACIÓN DE LAS INUNDACIONES.**

**Inundación Repentina:** es la que ocurre en un tiempo muy corto. Las aguas desarrollan grandes velocidades, el río crece en menos de dos horas a partir del inicio de un fuerte

aguacero, cuando ocurren lluvias intensas sobre las cuencas o estribaciones montañosas que son pendientes muy fuertes de inclinación, el agua escurre rápidamente por la superficie y se concentra en los arroyos y quebradas; su principal característica es la gran velocidad, lo que genera fuertes turbulencias de sus aguas. Estos arroyos suelen arrastrar por el empuje que llevan, gran cantidad de maleza, escombros y los materiales que encuentran a su paso. Las inundaciones repentinas se originan por posibles derrumbes de tierra que represan la corriente de agua, cuando se concentra demasiada agua por ese represamiento, este ejerce tal fuerza que rompe violentamente la barrera que la obstaculiza. Las crecientes repentinas producen inundaciones de corta duración, afectando todo lo que se encuentra a su paso.

**Inundación Lenta:** en ella el nivel del agua sube en forma gradual, debido al desbordamiento de una corriente de agua cercana al lugar, llevando agua a todas las planicies, valles y todo lo demás que ahí se encuentra, tales como viviendas, lotes, cultivos, etc., las condiciones en que se producen las inundaciones lentas son:

1. Los aguaceros intensos llenan de agua los ríos, hasta desbordarlos; en muchas ocasiones las corrientes pierden su cauce y siguen por caminos inesperados afectando los lugares vecinos.
2. Los aguaceros intensos caen sobre valles o terrenos planos como llanuras o planicies, la tierra y vegetación absorben agua como una esponja, al seguir lloviendo, esta esponja natural se satura de agua y al cesar la absorción el agua fluye libremente por la superficie y ocurre la inundación.
3. Cuando los terrenos no tienen suficiente inclinación y no permiten que las aguas fluyan, y si además no existen desagües o canales que permitan su evacuación, éstas quedan estancadas e inundan el lugar.
4. Por causa de la erosión, los ríos se desvían, perdiendo su cauce.

### **2.8.7 DESASTRES.**

Los desastres naturales con impacto social, se cuentan entre los más afectantes, están vinculados a la vulnerabilidad de los asentamientos humanos, induciéndolos a una crisis económica, política y social. Por ejemplo, los efectos de las lluvias en zonas de cultivo, como las planicies adyacentes a la carretera el Litoral, desde el cantón El Jute, San Miguel, hasta el municipio de El Tránsito del mismo departamento, sus consecuencias adquieren dimensiones de desastre debido a la inundación. Un fenómeno natural provoca el desastre cuando un grupo poblacional es vulnerable frente al mismo. Hoy los desastres son una realidad cotidiana, más que una situacional excepcional y por lo mismo ameritan la adopción de políticas de control permanentes. Los niveles de pobreza en el país, crean el escenario propicio para la proliferación de los desastres. En caso de desastres y rehabilitación de zonas afectadas en la emergencia es donde se concentra la política del estado, al hacer frente a éstas situaciones, descuidando el aspecto de la prevención. Los desastres por inundación ponen al descubierto diversos patrones de vulnerabilidad, lo que genera diversas circunstancias económicas y políticas que están ligadas al conjunto de factores que determinan la vulnerabilidad; se deberá permitir la identificación de la población en riesgo en aéreas propensas a las inundaciones.

### **2.8.8 INUNDACIONES, HOMBRE Y DESASTRES.**

Las inundaciones pueden generar beneficios cuando los ríos en creciente alcanzan los pantanos, estanques y lagunas llevándoles agua con bastante oxígeno y nutrientes, lo que permite la multiplicación de los peces. Pero a pesar de todas las ventajas que poseen los ríos y algunas de sus crecientes o inundaciones, el hombre ha deteriorado innumerables cantidades de ríos, convirtiéndolos en una amenaza. El daño a las cuencas hidrográficas, a través de la tala y la quema de árboles y en general la

destrucción de la vegetación ha convertido a los ríos en corrientes inesperadas, que llegarían a desbordarse con facilidad. La invasión de los terrenos cercanos a los ríos y quebradas mediante la construcción de viviendas y la plantación de cultivos permanentes son causa de las inundaciones, e incompreensión del hombre con su medio ambiente y trae lamentables resultados, como el desastre. La inundación afecta grupos humanos, causando muerte y desolación a los pobladores, en la mayoría de los casos niños y gente con discapacidades especiales y ancianos, es desastrosa cuando la creciente también destruye viviendas, arrastra cultivos y también ahoga animales, daña enseres y acaba con el empleo y las tareas productivas de los grupos humanos.

### **2.8.9 SISTEMAS DE ALERTA TEMPRANA PARA INUNDACIONES.**

Actualmente están funcionando 5 Sistemas de Alerta Temprana en el país:

- a) Sistema de Pronóstico y Alerta Temprana de la Cuenca del Río Lempa con 10 estaciones Hidrométricas de transmisión telemétrica así: 2 de ellas en Guatemala, 1 en Honduras y el resto en El Salvador; 16 estaciones pluviométricas de transmisión telemétrica; 7 Estaciones climatológicas diarias convencionales; 9 Estaciones climatológicas horarias convencionales. Adicionalmente, se cuenta con un Modelo de Simulación y Pronóstico cuyos productos son: pronóstico de nivel para 14 puntos en el río Lempa, pronósticos de corto y largo plazo sobre el suministro de agua para los 4 embalses ubicados en el Río Lempa y mapas sobre las potenciales áreas de inundación río abajo de la Presa 15 de Septiembre.
  
- b) Sistema de Alerta Temprana de la Cuenca del Río Grande de San Miguel: 2 estaciones hidrométricas de transmisión telemétrica, 4 estaciones pluviométricas de transmisión telemétrica. El pronóstico se realiza mediante una medición de niveles en las estaciones ubicadas en la cuenca media y por medio de



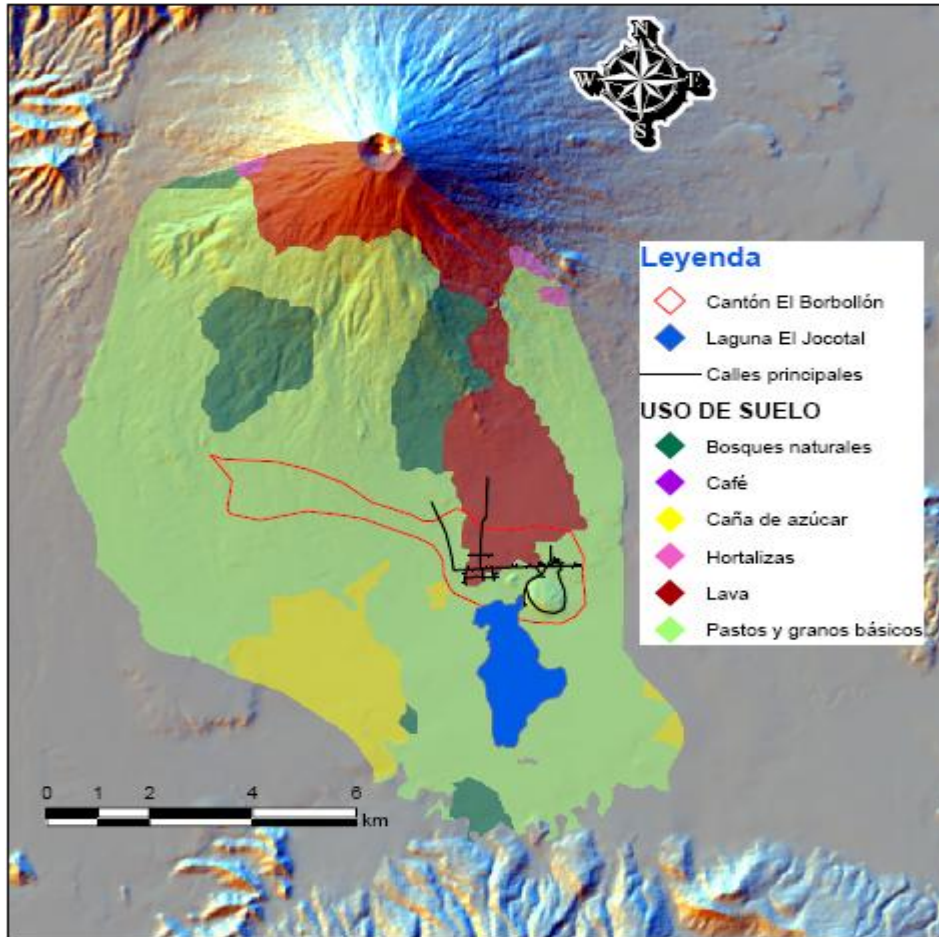
correlaciones de niveles y de tiempos de tránsito, existe un pronóstico del nivel y tiempo que la crecida alcanzará la cuenca baja y provocará inundaciones.

- c) Tres Sistema de Alerta Temprana para las Cuencas del Río Paz, Río Jiboa y del Río Goascorán. Los sistemas de alerta temprana incluyen los análisis de mapas de inundación y umbrales de alerta, los cuales al ser sobrepasados generan avisos a las poblaciones directamente, a los comités de emergencia locales y departamentales, a las instituciones gubernamentales locales y a las ONG locales, que conforman la Red Social del SNET.

Posteriormente se incorporarán los sistemas de alerta de las cuencas pequeñas y de respuesta rápida (zona costera) con base a datos de precipitación caída, actual y pronosticada.

## **2.9 UTILIZACION DEL TERRITORIO.**

El uso predominante en la comunidad es el habitacional con la ubicación de algunos usos complementarios como el comercial de menor escala (tiendas principalmente) y el institucional-comunal (escuela, iglesia, casa comunal, cancha deportiva).

**Figura N° 2.9.1:** Distribución del uso de suelo en la comunidad El Borbollón.

Por su ubicación estratégica, en la zona aledaña a la laguna El Jocotal, han surgido de manera espontánea una serie de pequeños comercios, que brindan servicios de comida y transporte marítimo a los turistas que visitan el sitio. Estos negocios están ubicados principalmente en la orilla de la calle que conduce a la laguna. El potencial turístico de la laguna, si bien es cierto todavía no ha transformado considerablemente el territorio comunal, si es vista por los mismos actores locales como un recurso importante que permitirá la generación de nuevos empleos, sobretodo en actividades de atención turística y conservación de recursos ambientales. Los pobladores ubican los puntos de conflicto territorial en la comunidad. Prácticamente se trata de problemas de

contaminación ambiental, relacionados con la disposición de los desechos sólidos, la utilización de la laguna como lavadero público y abrevadero para animales, sin ningún control sanitario, crianza de aves y cerdos y letrinas en mal estado.

## **2.10 INFRAESTRUCTURA Y EQUIPAMIENTO COMUNITARIO.**

<sup>17</sup>Por su cercanía a centros urbanos importantes como la ciudad de Usulután y la accesibilidad a través de la carretera El Litoral, la comunidad solventa muchas de sus necesidades básicas de educación, salud, empleo y recreación fuera de la comunidad misma. Sin embargo requerimientos imprescindibles para asegurar la habitabilidad del asentamiento, como los servicios básicos (agua potable, aguas servidas) y equipamiento de salud y educación, están actualmente en condiciones deficitarias, si se considera la demanda de la comunidad.

A continuación se señalan las condiciones actuales de los servicios básicos y el equipamiento comunal. Aspectos importantes a resaltar:

- ✓ Actualmente no cuentan con un sistema adecuado de tratamiento de los desechos sólidos. Por ello la aglomeración de basura se produce prácticamente en toda la comunidad.
- ✓ El servicio de salud de la comunidad es totalmente deficiente, a pesar de que cuentan con una unidad de salud, ésta se encuentra en mal estado, desde hace varios años carecen de médico. La cobertura de salud se atiende por una promotora que brinda servicios desde su casa.
- ✓ Según información proporcionada por la comunidad, El Borbollón cuenta con una escuela que atiende a una población estudiantil de 720 niños, la cual no abastece la demanda de servicios de educación necesaria para atender a los 1465 niños que viven en la comunidad.

---

<sup>17</sup> Información recopilada a través de visitas de campo, con la ayuda de líderes de la Comunidad El Borbollón.

- ✓ El 80% de la comunidad posee el servicio de energía eléctrica.
- ✓ Las instalaciones recreativas son deficitarias. En la zona norte existe una casa comunal y una cancha de fútbol. La casa comunal tiene una deficiente instalación eléctrica, es necesario cercarla y no tiene agua potable, mientras que la cancha necesita de un muro perimetral y adecuar las zonas al contorno. La comunidad no posee zonas de recreación para niños.

### 2.11 SISTEMA VIAL.

<sup>18</sup>La comunidad El Borbollón posee un sistema vial con un trazo pobre y en mal estado.

Los trazos son muy quebrados y angostos lo que dificulta el acceso a ciertas zonas en vehículo liviano. Los caminos son de tierra o de piedra y rara vez son pavimentados-asfalto o adoquín. Por ejemplo, en la zona nor-oeste del asentamiento la calle El Dibujo tiene radio de curvatura del mismo, no permite la circulación fluida de los vehículos.

El sistema vial fue creado para cubrir la demanda de acceso a las parcelas, debido a esto ofrece baja movilidad, que añadido a su cercanía a la carretera del Litoral produce interrupciones al flujo vehicular de la misma (Carretera del Litoral).

Las actividades económicas predominantes en la zona (pesca, extracción de tule de la laguna, explotación de piedra y comercio al por menor) genera flujos peatonales y vehiculares bien marcados. Este es el caso de la calle del CEL, el camino a la laguna y carretera del Litoral. Por otra parte estas mismas vías proveen de acceso a servicios importantes de la comunidad tales como recreación, salud, educación, etc.

---

<sup>18</sup> Convención RAMSAR Ficha técnica Laguna El Jocotal, El Salvador.

Para propiciar el desarrollo económico y social de la comunidad se propone la rehabilitación y rediseño de las siguientes vías:

✓ **Paseo Malecón**

Se propone como una vía para recorrido turístico-ecológico en el contorno de la laguna. A su vez conecta la zona turística, la zona de protección ambiental A y la zona habitacional en el costado Sur de la comunidad. El trazo puede mantenerse como se encuentra originalmente y debe restringirse el paso de vehículos pesados.

✓ **Continuación sur de la calle de CEL**

Conecta la calle del Litoral con el Paseo Melacón, brindando acceso a servicios de salud de la comunidad.

✓ **Salida Nor-oriental del camino de la laguna**

Esta calle amplía el acceso a la zona comercial y turística de la comunidad, a su vez facilita la incorporación del flujo vehicular a la carretera del Litoral.

✓ **Conexión de la calle El Dibujo y calle ubicada al norte de la casa comunal**

Esta vía ofrece una mayor movilidad para los viajes cortos entre parcelas de la zona norte sin haber uso de la carretera del Litoral.

El trazo de este camino se puede mejorar al cambiar al alineamiento horizontal en tres zonas: el primero de 66 m de longitud que corta a tres parcelas, no asignadas, el segundo de 225 m de longitud que corta a tres parcelas, una de ellas de María Amaya; y finalmente un tercer tramo de 127 m que atraviesa tres propiedades de Rosa Amalia Magaña, Carmen Garay y Blanca Alicia Campos.

**Tabla N° 2.11.1:** Sistema vial de la comunidad El Borbollón.

Calle	Longitud (m)	Porcentaje.
Calle de CEL	406	5.8
Calle El Dibujo (ampliada)	1263	18.0
Camino a la laguna	866	12.4
Carretera del Litoral	1850	26.4
Cont. Calle del CEL	375	5.4
Paseo EL Malecón	1920	27.4
Salida Nor-oriente	322	4.6
<b>total</b>	<b>7001</b>	<b>100.0</b>

El sistema actual de transporte de la comunidad es de 12.5 km.

## 2.12 PERFIL CLIMATOLÓGICO DE LA ZONA DE ESTUDIO.

<sup>19</sup>Considerando la regionalización climática de Holdridge, la zona de Interés se clasifica como “**Bosque húmedo subtropical** (con biotemperaturas < 24 ° C pero con temperaturas del aire, medio anuales >24° C).

Los rumbos de los vientos son predominantes del norte, la brisa marina ocurre al mediodía, durante la noche se desarrolla el sistema local nocturno del viento con rumbos desde las montañas y colinas cercanas, la velocidad media anual es de 7 km/h.

<sup>19</sup> Obtenido del perfil climatológico que nos proporcionó el SNET.

### 2.12.1 TEMPERATURA.

Las temperaturas con altas magnitudes, especialmente en las planicies internas bajas, pueden alcanzar hasta los 44°C en los meses mas calientes del año y tienden a disminuir según se ascienda a una mayor altura sobre el nivel del mar, este comportamiento se debe al factor orográfico.

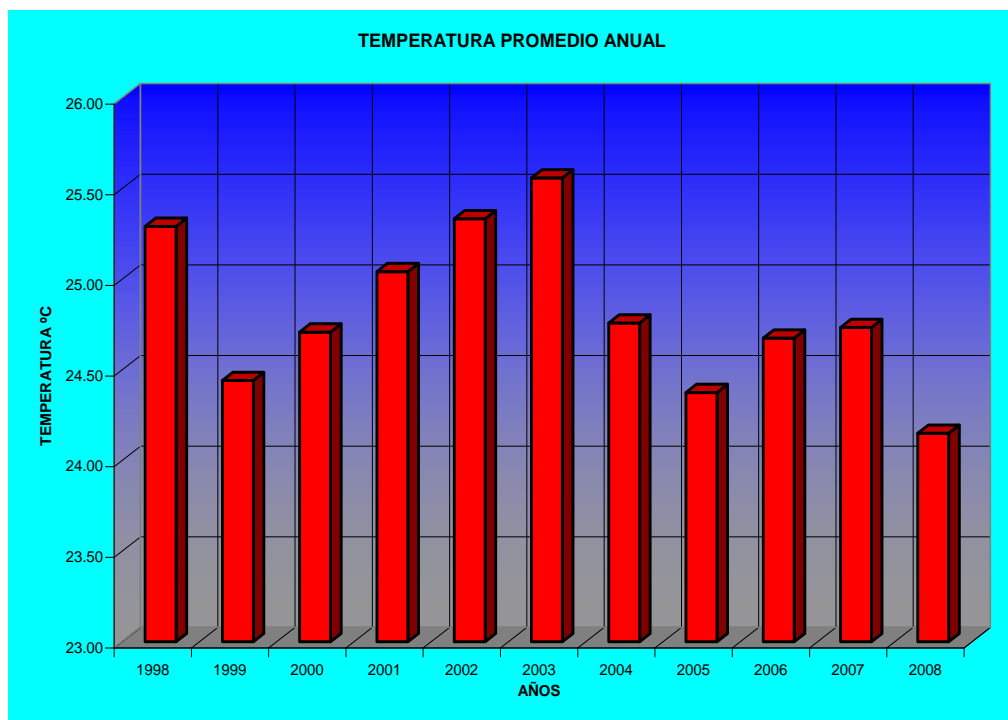
El régimen de temperatura es atenuado en la zona costera por la presencia del océano, con temperaturas uniformes entre los 28°C durante el año, los sitios mas altos de las montañas pueden presentar temperaturas medias mínimas alrededor de los 10°C, sin embargo, en valles y hondonadas en alturas mayores, suceden heladas que afectan los cultivos de estas zonas altas. Las temperaturas alcanzan un mínimo valor en los meses de diciembre y enero y un máximo valor en los meses de marzo y abril.

La laguna El Jocotal se encuentra a una distancia aproximada de 18 km. de las estaciones meteorológicas de El Papalón y Santiago de María; por lo tanto se utilizó el promedio de ambas estaciones para estimar la temperatura de nuestra zona de estudio. También puede observarse que la temperatura mínima promedio se dio en el mes de noviembre, con un valor 23.7°C, mientras que el mes mas cálido fue el mes de abril, con un valor promedio de 26.5°C. La siguiente tabla muestra los resultados para el periodo de 1998-2008.

**Tabla N<sup>0</sup> 2.12.1.1:** Temperatura anual en la cuenca de la laguna El Jocotal.

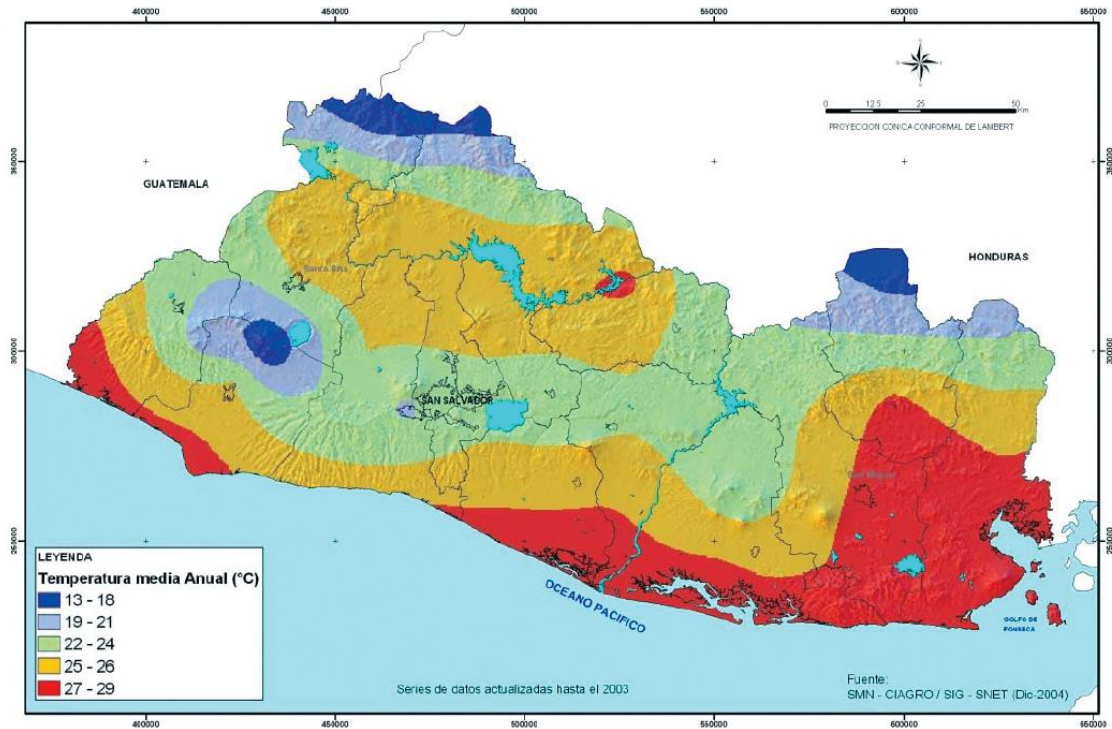
Año/Mes	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1998	24.9	25	27	27	27.2	26	25	25.1	24.2	24.1	24.1	24
1999	23.9	25	26	26	25.4	25	24.8	24.8	23.6	23.2	23.1	23
2000	23.3	24	26	27	25.3	25	25.1	24.9	24	24.2	24.3	24
2001	23.7	26	25	27	25.8	26	25.3	25.5	24.2	24.7	23.2	25
2002	24.7	26	26	27	26.6	25	25.3	25.4	24.4	24.6	24	24
2003	24.3	26	26	27	26.3	28	27.2	27	24.3	24.1	24.1	23
2004	23.6	24	27	26	25.8	25	24.5	25.3	24.2	24.1	23.8	24
2005	23.5	24	26	26	25	24	24.8	24.5	24	22.9	23.6	24
2006	24	25	26	26	25.2	24	25.2	25.1	24.3	24.3	23.4	24
2007	24.6	25	27	26	25.7	25	25.4	24.2	23.9	23	23.6	24
2008	23.8	24	25	25	24.7	25	24	24.1	23.8	23.1	23.3	24

**Gráfico N<sup>0</sup> 2.12.1.1:** Temperatura anual.





**Figura N° 2.12.1.1: Temperatura media anual**  
**Fuente: SNET**



### 2.12.2 PRECIPITACIÓN.

Existen dos épocas bien definidas, una lluviosa y otra seca. La lluviosa, va en promedio desde la segunda mitad de mayo hasta la segunda mitad de octubre, y la seca va desde la segunda mitad de noviembre a la primera mitad de abril; considerando los meses de abril y noviembre como los meses de transición. El 85% del total de lluvias proviene de chubascos generalmente acompañados de tormentas eléctricas, y el restante 15% de temporales, presentándose en la parte sur del país. Normalmente la mayor precipitación anual, se registra en septiembre. La costa y valles interiores del país, pueden considerarse relativamente secos, con valores de 1600 mm de precipitación anual.

El régimen de lluvia en El Salvador está influenciado por el movimiento de sistema de alta presión de Las Bermudas, la inversión de flujo de los Alisios y de la zona

de convergencia intertropical. Esta última, al acercarse a las costas salvadoreñas en los meses de junio a septiembre, produce los máximos registros de precipitación. Entre julio y agosto, debido a la proximidad del sistema de alta presión del Atlántico al territorio nacional, ocurre una disminución e interrupción de la lluvia, provocando muchas veces condiciones graves de sequía en algunos sitios. Este fenómeno se conoce como canícula, y su efecto se convierte en factor limitante en la agricultura de cultivos básicos.

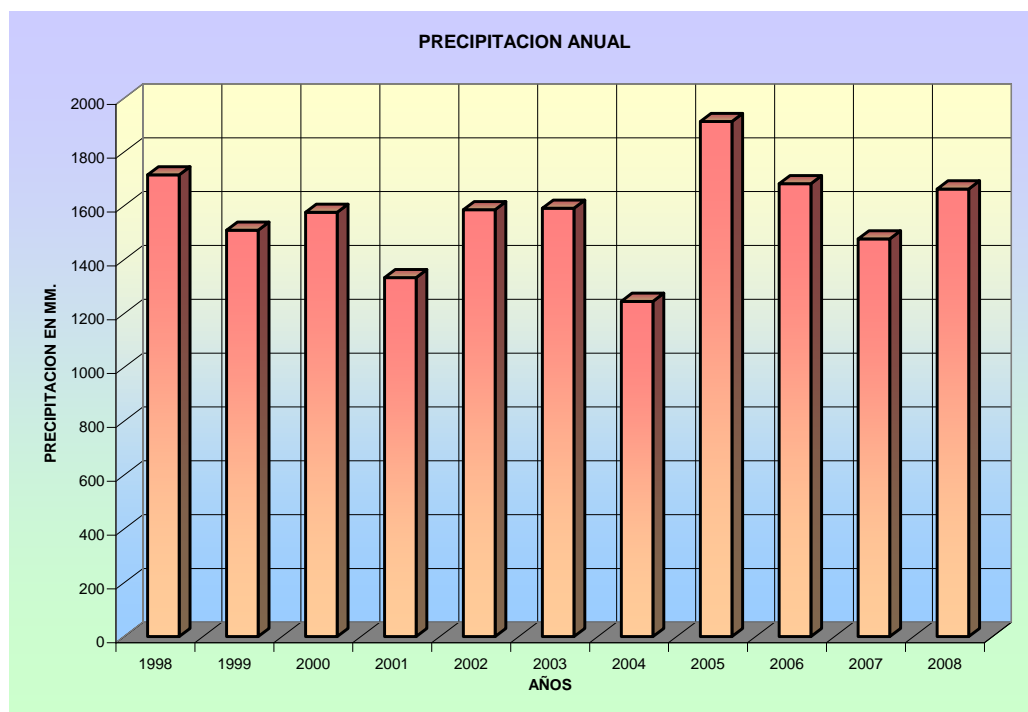
Los valores promedios anuales oscilan entre 1200 mm en los alrededores de la frontera noroccidental con Guatemala y 2800 mm en las partes altas de la cordillera del norte y sierras suroccidentales; las sierras y volcanes del sur presentan cantidades arriba de los 2400 mm.

Para el cálculo de la precipitación media contamos con datos de tres Estaciones Pluviométricas las cuales son: El Papalón, Santiago de María y Beneficio La Carrera. La precipitación se manifiesta como gotas de lluvia que para los últimos once años los valores anuales oscilan entre los 1245 milímetros de lluvia para el año 2004 y 1913.1 milímetros de lluvia para el año 2005. También puede observarse que el mes mas lluvioso fue el mes de octubre con un valor promedio de 293.53 milímetros de lluvia, mientras que el mes menos lluvioso fue el mes de febrero con un valor promedio de 0.51 milímetros de lluvia. Toda esta información proporcionada por el SNET se encuentra tabulada de forma mensual para el periodo de 1998-2008. El método utilizado para determinar la precipitación media es el de los polígonos de Thiessen, los cuales fueron trazados mediante el software AutoCad 2008, y luego se procedió al cálculo de la precipitación media. El resumen se muestra en la siguiente tabla.

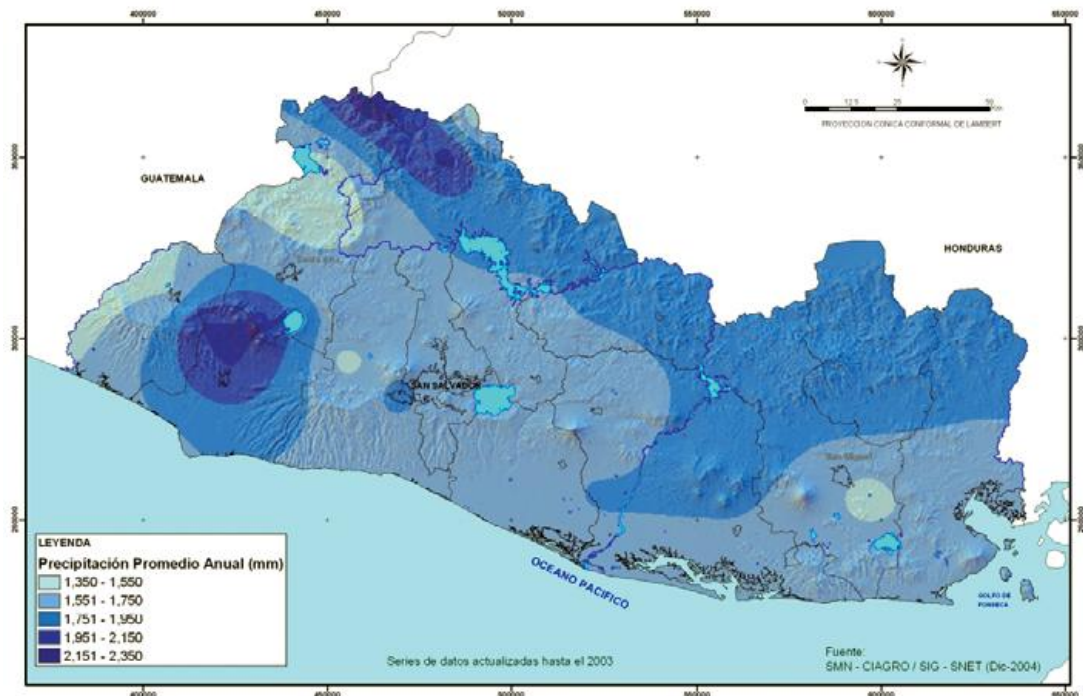
Tabla N° 2.12.2.1: Precipitación mensual en la cuenca de la Laguna El Jocotal.

Año\Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
1998	0	0	2.4	0	67.1	197.7	329.7	305.5	99.9	440	273.2	0.09	1715.3
1999	0.1	0	0.9	29.3	144.5	316.9	189.4	185.4	414	195	29.22	4.47	1509.2
2000	0	0	0	15.6	351.5	273.5	134.3	291.5	379	115	16.03	0	1576.1
2001	0	0	8.4	0.5	271.2	72.1	222.1	252.3	152	353	1.66	0	1333.3
2002	10.6	0.1	0	25.6	314.9	184.4	238.4	209.9	270	270	61.26	0	1585.3
2003	0	0	22.7	3.1	167.1	325.9	156.9	290	235	321	69.06	0.09	1590.7
2004	0.2	3	4.6	19.6	244.1	114.8	209.9	89.8	327	161	71.2	0	1245
2005	0	0	35.8	29.3	376	171.2	179.5	364	355	361	39.46	1.51	1913.1
2006	0	0	0	30.8	126	350.3	286.6	288.1	289	227	80.7	3.46	1682.4
2007	0	0	1	10.7	125.3	61.2	130.1	333.5	384	376	55.04	0	1476.9
2008	0.1	2.5	2.9	26.7	235.6	117.6	308.2	370	188	410	0.64	0	1662.5
Promedio	1	0.5	7.1	17.4	220.3	198.7	216.8	270.9	281.3	293.5	63.4	0.9	

Gráfico N° 2.12.2.1: precipitación anual.



**Figura N° 2.12.2.1: Precipitación media anual**  
Fuente: SNET



### 2.12.3 HUMEDAD RELATIVA.

La humedad relativa, a diferencia de la temperatura, no muestra una variación tan clara con respecto a la altura. La amplitud media diaria de la humedad relativa para un mes determinado varía entre 30%-40%, pudiendo llegar a alcanzar niveles máximos de humedad hasta de un 55% en la mayor parte del país, y durante la noche generalmente pueden llegar hasta el 100%. En el transcurso del año, la humedad relativa presenta el mínimo promedio anual en los valles interiores, con un valor de 70%, disminuyendo hasta el 65% en la zona oriental del país. En la zona costera, los valores medios anuales son de 75% y en las partes altas de los volcanes del sur y cordilleras norteñas, valores de 80%-90% respectivamente.

☀ Humedad Relativa Promedio Mensual.

La humedad relativa promedio mensual (%) es una variable con la que se puede calcular el brillo del sol (S%) para una zona determinada; está directamente relacionada con la precipitación e inversamente relacionada con la temperatura durante el día. Entre el año 1998 – 2008 se registró una humedad relativa promedio anual máxima de 76% para el año 2005 y una mínima de 69.8% para el 2001 de acuerdo a la tabla 2.4

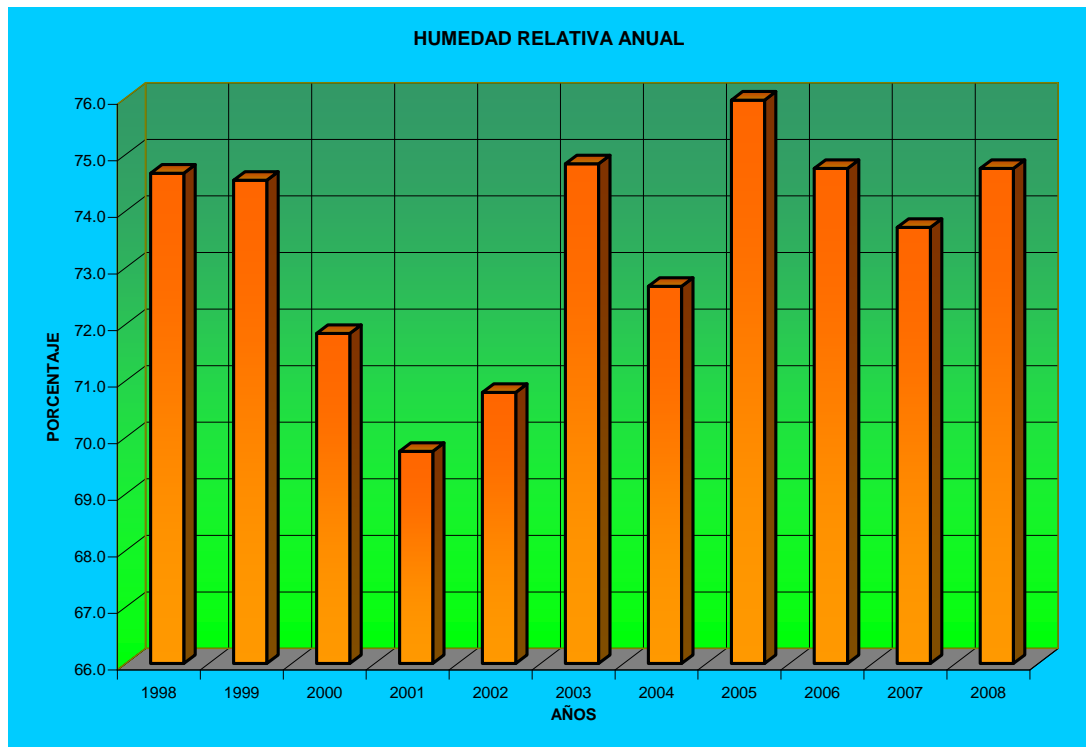
Para tal período, el promedio mensual máximo se da en el mes de septiembre con un 85.5%, mientras que el promedio mensual mínimo se da en el mes de febrero, con un valor de 61.5%.

Al igual que en la temperatura mensual media, para aproximar la información de las estaciones meteorológicas se calcula la media aritmética, esta información es la que se muestra en la siguiente tabla.

**Tabla N<sup>o</sup> 2.12.3.1:** Humedad relativa en la cuenca de la laguna El Jocotal.

Año\Mes	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Anual
1998	65.5	66.5	65	64	67.5	74.5	79	81	86	88	82	77	74.7
1999	66	63	64	67	78.5	81.5	78	82.5	89.5	84	71	69.5	74.5
2000	62	59	66	64.5	79	78.5	74	76.5	85.5	77	77	63	71.8
2001	62.5	56.5	62.5	61	74.5	72	73.5	74.5	83	79	71	67	69.8
2002	62.5	58	57	60.5	68.5	81	76	75.5	85	82	73	71	70.8
2003	65	63.5	62	67.5	75	90	79	80	85	86	79	66	74.8
2004	66.5	63	56.5	64	76	77	79.5	77.5	85	87	75	65.5	72.7
2005	59	59	74.5	68	82	88	82	83.5	85	87	73	70.5	76
2006	73.5	58.5	58	67	80	85	78.5	81	83.5	86	75	71	74.8
2007	62.5	63.5	61.5	69.5	77.5	78.5	76	86	86.5	87	68.5	67.5	73.7
2008	63.5	66.5	64.5	71.5	81.5	80	81	83	86.5	85	68	66	74.8
Promedio	64.4	61.5	62.9	65.9	76.4	80.5	77.9	80.1	85.5	84.3	73.9	68.5	

Gráfico N° 2.12.3.1: humedad relativa anual.



### 2.13 HIDROLOGÍA.

<sup>20</sup>En el año 2005, el ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, identificó 59 cuerpos de agua como lagos, lagunas, embalses, manglares y esteros, los cuales presentan superficies mayores de 5 ha. Han sido considerados 15 de ellos como prioritarios para su protección como reserva de agua superficial. Entre ellos el lago de Ilopoango (70.4 km<sup>2</sup>), laguna de Güija, compartida con Guatemala (44.1 km<sup>2</sup>), lago de Coatepeque (24 km<sup>2</sup>), laguna de Olomega (24.2 km<sup>2</sup>) y laguna El Jocotal (15 km<sup>2</sup>), estos dos últimos declarados sitios RAMSAR en los años 2006 y 1999 respectivamente.

<sup>20</sup> Geo el salvador 2003-2007

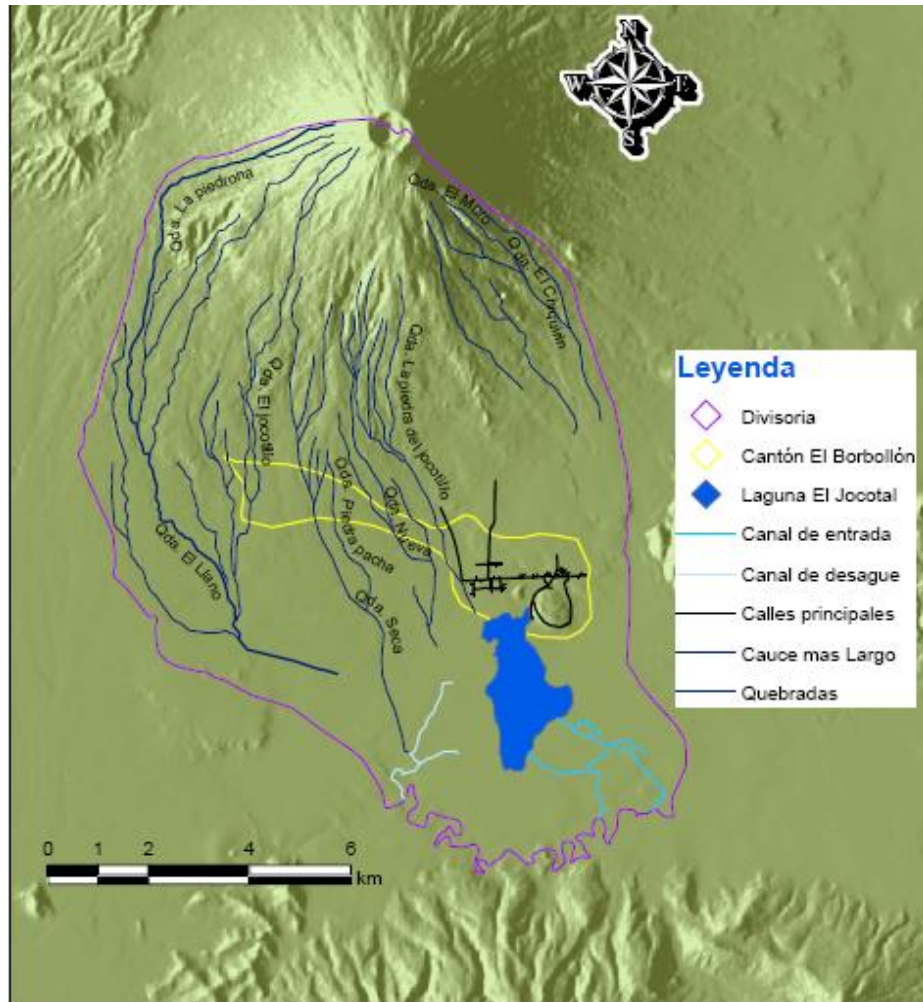


diversas zonas del país, pero todavía se carece de estudios suficientemente detallados que permitan obtener información mas precisa sobre la disponibilidad de agua subterránea en el país. En términos muy generales, se ha estimado que la recarga por precipitación es de unos 2000 millones de m<sup>3</sup>/año. Sin embargo son necesarios estudios hidrogeológicos para llegar a determinar con mayor precisión esa cantidad, además de determinar la influencia que tienen los flujos de retorno de la escorrentía superficial en la recarga total.

La comunidad El Borbollón se encuentra ubicada dentro de la Cuenca del Río Grande de San Miguel, el cuál hace su recorrido en el sector sur de la zona de estudio desembocando en la bahía de Jiquilisco en el departamento de Usulután y es el principal elemento hidrográfico, este mantiene flujo a lo largo de todo el año. Otro elemento muy importante a tomar en cuenta es la escorrentía superficial proveniente de la falda sur del volcán Chaparrastique. La zona es atravesada de norte a sur por varias quebradas debido a la topografía determinada por el volcán Chaparrastique. Dichas quebradas son: La Piedrota, El Llano, El Jocotillo, Piedra pacha, Quebrada seca, Quebrada Nueva, La Piedra del Jocotillo, Quebrada El Moro y Quebrada El Chiquirín. Su caudal es prácticamente inexistente en época seca, pero en periodos de tormenta transportan grandes cantidades de agua, ocasionando algunas veces el desbordamiento de las mismas



Figura N° 2.13.1.1: Hidrología de la cuenca de la laguna El Jocotal.



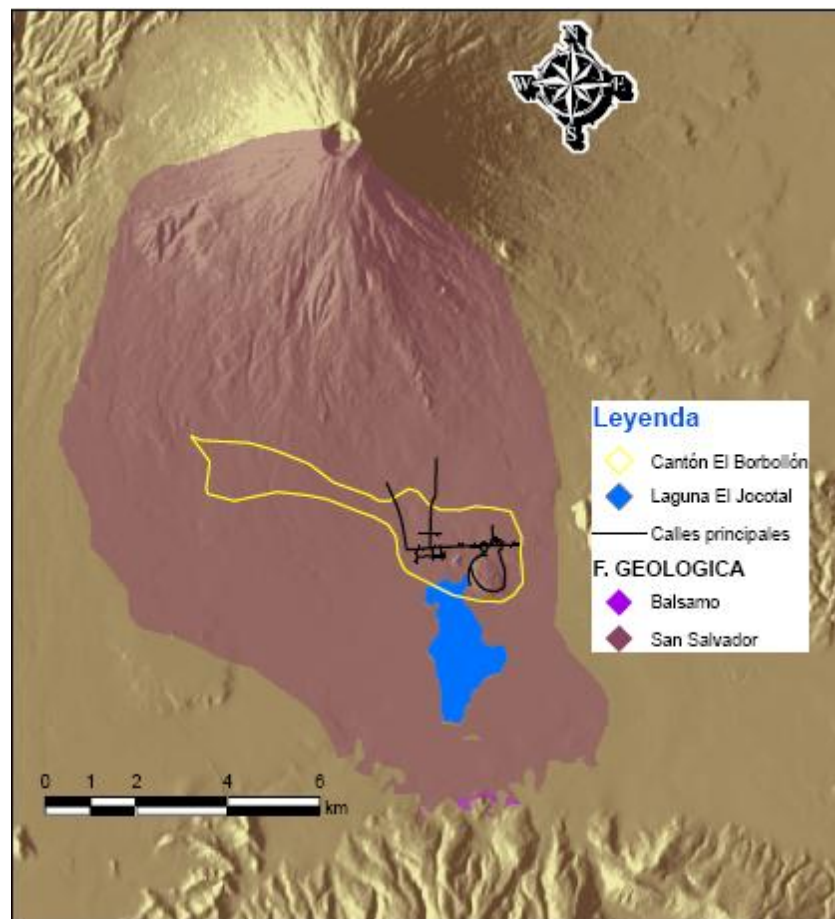
## 2.14 MARCO GEOLÓGICO.

Geológicamente, la zona norte se caracteriza por estar constituida por formaciones volcánicas de reducida permeabilidad subterránea lo cual permite depósitos acuíferos. En las zonas intermedia y costera existen acuíferos en materiales piroclásticos, sedimentos aluviales y materiales volcánicos cuaternarios.

Desde el punto de vista geológico, el territorio salvadoreño está formado por Rocas Volcánicas, las cuales cubren más de un 90% del país; Rocas sedimentarias marinas; Rocas sedimentarias de origen volcánico, formando generalmente pequeños depósitos de diatomita y lignitos; Rocas de carácter intrusivo tales como granitos, granodioritas, monzonitas y dioritas.

Todas estas rocas hacen de El salvador un país de edad geológica relativamente joven.

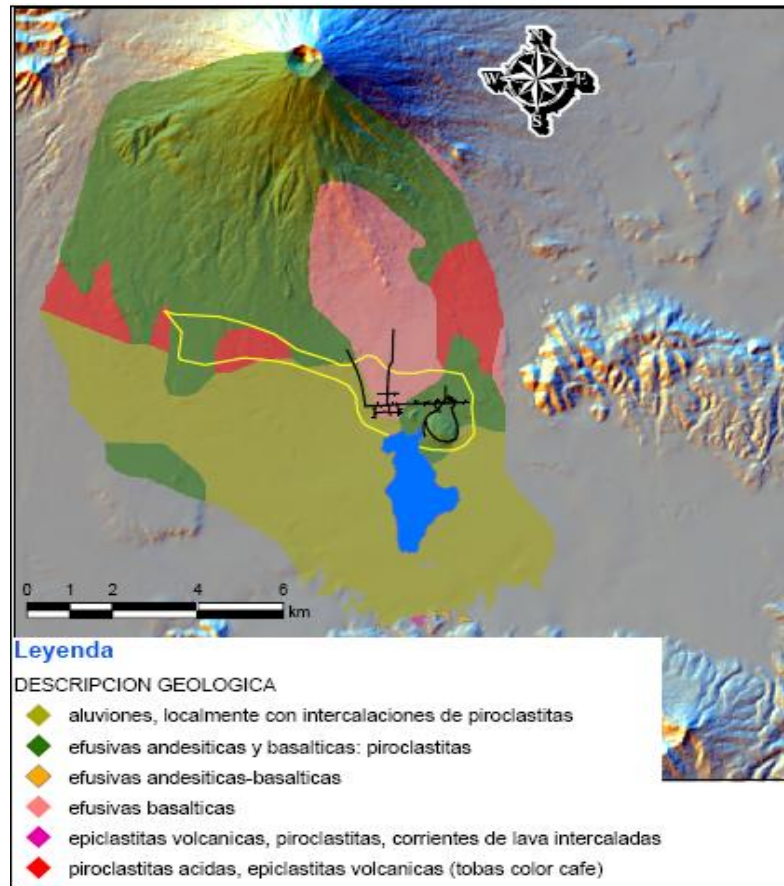
**Figura N° 2.14.1:** Formaciones Geológicas de la cuenca de la laguna El Jocotal



En nuestra área de estudio, la formación geológica predominante es la formación San Salvador, tal como se observa en el mapa geológico de la cuenca. La formación San Salvador, es la más reciente, cuya edad va del pleistoceno hasta el cuaternario reciente, está constituida por Piroclastos sueltos intercalados con flujos de lavas, los que se han originado como consecuencia de las erupciones del Volcán Chaparrastique. Todos estos materiales afloran al poniente, norponiente y surponiente de la Ciudad de San Miguel, desde el cono del Volcán.

La geología predominante en la zona de estudio como se puede notar en el mapa geológico la conforman rocas efusivas, andesíticas y basálticas; esto es específicamente en la falda sur del volcán Chaparrastique, así mismo predominan en menor cantidad las efusivas basálticas; estas se encuentran al costado norte de la comunidad El Borbollón; a los costados norponiente y nororiente de la comunidad también predominan en menor cantidad piroclásticas ácidas, epiclastitas volcánicas (tobas color café); mientras tanto en la zona de la laguna predominan aluviones, localmente con intercalaciones de piroclastitas.

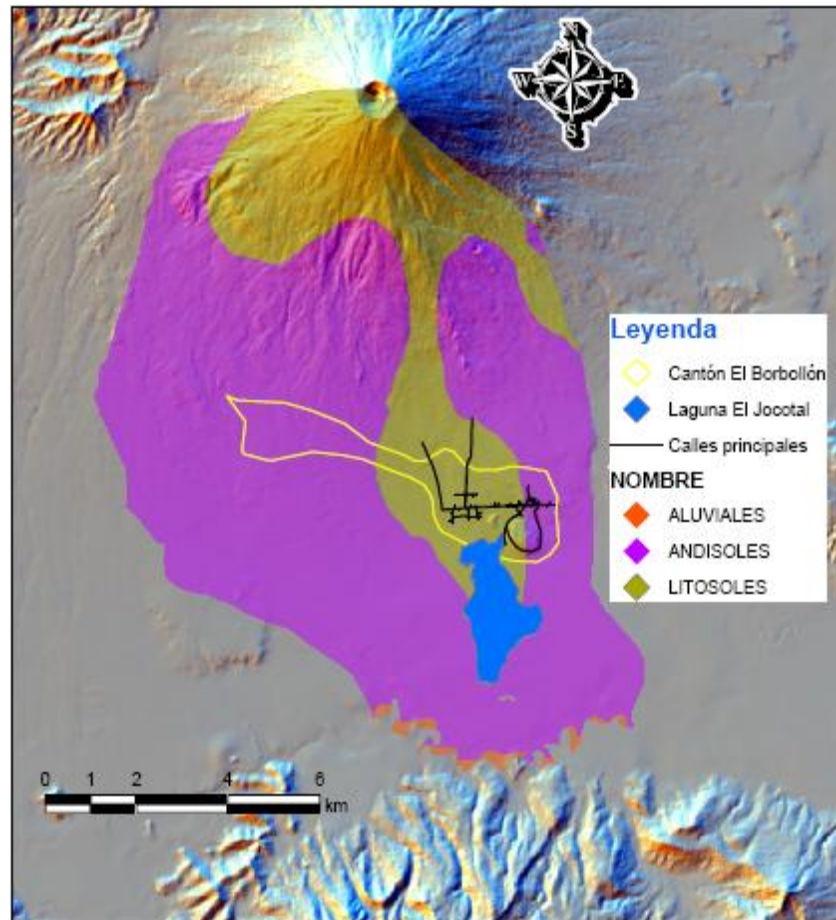
**Figura N° 2.14.2:** Geología de la cuenca de la laguna El Jocotal



### 2.15 TIPOS DE SUELOS.

Los tipos de suelos predominantes en nuestra zona de estudio, son los que se muestran detalladamente en el mapa Pedológico

**Figura N° 2.15.1:** Tipos de suelos predominantes en la cuenca de la laguna El Jocotal



**ALUVIALES:** Se encuentran en menor cantidad, al sur de nuestra zona de estudio; Éstos son suelos transportados por ríos o lagos, estratificados de textura variable, carecen de modificaciones de agentes externos (agua, clima, etc.).

**ANDISOLES:** Llamados también **ANDEPTS**, básicamente son los que predominan en nuestra área de estudio, estos van desde parte de la falda sur del volcán, atravesando gran parte de la comunidad El Borbollón. Estos suelos se han desarrollado de materiales piroclásticos (cenizas volcánicas). Se encuentran en la región del volcanismo reciente, principalmente en las faldas y tierras altas de los volcanes y

macizos volcánicos. Además, éstos poseen un horizonte superficial con alto contenido de materia orgánica; en algunos casos pueden mostrar horizontes en el subsuelo con desarrollo incipiente, de color pardo rojizo y textura más fina. Tienen características muy particulares como alta capacidad de retención de humedad, baja densidad, sensación jabonosa o de talco.

**LITOSOLES:** Llamados también **SUELOS ESQUELETICOS**, estos se localizan en la parte alta del volcán Chaparrastique y se extiende por el costado sur una franja relativamente delgada, atravesando la parte central de la comunidad El Borbollón, hasta llegar a la Laguna El Jocotal. Estos en muchos casos son suelos que han estado sujetos a severa erosión. También comprende esta clase aquellas áreas en las cuales los suelos inician su formación, a partir de la desintegración o intemperización de la roca.

## **2.16 MARCO NORMATIVO:**

Cuando el país o específicamente una zona se encuentra afectada por un fenómeno meteorológico, sísmico o cualquier otra calamidad, para el estado la forma eficiente de responder ante tal situación es amparándose ante sus entidades correspondiente. Para ello, las herramientas que permiten lograr este objetivo son las leyes vigentes con las que un estado cuenta, pues es entonces ahí la necesidad de incluir una política dirigida a la gestión de riesgo y su respectiva mitigación.

Tomando en cuenta el entorno legal con el que cuenta nuestro país sobre la gestión de riesgo y mitigación, introducimos este contexto normativo, para dar a conocer las diferentes leyes, reglamentos, convenios y acuerdos con los que se dispone actualmente, esto vendrá a facilitar la interpretación de beneficios que el Estado dispone para personas que los requieran en un momento dado.

## 1. CONSIDERANDO LEYES Y REGLAMENTOS.

Para nuestro caso las leyes y reglamentos que hacen referencia a la prevención y mitigación de desastres naturales son las siguientes:

- a) La Constitución de la República de El Salvador.
- b) Ley de Protección Civil, Prevención y Mitigación de Desastres.
- c) Ley del Medio Ambiente.
- d) Reglamento General de la Ley de Medio Ambiente.

Además teniendo en cuenta que la Laguna El Jocotal es un Área Natural Protegida (ANP), y legalmente establecida en 1999 como sitio Ramsar se incluye la siguiente ley:

- e) Ley de Áreas Naturales Protegidas.

**a) La Constitución de la República**, con el fin de establecer los fundamentos de la convivencia de la población en general, reconoce a la persona humana como el origen y el fin de la actividad del estado, que está organizado para la consecución de la justicia, de la seguridad jurídica y del bien común, asumiendo como obligación propia el bienestar de sus habitantes, no solo en el goce de las libertades, si no que también en el área de la salud, la cultura, la economía y el ámbito social.

La Constitución de la República no enfatiza más sobre como el Estado responderá ante una situación relacionada con problemas que pueden surgir a causa de una inundación.

**b) Ley de Protección Civil, Prevención y Mitigación de Desastres**, el 18 de agosto de 2005, ante el susto que nos dio el huracán Adrián, esta ley fue aprobada sorpresivamente por la Asamblea Legislativa. Esta ley responde específicamente a la prevención y mitigación de riesgos en toda su dimensión, no centra la atención solo en caso de emergencia nacional, si no que incorpora la visión de prevención para garantizar la vida, la integridad física de las personas, así como la seguridad de los bienes públicos y privados. Además su contenido estipula el desalojo de zonas de alto riesgo y la declaración de alertas y su respectiva clasificación.

**Art. 1.** La presente ley tiene por objeto prevenir, mitigar y atender en forma efectiva los desastres naturales y antrópicos en el país y además desplegar en su eventualidad, el servicio público de protección civil, el cual debe caracterizarse por su generalidad, obligatoriedad, continuidad y regularidad, para garantizar la vida e integridad física de las personas, así como la seguridad de los bienes privados y públicos.

El título II, del capítulo I, muestra como esta dada la constitución del Sistema Nacional de Protección Civil.

**Art. 5.** Créase el Sistema Nacional de Protección Civil, prevención y mitigación de desastres, como un conjunto interrelacionado, descentralizado en su operatividad, de organismos públicos y privados, que tendrán la responsabilidad de formular y ejecutar los respectivos planes de trabajo de protección civil, planes de trabajo de prevención del manejo del riesgo de desastres y de mitigación de los impactos de estos.

Para la sustentabilidad del sistema se creará un fondo de protección civil, prevención y mitigación de desastres. El ministerio de gobernación solicitará al organismo administrador de este fondo el financiamiento para la atención de la emergencia ocasionada por desastres.

El sistema nacional de protección civil, prevención y mitigación de desastres estará integrado por:



- ✓ La comisión de protección civil, protección y mitigación de desastres.
- ✓ Las comisiones departamentales de protección civil, prevención y mitigación de desastres.
- ✓ Las comisiones municipales y comunales de protección civil, prevención y mitigación de desastres.

Estas comisiones coordinan su trabajo de prevención del riesgo y actuarán estrechamente en caso de un desastre y su mitigación.

Con respecto a las alertas, es responsabilidad del Director Civil declarar el nivel de alerta frente a la inminencia eventualidad o acaecimiento de un desastre, basado en el monitoreo de los fenómenos naturales y la información técnica del Servicio Nacional de Estudios Territoriales.

**c) Ley de Medio Ambiente**, es otra ley disponible vinculada con la temática, aprobada en abril de 1998, nace con el objeto de desarrollar las disposiciones de la Constitución de la República, en lo referente a la protección, conservación y recuperación del medio ambiente; el uso sostenible de los recursos naturales que permitan mejorar la calidad de vida de las presentes y futuras generaciones; así como también, normar la gestión ambiental, pública y privada y la protección ambiental como obligación básica del Estado.

En el artículo IV, de la primera parte de esta ley, esta dedicado a la regulación de las contingencias, emergencias y desastres ambientales, por ejemplo el Art. 53, reza que el Estado y sus instituciones tienen el deber de adoptar medidas para prevenir, evitar y controlar desastres ambientales.

### 1. Emergencias y desastres ambientales.

**Art. 54.** Ante la inminencia u ocurrencia de un desastre ambiental, el Órgano Ejecutivo, declarará el estado de emergencia ambiental por el tiempo que persista la

situación y sus consecuencias, abarcando toda la zona afectada, adoptando medidas de ayuda, asistencia, movilización de recursos humanos y financieros, entre otros, para apoyar a las poblaciones afectadas y procurar mitigar el deterioro ocasionado.

## **2. Obligación de elaborar planes de prevención y contingencia ambiental.**

**Art. 55.** El ministerio, en coordinación con el Comité de Emergencia Nacional, elaborará el Plan Nacional de Prevención y Contingencia Ambiental, siendo este último el que lo ejecutará. El plan pondrá énfasis en las áreas frágiles o de alto riesgo, de acuerdo a un Mapa Nacional de Riesgo Ambiental que será elaborado por el Ministerio con el apoyo de las instituciones especializadas.

Las instituciones, públicas o privadas que realizan procesos peligrosos o manejan sustancias o desechos peligrosos, o se encuentran en zonas de alto riesgo, que ya estén definidas en el Mapa establecido en el inciso anterior, están obligadas a incorporar el Plan Nacional de Prevención y Contingencia Ambiental en planes institucionales de prevención y contingencia en sus áreas y sectores específicos de acción y desempeño.

Además esta ley en el capítulo I, del título VIII, involucra el nivel de manejabilidad que se les deben de dar a las Aguas y Ecosistemas Acuáticos.

## **3. Gestión y uso de las Aguas y Ecosistemas Acuáticos.**

**Art. 70.** El Ministerio, elaborará y propondrá al Presidente de la República para su aprobación los reglamentos necesarios para la gestión, uso, protección y manejo de las aguas y ecosistemas tomando en cuenta la legislación vigente y los criterios siguientes:

a) Su manejo se realizará en condiciones que prioricen el consumo humano, guardando un equilibrio con los demás recursos naturales;

- b) Los ecosistemas acuáticos deben ser manejados tomando en cuenta las interrelaciones de sus elementos y el equilibrio con otros;
- c) Se promoverán acciones para asegurar que el equilibrio del ciclo hidrológico no sufra alteraciones negativas para la productividad, el equilibrio de los ecosistemas, la conservación del medio ambiente, la calidad de vida y para mantener el régimen climático;
- d) Asegurar la cantidad y calidad del agua, mediante un sistema que regule sus diferentes usos;
- e) Se establecerán las medidas para la protección del recurso hídrico de los efectos de la contaminación.
- f) Todo concesionario de un recurso hídrico para su explotación será responsable de su preservación.

#### **4. Protección de zonas de Recarga.**

**Art. 71.** El Ministerio identificará las zonas de recarga acuífera y promoverá acciones que permitan su recuperación y protección.

e) **Reglamento General de la Ley de Medio Ambiente**, esta herramienta legal aprobada por decreto legislativo el 2 de marzo de 1998, nace con el objeto de emitir las normas reglamentarias de la Ley de Medio Ambiente, para desarrollar y facilitar la aplicación de ésta.

a) **Ley de Áreas Naturales Protegidas**, esta ley fue aprobada en febrero de 2005, a través del decreto legislativo N<sup>o</sup> 579, nace con el propósito de proteger la poca cobertura boscosa con que cuenta nuestro país, la que se encuentra en un continuo deterioro, así como también las diversas especies de vida silvestre en proceso de extinción. Las Áreas naturales desempeñan un papel importante en la vida humana, ya

que contribuyen a la conservación de suelos, a la recarga de acuíferos, y a otros beneficios ambientales para la sociedad.

**Art. 1.** La presente Ley tiene por objeto regular el establecimiento del régimen legal, administración, manejo e incremento de las Áreas Naturales Protegidas, con el fin de conservar la diversidad biológica, asegurar el funcionamiento de los procesos ecológicos esenciales y garantizar la perpetuidad de los sistemas naturales, a través de un manejo sostenible para beneficio de los habitantes del país.

El Sistema de Áreas Naturales Protegidas, está constituida por áreas propiedad del Estado, de las Municipalidades y de entidades autónomas.

Los humedales continentales y artificiales, cráteres, lavas, farallones, lagos y lagunas, arrecifes coralinos y rocosos naturales o artificiales y acantilados forman parte del patrimonio natural del Estado, y mientras no se demuestre titularidad privada, se consideran bienes nacionales. Por lo tanto, el Ministerio calificará y determinará su incorporación al Sistema.

### **1. Áreas Naturales Privadas, Municipales y de entidades Autónomas.**

**Art. 11.** Los particulares, las municipalidades y las entidades autónomas podrán solicitar que inmuebles de su propiedad se establezcan como Áreas Naturales Protegidas o se adhieran a una ya establecida, cuando reúnan las siguientes condiciones:

- a) Que contengan ecosistemas no afectados significativamente por la actividad humana, diversidad biológica significativa o aporte beneficios ambientales a una comunidad o municipio.
- b) Contar con un dictamen técnico de los valores naturales del Área y las aptitudes de la misma.
- c) Que cumplan con lo establecido en esta Ley, su Reglamento y el convenio que para tal efecto se suscriba entre el Ministerio y el interesado.

Las infracciones a la presente Ley se clasifican en leves, graves, y muy graves. Las multas se calcularán en salarios mínimos mensuales, tomando de base el establecido para el comercio e industria en la ciudad de San Salvador.

En toda sanción que se imponga se evaluará el grado de la infracción, considerando la alteración, daño o destrucción de los recursos contenidos en el área natural protegida, las implicaciones de restauración y la capacidad económica del infractor.

En todo caso, siempre que se sancione una infracción de las establecidas en la presente ley, se ordenará al infractor la restauración o reparación del daño causado, señalando un plazo para que se realicen las obras necesarias.

### **2. Infracciones Leves.**

- a) Introducir de manera temporal animales domésticos o ganados de cualquier especie.
- b) Ingresar o acampar sin contar con la autorización correspondiente.
- c) Irrespetar al personal autorizado para el resguardo del lugar.
- d) Negarse a presentar al personal autorizado la correspondiente autorización.
- e) Extraer madera o leña sin la respectiva autorización.
- f) Incumplir la normativa interna del lugar.

Quien incurriere en cualquiera de las infracciones indicadas, será sancionado con multa de uno a diez salarios mínimos mensuales.

### **3. Infracciones Graves.**

- a) Podar árboles, arbustos o cualquier otro tipo de vegetación representativa, sin autorización;
- b) Desarrollar actividades agrícolas no autorizadas;

- c) Realizar cualquier tipo de actividad comercial, sin contar con la respectiva autorización;
- d) Infringir las medidas que se hayan ordenado para prevenir o combatir los incendios en las Áreas naturales protegidas o en sus zonas de amortiguamiento;
- e) Extraer organismos completos o parte de éstos como: hongos, bejucos, lianas, helechos, orquídeas, bromelias, musgos, líquenes, hepáticas y otras especies vegetales; y
- f) Reincidir en al menos una falta leve dentro de un mismo año.

Quienes incurrieren en cualquiera de las infracciones señaladas, serán sancionados con multa de once a cincuenta salarios mínimos mensuales, más la reparación del daño si fuere posible y los gastos en que se incurriere durante el proceso sancionatorio.

#### **4. Infracciones muy Graves.**

- a) Destruir o dañar los recursos naturales existentes en el lugar.
- b) Arrojar o depositar cualquier producto inflamable o contaminante.
- c) Talar árboles, arbustos o cualquier otro tipo de vegetación, sin la correspondiente autorización.
- d) Utilizar en el Área o en la zona de amortiguamiento, agroquímicos que no estén autorizados por la autoridad responsable.
- e) Recolectar, capturar, cazar, pescar o comercializar especímenes de la vida silvestre o sus partes, sin la autorización correspondiente. Se considera agravante cuando la especie estuviere protegida de conformidad a la ley, o en peligro de extinción.
- f) Recolectar o extraer objetos de valor histórico o arqueológico.
- g) Introducir o liberar cualquier especie exótica invasora.
- h) Recolectar o extraer rocas, minerales o fósiles, arrecifes de coral, arena, sedimentos de fondos marinos o estuarios o cualquier otro producto, sin la debida autorización.

- i) Obstruir cauces naturales que impidan el flujo de las aguas.
- j) Realizar modificaciones en el ambiente o causar daño a la diversidad biológica, el paisaje y la captación de agua.
- k) Drenar o desecar humedales.
- l) Alterar, ceder o hacer uso indebido de las autorizaciones extendidas por la autoridad competente.
- m) Ocasionar incendios.
- n) Ocupar o permanecer dentro de un Área natural protegida con fines habitacionales u otros que alteren el estado natural del Área.
- o) Tener o pastar ganado de cualquier especie sin la correspondiente autorización.
- p) Dañar las instalaciones del Área, equipos, materiales u otros bienes propios de la administración.
- q) Utilizar sin la autorización la denominación de “Área Natural Protegida.
- r) Realizar actividades de investigación científica sin el permiso correspondiente; y
- s) Reincidir en una falta grave en un mismo año.

Quien incurriere en cualquiera de las infracciones indicadas será sancionado con multa de cincuenta y uno a dos mil salarios mínimos mensuales, más la reparación del daño si fuere posible y deberá pagar los gastos en que se incurren durante el proceso sancionatorio.

## **2. CONSIDERANDO CONVENIOS Y ACUERDOS.**

El salvador ha firmado convenios tanto a nivel regional como a nivel mundial, entre los más relevantes que vinculan nuestro tema de investigación tenemos:

- a) Convenio del Centro de Coordinación para la Prevención de los Desastres Naturales en América Central (CEPREDENAC).
- b) Convenio Ramsar.

**a) Convenio del Centro de Coordinación para la Prevención de los Desastres Naturales en América Central (CEPREDENAC).**

El CEPREDENAC nació en 1987 como una instancia para la promoción de la cooperación regional en la prevención de los desastres, es un organismo de carácter intergubernamental perteneciente al Sistema de Integración Centro Americana (SICA). La conformación de su instancia directiva, integrada por dos representantes por país, reflejó desde un inicio el equilibrio en cada país entre la participación de dos vertientes: la de organismos de respuesta y la de instituciones técnico-científicas.

El primer Convenio Constitutivo de CEPREDENAC fue firmado en la Ciudad de Guatemala el 29 de octubre de 1993, por los Ministerios de Relaciones Exteriores de Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras, Nicaragua y Panamá. Actualmente se encuentran en proceso de incorporación Belice y República Dominicana.

A iniciativa de CEPREDENAC, nace un Plan Regional de Reducción de Desastres (PRRD), hasta 1998, la situación permaneció así, hasta la ocurrencia del huracán Mitch que vino a realzar la importancia del desarrollo de las capacidades de prevención. Este fenómeno reveló al público lo que antes era asunto de los especialistas: la alta vulnerabilidad de las sociedades centroamericanas frente a las amenazas naturales.

Basándose en los propósitos y objetivos del convenio de 1993, se suscribe un nuevo Convenio Constitutivo para CEPREDENAC el 13 de junio de 2003 en Belice, el cual actualmente ha sido ratificado por los Congresos de 5 países de la Región.

✓ **Plan Regional de Reducción de Desastres (PRRD).**

El PRRD surgió a partir del Marco Estratégico para la Reducción de la Vulnerabilidad y los Desastres en Centroamérica, como una estrategia centroamericana para reducir las vulnerabilidades y el impacto de los desastres en la Región, consolidando esfuerzos políticos y estratégicos para su cumplimiento y apropiación.



En el año 2004, en el taller de Antigua Guatemala, luego de cinco años de iniciativas propias de los países centroamericanos en el marco del PRRD, se evaluaron sus resultados y alcances, recomendando la actualización del mismo a través de:

1. Definir un marco de acción, conforme a la evaluación de las metas del milenio; así como la evaluación del Marco de Acción Hyogo en la III Cumbre Mundial de Reducción de Desastres en el 2015.
2. Desarrollo de una plataforma general del Plan Institucional de CEPREDENAC 2006-2008.
3. Diseño de indicadores que permitan dar el seguimiento y grado de avance del PRRD; como mecanismo de referencia en el ámbito regional y nacional.
4. Diseño de una propuesta metodológica Beneficio-Costo, que recomiende a los tomadores de decisión, que trabajar en prevención reduce los costos que generan las emergencias y post-desastres.
5. Programa de Divulgación y Concienciación, debidamente articulado que acompañe la ejecución del PRRD, permanentemente.

#### **b) Convención Ramsar.**

El convenio Ramsar fue aprobado a nivel mundial el 2 de febrero de 1971, esta Convención fue creada para regir el uso sostenible y conservación de los humedales a nivel mundial. Su nombre deriva de la ciudad iraní en que fue firmada.

El salvador firmó dicho convenio en 1998, y en 1999, el complejo de la laguna El Jocotal fue aceptado dentro de la convención mundial sobre los humedales. Hoy en día El Salvador cuenta con tres lugares registrados en dicho convenio.



**CAPITULO III**  
**“MARCO TEORICO”**

### 3.1 RESEÑA HISTORICA DE LA HIDROLOGÍA COMO CIENCIA.

La hidrología se ha desarrollado como ciencia en respuesta a la necesidad de comprender el complejo sistema hídrico de la Tierra y ayudar a solucionar los problemas de agua.

**La Hidrología** (del griego hydor - agua) es la disciplina científica dedicada al estudio de las aguas de la Tierra, incluyendo su presencia, distribución y circulación a través del ciclo hidrológico, y las interacciones con los seres vivos. También trata de las propiedades químicas y físicas del agua en todas sus fases.

**La Hidrología:** Es la ciencia natural que estudia al agua, su ocurrencia, circulación y distribución sobre y debajo de la superficie terrestre, su relación con el medio ambiente, incluyendo a los seres vivos.

El objetivo primario de la hidrología es el estudio de las interrelaciones entre el agua y su ambiente. Ya que la hidrología se interesa principalmente en el agua localizada cerca de la superficie del suelo, y particularmente en los componentes del ciclo hidrológico. La hidrología se nutre de varias disciplinas como *la Geología* que es la ciencia que estudia la composición, estructura y evolución de la Tierra a lo largo de los tiempos geológicos; *la química* como la ciencia que estudia la composición, estructura y propiedades de la materia, como los cambios que ésta experimenta durante las reacciones químicas; *la edafología* esta es una rama de la ciencia del suelo que estudia la composición y naturaleza del suelo en su relación con las plantas y el entorno que le rodea; *la fisiología vegetal*, en esta ciencia se estudia el funcionamiento de los órganos y tejidos vegetales de las plantas.

La investigación hidrológica es importante para el desarrollo, gestión y control de los recursos de agua. Sus aplicaciones son muchas, incluyendo el desarrollo de sistemas de irrigación, control de inundaciones y erosión de suelos, eliminación y tratamiento de aguas usadas, disminución de la contaminación, uso recreacional del

agua, la conservación de los peces y vida silvestre, la generación hídrica y el diseño de estructuras hidráulicas.

El hidrólogo estudia los procesos fundamentales de transporte para poder describir la cantidad y calidad del agua que se desplaza por el ciclo hidrológico. El ingeniero hidrólogo, o ingeniero de recursos hídricos, se encarga de la planificación, diseño, construcción y operación de los proyectos para el control, uso y gestión de los recursos hídricos. Los problemas del recurso agua también son estudiados por los meteorólogos, oceanógrafos, geólogos, químicos, biólogos, economistas, politólogos, especialistas en matemáticas aplicadas e informática, e ingenieros de varios campos.

El trabajo de los hidrólogos es tan variado como los usos del agua y pueden variar desde proyectos multimillonarios hasta el aconsejar al propietario de una casa sobre sus problemas de drenaje.

### **3.2 EL CICLO HIDROLOGICO.**

Es el movimiento continuo del agua (en cualquiera de sus tres estados) en la atmósfera y en la tierra. Su fuerza motriz se debe a la acción conjunta de la energía solar y la fuerza de gravedad. El sol evapora el agua y los vientos transportan este vapor sobre la tierra o el mar, donde se condensa y se precipita.

Cuando la lluvia cae sobre la tierra, su agua se evapora, fluye por ríos, se infiltra en el suelo y fluye subterráneamente para regresar al mar, o bien es absorbida por las raíces de las plantas, llega a las hojas donde se evapora y vuelve a la atmósfera.

La idea del ciclo hidrológico que hoy nos parece tan intuitiva, durante siglos no fue comprendido por filósofos y científicos creyendo que el ciclo se realizaba al revés; el agua penetraba en la corteza desde el fondo de los océanos y se almacenaba en la profundidad, probablemente en grandes cavernas y ascendían a la superficie por el calor de la tierra hasta las partes más altas de la montaña, surgiendo en las zonas el nacimiento

de los ríos. No se creía posible que el caudal de un gran río fuese producido exclusivamente por la lluvia.

El agua se distribuye desigualmente entre los distintos compartimentos, y los procesos por los que éstos intercambian el agua se dan a ritmos heterogéneos. El mayor volumen corresponde al océano, seguido del hielo glaciar y después por el agua subterránea.

**Tabla N° 3.2.1:** Distribución del agua en la superficie terrestre.

**Fuente:** <http://wikimedia.org>.

Deposito	Volumen (millón de km <sup>3</sup> )	Porcentaje
Océanos	1370	97.25
Casquetes y glaciares	29	2.05
Agua subterránea	9.5	0.68
Lagos	0.125	0.01
Humedad del suelo	0.065	0.005
Atmósfera	0.013	0.001
Arroyo y ríos	0.0017	0.0001
Biomasa	0.0006	0.00004

El ciclo hidrológico se define como la secuencia de fenómenos por medio de los cuales el agua pasa de la superficie terrestre y de las demás masas de agua en la fase de vapor a la atmósfera y regresa en sus fases líquida y sólida (figura 3.1). 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).

Figura N<sup>o</sup> 3.2.1: Componentes del ciclo hidrológico.Fuente: <http://ga.water.usgs.gov>

Los principales procesos implicados en el ciclo hidrológico son:

### 3.2.1 EVAPORACIÓN.

La evaporación es el principal proceso del ciclo hidrológico, mediante el cual, el agua cambia de estado líquido a gaseoso. Diversos estudios han demostrado que los océanos, mares, lagos y ríos proveen alrededor del 90% de humedad a la atmósfera vía evaporación; el restante 10% proviene de la transpiración de las plantas.

### 3.2.2 TRANSPIRACIÓN.

Es el proceso por el cual el agua es llevada desde las raíces hasta pequeños poros que se encuentran en la cara inferior de las hojas, donde se transforma en vapor de agua y se libera a la atmósfera.

◆ **Factores que influyen en la transpiración.**

**1. Factores ambientales:** El aspecto físico del proceso de transpiración, está lógicamente influenciado por los mismos factores ambientales que rigen la evaporación, sin embargo algunos factores meteorológicos, como la iluminación, la temperatura y la humedad de la atmósfera, tienen un doble efecto en la transpiración debido a su influencia en la abertura de las estomas.

En relación al contenido de Humedad en el suelo, existen opiniones contrapuestas respecto a su influencia en la intensidad de la transpiración, de manera que algunos autores indican que ésta es independiente del contenido de humedad hasta que se alcanza el punto de marchitez permanente, mientras que otros suponen que es proporcional a la humedad disponible para las plantas.

**2. Factores fisiológicos:** En su aspecto biológico, la transpiración es afectada por las características de la especie vegetal, edad, desarrollo y tipo de follaje y profundidad radicular. Una de las características de la especie vegetal, que está influida por las condiciones ambientales, es el número de estomas por unidad de área foliar, el cual varía de 7750 a 124000 por centímetro cuadrado, repartidos en una proporción de 3 a 1 entre la superficie inferior y la superior de la hoja. Otra particularidad de la especie vegetal, estrechamente relacionada con el tipo y desarrollo del sistema radicular, es la manera de abastecerse de agua, distinguiéndose 3 grupos, además de las plantas acuáticas o Hidrofitas, éstos son: Mesofitas (especies de las zonas templadas) y Xerófitas (especies de los desiertos), las cuales toman el agua de la zona no saturada del suelo, es decir aprovechan el agua capilar y las Freatofitas que pueden abastecerse alternativamente de la zona no saturada o de la saturada.

◆ **Medición y magnitud de la transpiración.**

PROCEDIMIENTOS DE MEDICION: Las técnicas para cuantificar la transpiración, debido a la dificultad práctica para separarla de la evaporación desde el suelo, en las áreas naturales cubiertas de vegetación, son comúnmente procedimientos de laboratorio, aplicables a muestras pequeñas. De manera general, los dispositivos para medir la transpiración se clasifican en tres tipos:

- a) Dispositivos que miden el agua transpirada.
- b) Dispositivos que miden el cambio de peso en la planta y suelo.
- c) Lisímetros.

Los primeros consisten en colocar una o más plantas en un espacio cerrado, La Transpiración se calcula por el aumento del contenido de humedad del espacio confinado. Debido a la alta humedad que se desarrolla en el recipiente, el método no es muy satisfactorio y está limitado a cortos intervalos de pruebas en pequeñas plantas o porciones de ellas.

Dentro de los dispositivos del segundo tipo se tienen los FITOMETROS y los POTOMETROS. Los primeros son grandes recipientes llenos de suelo en el cual se siembran una o mas plantas, el suelo se llena para evitar la evaporación, entonces la única pérdida de humedad se debe a la transpiración, la cual se determina por medio del peso perdido a diferentes intervalos. Si se suministra agua al suelo y aireación suficiente, se puede estudiar la transpiración durante todo el ciclo de vida de la planta.

Los potómetros son recipientes de menor tamaño llenos de agua, con la que se alimenta un corte de una hoja o tallo, sin embargo es bastante cuestionable la hipótesis de partida, que considera que la transpiración en una planta cortada se mantenga al mismo ritmo que en una planta sin cortar.



### ◆ **Magnitud de la transpiración.**

Las mediciones del agua transpirada, frecuentemente se expresan en dos formas:

- a) En milímetros de agua, que es la lámina resultante de dividir el volumen transpirado entre la superficie cubierta o analizada.
- b) Mediante el coeficiente de transpiración, que es la relación entre el peso de agua consumida y el peso de materia seca producida por la planta (excluidas las raíces por razones prácticas). Su uso es agronómico, pues da idea del rendimiento de las plantas frente a su consumo de agua.

### ◆ **Variaciones de la transpiración.**

#### **Variaciones diurnas.**

Las fluctuaciones diurnas de la transpiración están ligadas a la variación de la temperatura, humedad y particularmente a la intensidad de la luz, una vez llegada la tarde, la transpiración decrece súbitamente y llega a ser prácticamente nula durante la noche, debido al cierre de los estomas de las hojas y volverá a comenzar con la salida del sol.

#### **Variaciones estacionales.**

Las fluctuaciones estacionales están ligadas a la actividad vegetativa de la planta y a las variaciones del poder evaporante de la atmósfera.

### **3.2.3 EVAPOTRANSPIRACIÓN.**

En los estudios hidrológicos, los conceptos evaporación y transpiración están reunidos en uno solo: la evapotranspiración, que es uno de los elementos principales del balance hídrico superficial. Esta unión se debe a que la determinación por separado de estas variables es muy complicada en la práctica, debido a que los instrumentos

utilizados para medirlas representan costos muy elevados, por lo que tratar estas variables como una sola es mucho más práctico.

La evapotranspiración es de esta forma la transferencia de agua desde la tierra a la atmósfera por evaporación desde el agua de la superficie y el suelo, y por transpiración de la vegetación.

La evapotranspiración se divide en: evapotranspiración real, que es aquella que ocurre en las condiciones naturales de humedad del suelo y, evapotranspiración potencial, la cual representa la cantidad de agua que resultaría evaporada y transpirada si las reservas en agua fuesen suficientes para compensar las pérdidas máximas

Dado que para el cálculo del balance hídrico superficial la evapotranspiración real y potencial son las que se utilizan, no se profundiza en el desarrollo de los conceptos de evaporación y transpiración, por lo que a continuación se explicarán de manera general.

La evaporación es el fenómeno físico en que el agua pasa de líquido a vapor, a esto hay que añadirle la sublimación que es el paso del estado sólido a vapor, desde la nieve y el hielo. La transpiración es el fenómeno biológico por el que las plantas pierden agua a la atmósfera. Toman agua del suelo a través de sus raíces, toman una pequeña parte para su crecimiento y el resto lo transpiran.

### ◆ Factores que influyen en la Evapotranspiración

La tasa de evapotranspiración está determinada por el conjunto de factores que regulan la evaporación y la transpiración. Por lo tanto se puede distinguir entre factores físicos y factores fisiológicos.

#### 1. Factores físicos

Los factores físicos se dividen en dos grupos: atmosféricos e hidrogeológicos.

Los factores atmosféricos determinan el poder evaporante en la atmósfera. Estos condicionan casi por si solos la evapotranspiración. La evaporación es el resultado de la

acción del déficit de humedad de aire atmosférico, la temperatura, la velocidad y la turbulencia del viento y la presión barométrica.

Los factores hidrogeológicos condicionan el estado de la superficie evaporante del suelo. La superficie evaporante del suelo interviene a través de sus características físicas, tales como la granulometría, porosidad, la naturaleza litológica, el manto vegetal y la riqueza en agua. Esta última está determinada por la tasa de humedad en superficie, producto de la alimentación a través de las aguas meteóricas o de los acuíferos subterráneos. Hay que destacar la influencia que poseen los factores geográficos, en particular la altitud y las zonas climáticas, que actúan sobre todo por intermedio de las variaciones de los factores meteorológicos: temperatura, presión barométrica, etc.

## 2. Factores fisiológicos

Los factores fisiológicos que condicionan la evapotranspiración son aquellos relacionados con la transpiración: especie vegetal, edad, desarrollo del follaje, profundidad de las raíces, etc.

### ◆ Cálculo de la evapotranspiración.

#### EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL (ETP).

Numerosas ecuaciones nos permiten evaluar la *ETP* con una aproximación suficiente para muchos estudios hidrológicos. Normalmente con estas ecuaciones se calcula la ETP mes a mes para datos medios de una serie de años.

El cálculo de la ETP se llevará a cabo haciendo uso del método de Hargreaves, el cual es el que proporciona mejores resultados para El Salvador, de acuerdo a estudios desarrollados por el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG)

### Método de Hargreaves

Este método permite determinar la evapotranspiración potencial con base en datos climatológicos, para su cálculo son necesarios los valores de temperatura, radiación y humedad relativa. La ecuación es:

$$ETP = 0.0075 \times R_{SM} \times T \quad (3.2.3.1)$$

Donde:

ETP = Evapotranspiración Potencial expresada en milímetros de agua por período de tiempo.

T = Temperatura promedio mensual en grados Fahrenheit

$R_{SM}$  = Radiación solar incidente expresada en milímetros de agua evaporada.

$$R_{SM} = 0.075 \times R_{MM} \times S^{1/2}$$

Donde:

$R_{MM}$  = Radiación extraterrestre en milímetros de agua evaporada (Tabla 3.2.2 de Penman).

S = Porcentaje del posible brillo del sol ( $S = 12.5 \times (100 - H_N)^{1/2}$ )

$H_N$  = Humedad relativa

Tabla N<sup>o</sup> 3.2.3.1: R<sub>A</sub> para el Hemisferio del norte.

Latitud N	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
50°	3.81	6.10	9.41	13.71	15.76	17.12	16.44	14.07	10.85	7.37	4.49	3.22
48°	4.33	6.60	9.81	13.02	15.88	17.15	16.50	14.29	11.19	7.81	4.99	3.72
46°	4.85	7.10	10.21	13.32	16.00	17.10	16.55	14.51	11.53	8.25	5.49	4.27
44°	5.30	7.60	10.61	13.65	16.12	17.23	16.60	14.73	11.87	8.69	6.00	4.70
42°	5.86	8.05	11.00	13.99	16.24	17.26	16.65	14.95	12.20	9.13	6.51	5.19
40°	6.44	8.56	11.40	14.32	16.36	17.29	16.70	15.17	12.54	9.58	7.03	5.68
38°	6.91	8.98	11.75	14.50	16.39	17.22	16.72	15.27	12.81	9.98	7.52	6.10
36°	7.38	9.39	12.10	14.67	16.43	17.16	16.73	15.37	13.08	10.59	8.00	6.62
34°	7.85	9.82	12.44	14.84	16.46	17.09	16.75	15.48	13.35	10.79	8.50	7.18
32°	8.32	10.24	12.77	15.00	16.50	17.02	16.76	15.58	13.63	11.20	8.99	7.76
30°	8.81	10.63	13.14	15.17	16.53	16.95	16.78	15.68	13.90	11.61	9.49	8.31
28°	9.29	11.09	13.39	15.26	16.48	16.83	16.68	15.71	14.08	11.95	9.90	8.79
26°	9.79	11.50	13.65	15.34	16.43	16.71	16.58	15.74	14.26	12.30	10.31	9.27
24°	10.20	11.89	13.90	15.43	16.37	16.59	16.47	15.78	14.45	12.64	10.71	9.73
22°	10.70	11.30	14.16	15.51	16.32	16.47	16.37	15.81	14.64	12.98	11.11	10.20
20°	11.19	12.71	14.41	15.60	16.27	16.36	16.27	15.85	14.83	13.31	11.61	10.68
18°	11.60	13.02	14.60	15.62	16.11	16.14	16.09	15.79	14.94	13.58	12.02	11.12
16°	12.00	13.32	14.60	15.64	15.99	15.92	15.91	15.72	15.04	13.85	12.43	11.57
14°	12.41	13.62	14.89	15.65	15.83	15.70	15.72	15.65	15.14	14.12	12.84	12.02
12°	12.82	13.93	15.08	15.66	15.67	15.48	15.53	15.58	15.24	14.38	13.25	12.47
10°	13.22	14.24	15.26	15.68	15.51	15.26	15.34	15.51	15.34	14.66	13.56	12.88
8°	13.58	14.50	15.34	15.60	15.29	14.99	15.00	15.39	15.34	14.81	13.86	13.27
6°	13.94	14.76	15.42	15.51	15.07	14.71	14.85	15.23	15.34	14.96	14.17	13.66
4°	14.30	15.01	15.50	15.43	14.85	14.44	14.59	15.07	15.34	15.11	14.48	14.05
2°	14.65	15.26	15.59	15.34	14.63	14.17	14.33	14.91	15.34	15.27	14.79	14.44
0°	15.00	15.51	15.68	15.26	14.41	13.90	14.07	14.75	15.34	15.42	15.09	14.83

### EVAPOTRANSPIRACIÓN REAL (ETR)

Se trata de ecuaciones establecidas empíricamente comparando las precipitaciones y la escorrentía total de numerosas cuencas, se produce realmente en las condiciones existentes en cada caso.

#### Método de Turc

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \frac{P^2}{L^2}}} \quad (3.2.3.2)$$

Donde:

ETR = Evapotranspiración real en mm/año

P = Precipitación en mm/año

$L = 300 + 25t + 0.05t^3$

t = Temperatura media anual en °C

### Método de Coutagne

$$ETR = P - XP^2 \quad (3.2.3.3)$$

Donde:

ETR = Evapotranspiración real en mts/año

P = Precipitación en mts/año

$$X = \frac{1}{0.8 + 0.14(t)} \quad (3.2.3.4)$$

Donde:

t = Temperatura media anual en °C

La ecuación 3.3 solo es válida para valores de P (en m/año) comprendidos entre 1/8X y 1/2X

#### ◆ Medida de la Evapotranspiración.

La evapotranspiración se mide mediante lisímetros, los cuales son instalaciones experimentales, que utilizan el suelo mismo como aparato de medición. Permiten evaluar el balance hidrológico, y por tanto sus principales elementos: la infiltración y la evapotranspiración real o potencial en las condiciones naturales.

Existen actualmente varios tipos de lisímetros, que se pueden agrupar en:

- a) Lisímetros de superficie
- b) Lisímetros de pesada
- c) Lisímetros subterráneos

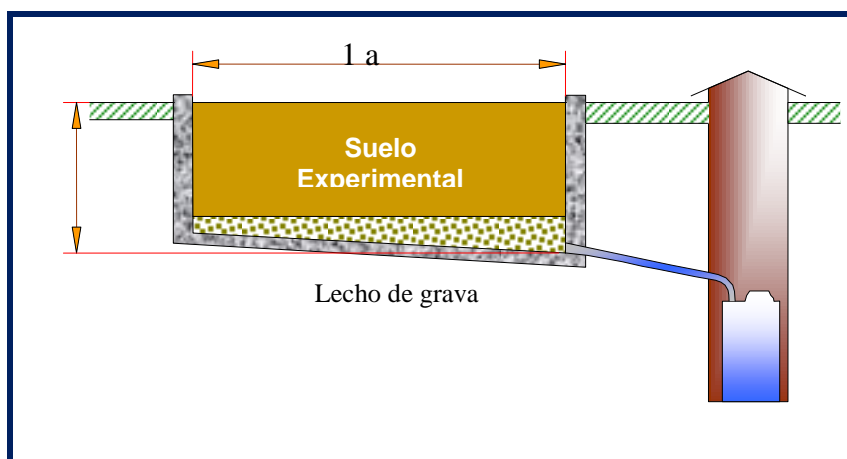
**a) Lisímetros de superficie.**

Según el tipo de construcción, se puede distinguir:

**1. Cajas lisimétricas**

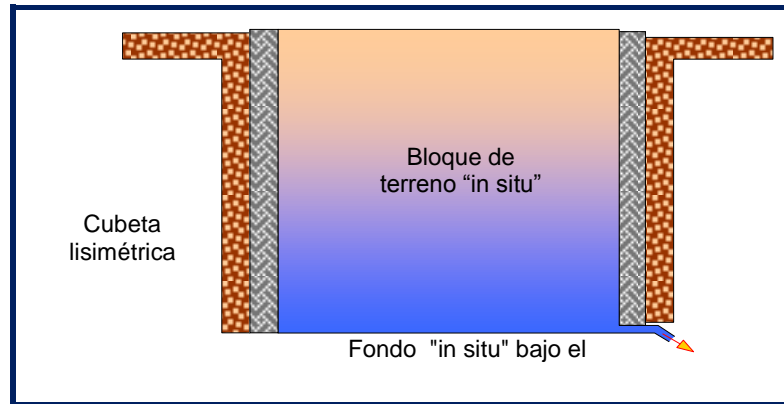
Son las más comunes. Se trata de una cubeta impermeable, de paredes verticales, generalmente de cemento, enterrada en el suelo (Figura 3.2.3.1). La cubeta se llena con el suelo a estudiar hasta el nivel del terreno, con un lecho de grava en la base. Un sistema de drenaje, instalado en el fondo o a veces a diversas alturas, recoge las aguas de infiltración.

**Figura N° 3.2.3.1:** Cajas lisimétricas.

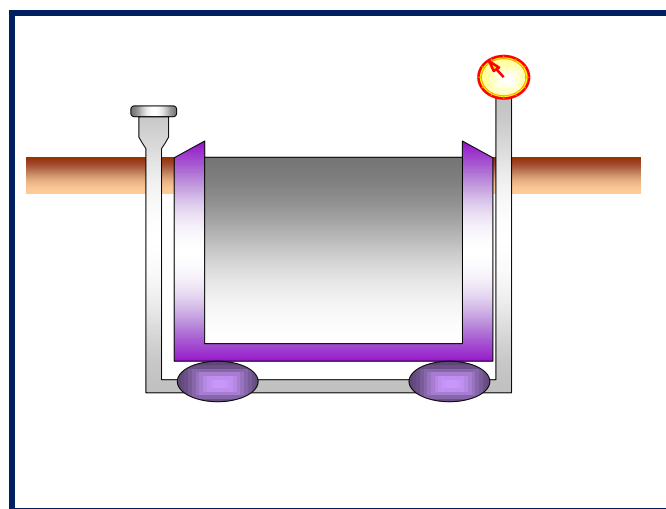
**2. Lisímetros monolitos.**

Los lisímetros monolitos evitan todo cambio en la disposición del suelo. Esta técnica plantea delicados problemas de instalación. Por lo general se levanta un bloque de terreno por medios mecánicos, y se coloca en una cubeta lisimétrica, pueden ser de sección cuadrada o rectangular, a veces circular. Su profundidad alcanza de 1 a 3 m.

Están constituidos por terreno no cambiado de lugar. El lisímetro se construye, alrededor de un bloque de terreno “in situ” (Figura 3.2.3.2).

**Figura N° 3.2.3.2:** Esquema de lisímetro monolito.**b) Lisímetros de pesada**

La evaluación del balance exige mediciones precisas de las variaciones de almacenamiento de agua en el suelo. El método más preciso para proceder a estas mediciones consiste en pesar el lisímetro a intervalos de tiempo dados. Con este fin se construyen los lisímetros de pesada. (Figura 3.2.3.3).

**Figura N° 3.2.3.3:** Lisímetro de pesada.



**c) Lisímetros subterráneos.**

El fin de los lisímetros subterráneos es proporcionar datos sobre la infiltración en profundidad, hasta el acuífero, ya que los lisímetros de superficie sólo dan mediciones entre 1 y 3 m. Sin embargo, los resultados son despreciables, ya que en todos los casos, la cantidad de agua recogida es muy pequeña y no permite mediciones válidas de la infiltración.

**3.2.4 CONDENSACIÓN.**

Es el proceso por el cual el vapor de agua en el aire se transforma en agua líquida; es la transformación del agua del estado gaseoso al líquido, debido a cambios de presión y temperatura.

Aunque el paso de gas a líquido depende, entre otros factores, de la presión y de la temperatura, generalmente se llama condensación al tránsito que se produce a presiones cercanas a la ambiental. Cuando se usa una sobrepresión elevada para forzar esta transición, el proceso se denomina licuefacción.

El proceso de condensación suele tener lugar cuando un gas es enfriado hasta su punto de rocío. Sin embargo este punto también puede ser alcanzado variando la presión. El equipo industrial o de laboratorio necesario para realizar este proceso de manera artificial se llama condensador

La ciencia que estudia las propiedades termodinámicas del aire húmedo y los efectos que tiene la variación de la humedad atmosférica sobre los materiales y el ser humano. La condensación es un proceso regido con los factores en competición de energía y entropía. Mientras que el estado líquido es más favorable desde el punto de vista energético, el estado gas es el más antrópico.

Figura N° 3.2.4.1: Proceso de condensación



### 3.2.5 PRECIPITACIÓN.

Es la caída del agua como efecto de la gravedad, principalmente en forma de lluvia, aunque también cae como nieve y granizo. La formación de precipitación requiere que el vapor de agua o humedad atmosférica ascienda a las capas superiores de la atmósfera, y al encontrar temperaturas más bajas se condensa formando las nubes, las que son arrastradas por los vientos, algunas permanecen sobre los océanos y, otras, son trasladadas hacia el interior de los continentes. Las pequeñas gotas de agua en la atmósfera comienzan a hacerse más grandes cuando disminuye la temperatura y se condensan, este proceso da origen a la precipitación. Puesto que las condiciones atmosféricas varían mucho geográfica y estacionalmente, son posibles diferentes formas de precipitación. Esto incluye básicamente: la lluvia, nieve y granizo.

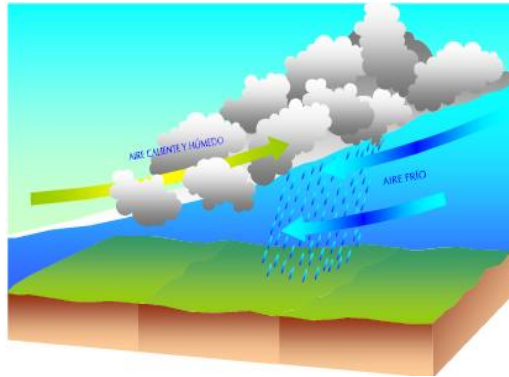
## FORMAS DE PRECIPITACIÓN.

- 💧 **Llovizna:** Consiste en gotas de agua de diámetro inferior a 0.05 mm. y su intensidad es inferior a 1 mm/hora
- 💧 **Cellisca:** Consiste en gotas de lluvia helada por enfriamiento durante su caída en el aire a temperaturas inferiores al punto de congelación.
- 💧 **Copo de nieve:** Está compuesto de cristales de hielo reunido por fusión.
- 💧 **Nieve:** Se forma de cristales de hielo cuando el vapor de agua se congela en diminutas partículas sólidas en niveles donde las temperaturas son muy inferiores a 0° C. Los cristales de hielo se van uniendo para formar los copos de nieve. Cuando los copos de nieve tienen suficiente peso, caen al suelo. Su tamaño, forma y concentración depende de la temperatura de donde se formen y por donde pasan y tienen una gran variedad de formas, pero todos tienen la característica de ser hexagonales.
- 💧 **Granizo:** Es una precipitación en forma de bolas o formas irregulares de hielo de mas de 5 mm de diámetro reunidos o formados por fusión alterna al ser transportados hacia arriba o abajo por corrientes de aire muy turbulentas.

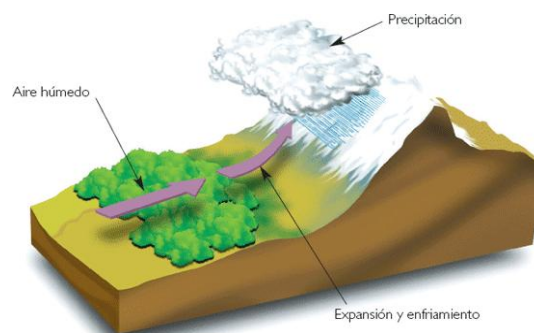
## TIPOS BÁSICOS DE PRECIPITACIÓN.

### Precipitación Convectiva:

Tiene su origen en la inestabilidad de una masa de aire más caliente que las circundantes. La masa de aire caliente asciende, se enfría, se condensa y se forma la nubosidad de tipo cumuliforme, origen de las precipitaciones en forma de chubascos o tormentas. El ascenso de la masa de aire se debe, generalmente, a un mayor calentamiento en superficie. Este tipo de precipitación es clásica en zonas tropicales y también es característico de las regiones templadas en los períodos cálidos. Son las típicas lluvias de verano, las cuales generalmente son de corta duración, pero de gran intensidad.

**Figura N° 3.2.5.1:** Precipitación convectiva.**Precipitación Orográfica:**

Es la producida por el ascenso de una columna de aire húmedo al encontrarse con un obstáculo orográfico, como una montaña. En su ascenso el aire se enfría hasta alcanzar el punto de saturación del vapor de agua, y una humedad relativa del 100%, que origina la lluvia. La orografía juega un papel importante en la cantidad, intensidad, distribución espacial y duración de la precipitación. En Nueva Zelanda se dan algunas de las precipitaciones más intensas del planeta, especialmente en algunos puntos muy localizados de los llamados Alpes Neocelandeses, la mayor parte de las cuales sobre el lado de barlovento de la Isla Sur, mientras que el lado de sotavento es mucho más seco.

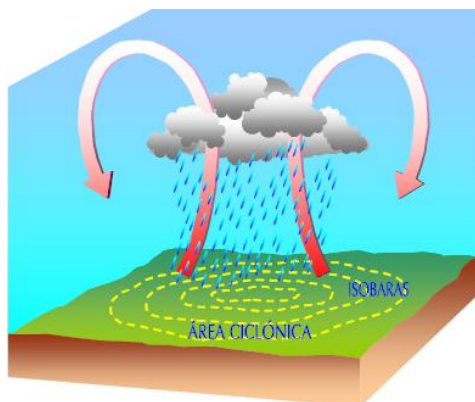
**Figura N° 3.2.5.2:** Precipitación orográfica.

**Precipitación Ciclónica:**

Está asociada al paso de los ciclones y ligada a los planos de contacto entre masas de aire de diferentes temperaturas y contenidos de humedad. El levantamiento de aire se origina por convergencia horizontal en la entrada de la masa de aire en un área de baja presión.

Están asociadas a las superficies de contacto entre masas de aire de diferente temperatura y humedad. Este fenómeno produce habitualmente precipitaciones importantes y prolongadas. Esta precipitación se produce en todas partes de la tierra. Se da en el mar caribe y en el océano pacífico, entre otros. Se presentan dos casos: frontal y no frontal. La precipitación frontal puede ocurrir en cualquier depresión barométrica, resultando el ascenso debido a la convergencia de masas de aire que tienden a rellenar la zona de baja presión. Se asocia a un frente frío o a un frente cálido. En los frentes fríos el aire cálido es desplazado violentamente hacia arriba por el aire frío, dando lugar a nubosidad de gran desarrollo vertical acompañada de chubascos que a veces son muy intensos, así como de tormentas y granizo. La precipitación del frente frío es generalmente de tipo tormentoso, extendiéndose poco hacia delante del frente. En los frentes cálidos el aire caliente asciende con relativa suavidad sobre la cuña fría, en general de escasa pendiente, dando lugar a una nubosidad más estratiforme que en el frente frío y, por lo tanto, a lluvias y lloviznas más continuas y prolongadas, pero de menor intensidad instantánea.

Figura N° 3.2.5.3: precipitación ciclónica.



La precipitación ciclónica se divide en dos formas:

#### **1 – precipitación ciclónica frontal:**

Ocurre cuando dos masas de aire que convergen una en ascenso y otra en descenso tienen diferentes temperaturas y densidades, por lo tanto el aire más caliente y menos denso es forzado a ascender produciendo así el enfrentamiento, condensación y la precipitación.

#### **2 – precipitación ciclónica no frontal:**

Ocurre cuando el ascenso de aire caliente es causado por la convergencia horizontal de dos masas de aire que tienen diferentes temperaturas y densidades, y que están en una zona de baja presión forzando la elevación del aire caliente sobre el más frío produciendo el enfriamiento, condensación y la precipitación.

### **MEDICIÓN DE LA PRECIPITACIÓN.**

Uno de los factores del ciclo hidrológico que se puede medir con mayor precisión es la precipitación en forma de lluvia; entre los instrumentos destinados para tal fin se tienen: El Pluviómetro y El Pluviógrafo.

#### **1. Pluviómetro**

Instrumento que sirve para medir la cantidad de agua precipitada en un lugar determinado. El pluviómetro recoge el agua atmosférica en sus diversos estados (lluvia,

nieve), la cantidad total, es medida por la altura en milímetros, y se denomina precipitación. Para los estados sólidos, las mediciones se llevan a cabo una vez alcanzado el estado líquido.

Para realizar las mediciones se dispone de una probeta graduada donde se efectúan las lecturas directamente en milímetros o en litros por metro cuadrado. Está formado por un vaso cilíndrico que recoge el agua que le aporta el embudo o probeta graduada. Cada 12 horas se vacía el recipiente en una probeta graduada con una sección diez veces menor que la de recepción, con lo que es posible establecer una relación entre la altura en la probeta y la precipitación en milímetros por metro cuadrado (Figura 3.2.5.4).

**Figura N<sup>o</sup> 3.2.5.4:** Pluviómetro.



## **2. Pluviógrafo.**

Este es un aparato registrador que sirve para registrar en forma continua la cantidad total y la duración de lluvia caída en milímetros (mm), de los registros puede

definirse no sólo la altura de la precipitación caída sino también, cuanto ha caído, permitiendo analizar la distribución de la lluvia en el tiempo.

El receptor del pluviógrafo va unido a una caja cilíndrica de mayor diámetro y de una altura de unos 110 cms, en la que se aloja debidamente protegido el sistema del aparato, y una jarra colectora

El agua recogida en el receptor pasa por un embudo y un tubo, el mecanismo registrador, constituido por un cilindro en cuyo interior hay un flotador que se desplaza verticalmente dispuesto, va el sistema inscriptor, un brazo de palanca con una pluma que registra en la banda, colocada sobre un tambor con un sistema de relojería, las precipitaciones recogidas. El sistema de descarga del cilindro en que se aloja el flotador es de sifón.

La instalación del pluviógrafo debe guardar las mismas precauciones que las del pluviómetro tratando de que el agua recogida represente lo mejor posible la presentación caída en el área circundante. El emplazamiento ha de estar especialmente protegido de los efectos del viento.

La altura de la boca del pluviógrafo será de 1m 50 cms, sobre el suelo, y su superficie quedará perfectamente horizontal, es muy importante la nivelación del aparato, para que su funcionamiento sea correcto.



**Figura N° 3.2.5.5: Pluviógrafo.**

### **3.2.6 INFILTRACIÓN.**

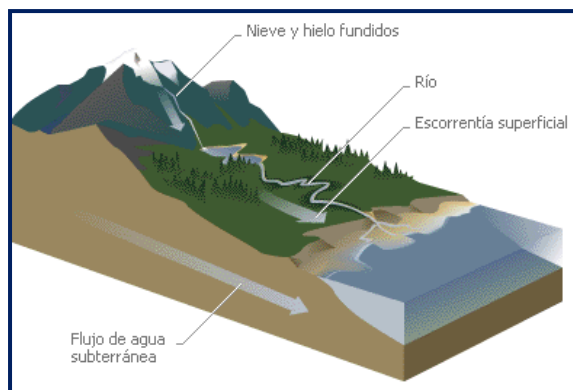
La infiltración es el proceso por el cual el agua superficial se introduce en las capas internas del suelo debido básicamente a las fuerzas gravitatorias, aunque también intervienen fuerzas de tipo capilar así como otras de naturaleza más compleja como química, entre otros. Debe distinguirse de la percolación, que es el movimiento del agua dentro del suelo. Sin embargo los dos fenómenos están íntimamente relacionados ya que la infiltración no puede ocurrir en forma continua a menos que la percolación provea suficiente espacio en la capa superficial del suelo para el agua infiltrada.

### **3.2.7 ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL O ESCORRENTÍA.**

El escurrimiento superficial es el flujo por gravedad, sobre el suelo, de las aguas meteorológicas que han escapado a la infiltración y la evapotranspiración. Este escurrimiento es afectado por las características de las precipitaciones y del suelo. La lluvia es el factor primario que determina las corrientes de agua. El escurrimiento va siempre en retraso con relación a la lluvia que lo produce, dependiendo de las

características del área drenable. Gran parte de la lluvia que cae durante la primera parte de una tormenta se almacena en la cobertura vegetal como intercepción, y en las irregularidades del terreno, como almacenaje de depresión. A medida que continúa la lluvia, la superficie del suelo se cubre con una película de agua conocida como retención superficial y comienza el temporalmente en camino a los ríos.

**Figura N° 3.2.7.1: Escorrentía superficial.**  
**Fuente:** Microsoft Encarta 2008.



## MEDICIÓN DEL AGUA SUPERFICIAL.

### ✚ Nivel de superficie del agua.

Las mediciones de nivel de superficie del agua incluyen niveles picos (de agujeros que permiten la entrada de agua. Dentro del tubo se coloca una pequeña cantidad de corcho, el cual flota a medida que el agua sube y se adhiere a la mira o escala en el nivel de agua máximo.

Las observaciones manuales del nivel del agua se hacen utilizando miras, las cuales son tablas graduadas que se colocan cerca de la superficie del agua, o utilizando

aparatos de sondeo que señalan el nivel que alcanza la superficie del agua, tales como un peso en un alambre suspendido desde un puente sobre la superficie de un río.

Elevación máxima de crecientes) y niveles como función del tiempo. Estas mediciones pueden hacerse en forma manual o automática. Los medidores de nivel máximo o maxímetros se utilizan para obtener un registro del nivel máximo de creciente en lugares donde no existen medidores registradores o limnómetros. Un medidor de nivel máximo está compuesto por una mira o escala situada dentro de un tubo que tiene pequeños

#### ✚ Velocidad del flujo.

La velocidad de flujo en un río puede medirse utilizando un correntómetro. Los correntómetros son artefactos provistos de una hélice que se coloca en el flujo, en los que la velocidad de rotación de la hélice y la velocidad del flujo son proporcionales (véase la figura 3.2.7.2).

**Figura N<sup>o</sup> 3.2.7.2:** Correntómetro tipo molinete.



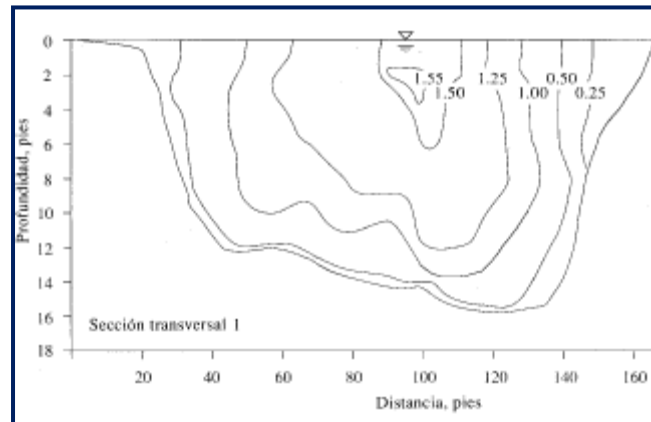
El correntómetro puede sostenerse con la mano en el flujo de una corriente pequeña, tenerse suspendido desde un puente o desde una tarabita en una corriente más grande, o bajarse desde la proa de un bote (véase la figura 3.2.7.3).

**Figura N<sup>o</sup> 3.2.7.3:** Correntómetro suspendido desde un bote y desde un puente.  
**Fuente:** Servicio Nacional de Estudios Territoriales (SNET)



La velocidad de flujo varía con la profundidad en una corriente. La figura 3.2.7.4 muestra las isovelas (líneas de igual velocidad) para secciones de un río. La velocidad crece desde 0 en el lecho a un máximo cerca de la superficie, con un valor promedio de alrededor de 0.6 de la profundidad. Una práctica estándar del U.S. Geological Survey es medir la velocidad a 0.2 y 0.8 de la profundidad cuando ésta es mayor de 2 pies, y promediar las dos velocidades para determinar la velocidad media de la sección vertical. Para ríos pocos profundos y en ríos profundos cerca de las bancas donde las profundidades son menores de 2 pies, la medición de velocidad se hace a 0.6 de la profundidad. En algunas ocasiones es deseable conocer el tiempo de tránsito del flujo desde un lugar a otro localizado a cierta distancia aguas abajo, tal vez unos cuantos días en tiempo de flujo. Para esto se utiliza un cuerpo flotante el cual es movido por el agua aproximadamente a su velocidad promedio.

**Figura N° 3.2.7.4:** Perfil de velocidades con sus respectivas isovelas.  
**Fuente:** Hidrología Aplicada, Ven Te Chow.



### ✿ Caudal.

El caudal no se registra directamente, a pesar de que esta variable es tal vez la más importante en los estudios hidrológicos.

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 la siguiente ecuación:

$$Q = \sum_{i=1}^n V_i d_i \Delta w_i \quad (3.2.7.1)$$

Donde:

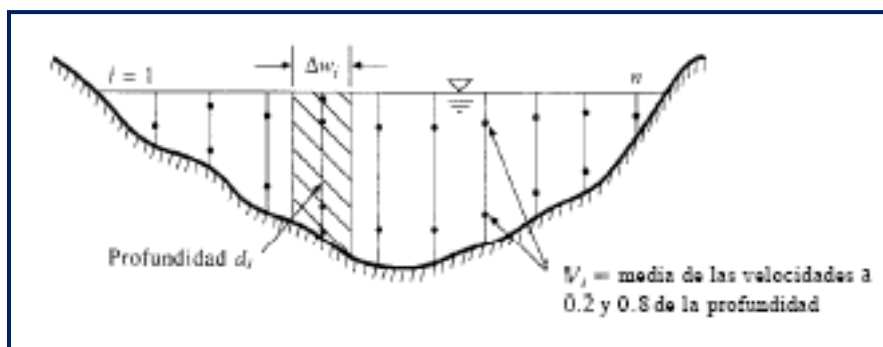
$V_i$ : Velocidad media de las secciones, tomadas a 0.2 y 0.8 de la profundidad.

$d_i$ : Profundidad.

$\Delta w_i$ : Intervalos de lectura a lo largo de la línea de marcación.

Las mediciones representan valores promedio a lo largo de un ancho  $\Delta w_i$  de la corriente, véase la figura 3.2.7.5.

**Figura N° 3.2.7.5:** Cálculo del caudal utilizando la información de un aforo.  
**Fuente:** Hidrología Aplicada, Ven Te Chow.



### FACTORES QUE INFLUYEN EN LA ESCORRENTÍA SUPERFICIAL.

Los factores que afectan la escorrentía superficial pueden clasificarse en tres grupos:

- Factores climáticos.
- Factores fisiográficos.
- Factores humanos.

1 - Los factores climáticos son aquellos que dependen de condiciones meteorológicas, especialmente la precipitación. Entre estos podemos mencionar.

#### ❖ Intensidad de la precipitación.

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

**❖ Duración de la precipitación.**

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

**❖ Precipitaciones anteriores.**

Si ha llovido mucho anteriormente, la humedad del suelo será mayor, la infiltración será menor y, por lo tanto la escorrentía superficial será mayor.

2 – Los factores fisiográficos son aquellos que dependen de las características físicas de la cuenca bajo estudio. Entre estos podemos mencionar.

**❖ Extensión de la cuenca.**

A mayor extensión del área tributaria, la escorrentía superficial tendrá a ser mayor por el efecto físico de la cuenca.

**❖ Uso del suelo.**

En terrenos cultivados o en áreas construidas, la tierra está en condiciones no naturales puesto que en áreas urbanas hay un aumento de áreas impermeables y en áreas cultivadas con mal manejo generalmente se reduce la infiltración y ocurre un aumento de los volúmenes de escorrentía superficial, lo que produce mayor caudal.

**❖ Permeabilidad del suelo.**

Este es un elemento que está en relación directa con la facilidad o dificultad para retener o soltar agua.

3 – Los factores humanos son aquellos que están relacionados con la actividad del hombre.

❖ **Obras hidráulicas construidas en la cuenca.**

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

❖ **Rectificación de ríos.**

Se puede rectificar un río y esto aumenta la velocidad de la escorrentía superficial en el tramo rectificado.

## **VARIABLES QUE INTERVIENEN EN EL ANÁLISIS DE LA ESCORRENTÍA SUPERFICIAL.**

### **1 – Caudal.**

El caudal, definido como el volumen de escorrentía superficial por unidad de tiempo,  $Q = V/t$ , es la principal variable que caracteriza la escorrentía superficial. Se expresa en  $m^3/s$  o  $l/s$ .

### **2 – Tiempo de concentración ( $T_c$ ).**

El tiempo de concentración es el tiempo que tarda en recorrer una gota de agua desde el punto más alejado de la cuenca hasta la salida de la misma, sin encontrar obstrucción a lo largo del recorrido.

A continuación se presentan varias ecuaciones para determinar el tiempo de concentración, las cuales están en función de varias características físicas de la cuenca:



**a) Formula de Kirpich (1940).**

$$T_c = 0.01947 \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}} \quad (3.2.7.2)$$

Donde:

$T_c$ : Tiempo de concentración en minutos.

L: Longitud del cauce en metros.

S: Pendiente promedio de la cuenca.

**b) Formula de Giandotti.**

$$T_c = \frac{\sqrt{A_c} + 1.5L_c}{0.85 \times \sqrt{H_m}} \quad (3.2.7.3)$$

Donde:

$T_c$ : tiempo de concentración de la cuenca (hr.)

$A_c$ : Área de la cuenca ( $\text{Km}^2$ )

$L_c$ : longitud del cauce más largo (km.)

$H_m$ :  $(H_{\max} + H_{\min})/2$

**c) Formula de Pickering.**

$$T_c = \left( \frac{0.87L^3}{H} \right)^{0.385} \quad (3.2.7.4)$$

Donde:

$T_c$ : Tiempo de concentración en hr.

L: Longitud del cauce mas largo en km.

H: Diferencia de elevación en metros entre el punto de inicio del cauce y la divisoria de la cuenca en el punto de interés.

**3 – Coeficiente de escorrentía (C).**

Una de las variables más importantes en el cálculo de caudales y del comportamiento hidrológico de las cuencas, es el coeficiente de escorrentía “C”, ya que este define la relación existente entre el volumen de agua escurrida y el volumen de agua precipitada sobre la zona.

Un coeficiente de escorrentía también puede definirse como la relación entre la escorrentía y la precipitación sobre un periodo de tiempo dado.

Por lo tanto el conocimiento del valor de C es una variable básica para calcular en forma indirecta la escorrentía en función de las características físicas, geológicas, de uso de suelo y cobertura vegetal de la zona de estudio.

Las condiciones del tipo de terreno están definidas en función de la permeabilidad del mismo, éstas se determinan en base a un mapa geológico de la región y la evaluación de la cobertura vegetal se realiza mediante un mapa de uso de suelo a nivel nacional, elaborado por el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN) la División de Cuencas Hidrográficas del Instituto Salvadoreño de Recursos Naturales, el cual permite obtener una información bastante aproximada de la cobertura vegetal.

Una manera de encontrar el coeficiente de escorrentía es haciendo uso del nomograma propuesto por Ven-Te-Chow (ver anexos), para usar este diagrama es indispensable conocer la pendiente del terreno, tipo de suelo y el nivel de cobertura vegetal.

#### **4 – Periodos de retorno.**

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

### **MÉTODOS PARA MEDIR LA ESCORRENTIA SUPERFICIAL.**

**Aforos Directos:** Entre los aforos directos podemos mencionar:

#### **a) Aforo por medida de velocidades (molinetes)**

El principio de la medición de velocidad con molinete es el siguiente: Supóngase un molinete puesto en un punto de una corriente que tiene una velocidad V. La longitud

S, es el recorrido de una partícula fluida moviéndose a lo largo del contorno completo de la línea que determina una vuelta de la hélice. La situación es análoga al suponer quieta el agua y el molinete desplazándose a través de ésta con velocidad V. Para un desplazamiento S, la hélice también dará una vuelta.

$$\text{Para un movimiento uniforme, } V = \frac{S}{t} \quad (3.2.7.5)$$

El espacio, S, recorrido por la hélice, o por la partícula líquida a través de ésta, se representa por el número de rotaciones, N, que da el molinete en t segundos.

$$\text{Luego } V = \frac{N}{t} \quad (3.2.7.6)$$

Como existen fricciones en las partes mecánicas del aparato, es necesario introducir un coeficiente de corrección, b.

$$\text{Entonces } V = b * \frac{N}{t} \quad (3.2.7.7)$$

Y haciendo  $n = \frac{N}{t}$ , la frecuencia de giro, se tiene:

$$V = b * n \quad (3.2.7.8)$$

Con la sensibilidad del aparato se hace sentir a partir de determinada velocidad mínima, a, que en general, es del orden de 1 cm/s, por debajo de la cual el aparato no se mueve, la ecuación del aparato se transforma en:

$$V = a + b * n \quad (3.2.7.9)$$

Ecuación que corresponde a una línea recta. Los aparatos vienen con su respectiva ecuación de calibración, dependiendo del tipo de molinete y de la casa productora, o tabuladas las velocidades en función del número de revoluciones por minuto.

El procedimiento se basa en medir la velocidad del agua y aplicar la ecuación:

$$Q = AV \quad (3.2.7.10)$$

Donde:

Q = Caudal de agua, expresada en m<sup>3</sup>/s

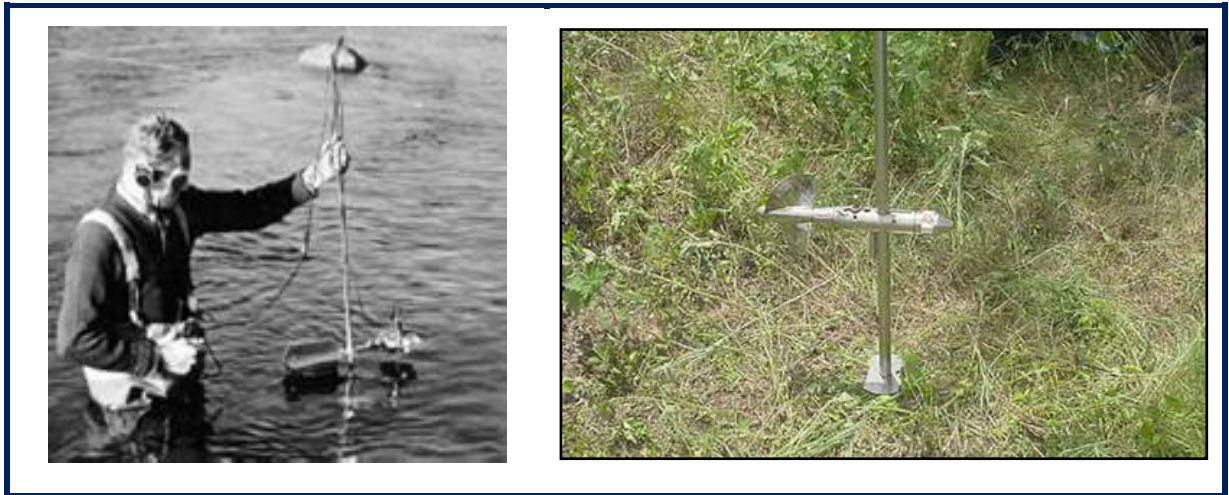
A = Área de la sección transversal del río o quebrada, expresada en m<sup>2</sup>

V = Velocidad del flujo, expresada en m/s

El molinete mide la velocidad de la corriente en varios puntos de la misma vertical y en varias verticales de la sección del cauce. A la vez que se miden las velocidades se mide la anchura exacta del cauce y la profundidad en cada vertical, lo que permite establecer la sección con bastante precisión.

En las corrientes superficiales se montan pequeños molinetes sobre barras que sostienen operarios que caminan por el agua (Figura 3.2.7.6).

**Figura N° 3.2.7.6:** Molinetes usados en corrientes superficiales.  
**Fuente:** SNET



Cuando hay que medir caudales de una avenida en grandes ríos, las lecturas se toman desde un puente (Figura 3.2.7.7) o instalando un cable-canastilla suspendido por encima del nivel máximo de la avenida (Figura 3.2.7.8.); el molinete se baja por medio de cables con pesas para retenerlo contra la corriente del río.

**Figura N° 3.2.7.7:** Molinete por suspensión desde un puente.  
**Fuente:** SNET



**Figura N° 3.2.7.8:** Molinete por suspensión desde un cable-canastilla.  
**Fuente:** SNET



### **b) Aforos químicos**

El método consiste en inyectar una sustancia de concentración conocida a un cauce, se diluye en la corriente, y aguas abajo se toman muestras y se analizan, cuanto mayor sea el caudal, mas diluidas estarán las muestras analizadas.

### **Ventajas e inconvenientes de los aforos químicos.**

Ventajas:

- ✓ No se produce perdida de carga
- ✓ No ofrece dificultad al paso del agua
- ✓ Ecuaciones sencillas y de fácil resolución
- ✓ Útil en puntos donde no es idóneo utilizar molinete (río con flujo turbulento y poca profundidad)

Inconvenientes:

- ✓ Al introducir un trazador al agua del río existe la posibilidad de alterar su composición química, de manera que si la sustancia es nociva puede provocar un impacto en el ecosistema del río
- ✓ Se deben tomar y analizar muestras de agua con una alta fiabilidad
- ✓ Es una medida puntual como es el caso del molinete.

### **Aforos Indirectos.**

Son aquellos en los que se mide el nivel del agua en el cauce, y a partir de ese nivel se estima el caudal.

**Los aforos indirectos se clasifican en:**

#### **a) Aforo por medida del nivel de agua.**

La medida de la altura de la lámina de agua se realiza por medio de una mira graduada llamada limnómetro (Figura 3.2.7.9), la cual está graduada en centímetros y sujeta firmemente en el suelo.

Las medidas realizadas por este método son económicamente viables, pero su principal problema es la existencia de errores por cambio en las condiciones de la sección.

**Figura N° 3.2.7.9:** Limnímetro.  
**Fuente:** SNET



**b) Limnigrafos.**

Miden el nivel guardando un registro grafico o digital del mismo a lo largo del tiempo (Figura 3.2.7.10). El gráfico que proporcionan (altura de la lámina de agua en función del tiempo) se denomina limnigrama.

**Figura N° 3.2.7.10:** a) Limnógrafo mecánico. b. Limnógrafo en estación Hidrométrica automática.  
**Fuente:** SNET





### c) Aforos en una sección de control

En puntos donde el caudal no es muy profundo se pueden realizar obras que generen una sección donde sea calculable por medio de ecuaciones.

Uno de los métodos artificiales utilizados es el del vertedero triangular de pared delgada, con el cual se puede obtener mayor precisión en la estimación del caudal a partir de la altura del agua. (Figura 3.2.7.11).

**Figura N° 3.2.7.11:** Aforo en una sección de control.  
**Fuente:** SNET



## REPRESENTACION DE LA ESCORRENTIA.

### Hidrograma

Es un gráfico que muestra la variación en el tiempo de alguna información hidrológica tal como: nivel de agua, caudal, carga de sedimentos, etc. para un río, arroyo o canal, si bien típicamente representa el caudal frente al tiempo. Éstos pueden ser hidrogramas de tormenta e hidrogramas anuales, los que a su vez se dividen en perennes y en intermitentes.

Un Hidrograma permite observar:

- las variaciones en la descarga a través de una tormenta, o a través del año hidrológico
- el pico de escorrentía (caudal máximo de la avenida)
- el flujo de base o aporte de las aguas subterráneas al flujo
- las variaciones estacionales de los caudales si se grafica un periodo de tiempo de uno o varios años.

Los hidrogramas son útiles, entre otras cosas, para comparar los tiempos de descarga y caudales pico de varias corrientes o cuencas hidrográficas, para así conocer las diferencias entre sus capacidades de respuesta ante avenidas.

#### **Partes de un Hidrograma.**

Aunque las formas de los hidrogramas producidos por tormentas particulares varían no solo de una cuenca a otra, sino también de tormenta a tormenta, es posible, en general, distinguir las partes que componen un hidrograma (Figura 3.2.7.12), consiste de tres partes:

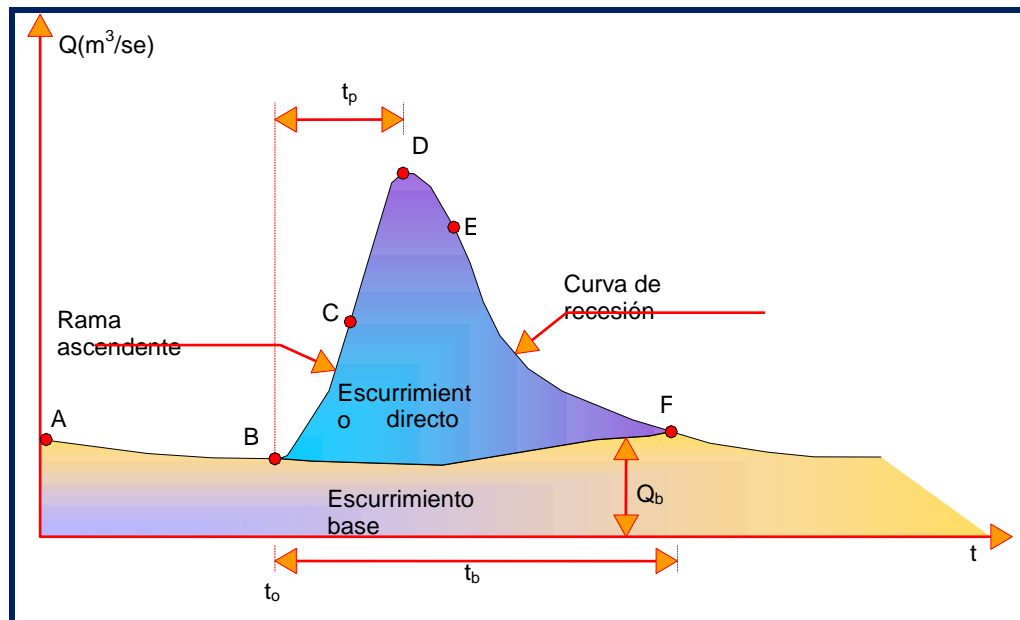
- El segmento de acceso AB
- El segmento creciente BD (rama ascendente)
- El segmento de recesión DH (rama descendente o curva de recesión)

**B (Punto de levantamiento):** En este punto, el agua proveniente de la tormenta bajo análisis, comienza a llegar a la salida de la cuenca y se produce inmediatamente después de iniciada la tormenta, durante la misma o incluso cuando ha transcurrido ya algún tiempo después de que cesó de llover, dependiendo de varios factores, entre los cuales se pueden mencionar: el tamaño de la cuenca, su sistema de drenaje y suelo, la intensidad y duración de la lluvia.

C y E (Puntos de inflexión): en estos es aproximadamente cuando termina el flujo sobre el terreno, y, lo que queda de agua en la cuenca escurre por los canales y como escurrimiento subterráneo.

D (Pico): Es el caudal máximo que se produce por la tormenta. Con frecuencia el punto más importante de un hidrograma para fines de diseño.

Figura N° 3.2.7.12: Partes de un Hidrograma.



F (Final del escurrimiento directo): De aquí en adelante el escurrimiento es solo de origen subterráneo. Normalmente se acepta como el punto de mayor curvatura de la curva de recesión.

$T_P$  (Tiempo de pico): Es el tiempo que transcurre desde el punto de levantamiento hasta el pico del hidrograma.

$T_b$  (Tiempo base): Es el tiempo que transcurre desde el punto de levantamiento hasta el punto final del escurrimiento directo, Siendo por lo tanto, el tiempo que dura el escurrimiento directo.

Rama ascendente: Es la parte del hidrograma que va desde el punto del levantamiento hasta el pico.

Rama descendente o curva de recesión: Es la parte del hidrograma que va desde el pico hasta el final del escurrimiento directo. Tomada a parte del punto de inflexión, es una curva de vaciado de la cuenca.

### **3.3 ANALISIS DE LLUVIA**

La lluvia posee tres características que son: Intensidad, Duración y Frecuencia.

#### **3.3.1 LA INTENSIDAD.**

Se define como la mayor o menor precipitación de agua para un tiempo determinado y generalmente se expresa en milímetros/minuto. Además puede mencionarse que la escorrentía superficial es directamente proporcional a la intensidad de la lluvia, es decir, a mayor intensidad de lluvia mayor escorrentía, y también a menor intensidad, menor escorrentía.

#### **3.3.2 LA DURACIÓN.**

Es el período de tiempo que tarda una determinada lluvia en precipitar sobre la superficie, expresada en minutos o en horas. Las lluvias que producen caudales máximos en un punto de interés de la cuenca hidrográfica, son aquellas cuya duración de precipitación es igual al tiempo que necesita una gota de agua precipitada en el punto más alejado aguas arriba de la cuenca, en llegar a un punto de interés. En cuencas pequeñas, las tormentas que producen las mayores avenidas son tormentas de corta duración y de alta intensidad de lluvia, en tal sentido se utilizan lluvias de varias duraciones, tales como 5, 10, 15, 20, 30, 45, 60, 90, 120, 180, 240 y 360 minutos.

### 3.3.3 LA FRECUENCIA.

En cuanto mayor es la intensidad de las tormentas, más rara es su ocurrencia y menor su frecuencia. En forma aproximada a una intensidad más alta de duración específica, tiene una frecuencia de una vez en  $n$  años. Dicha tormenta es llamada tormenta de  $n$  años consignada en el período de registro de años.

### 3.3.4 CURVAS INTENSIDAD – DURACIÓN – FRECUENCIA (I-D-F).

La relación gráfica de la Intensidad, la Duración y la Probabilidad de Ocurrencia o Período de Retorno de la lluvia se realiza mediante el método estadístico de la ley de Gumbel de eventos extremos, con el cual se obtienen las curvas llamadas Intensidad – Duración - Frecuencia. Estas curvas reúnen todas las variables de la precipitación.

#### **Método para determinar las curvas I-D-F o ajuste de intensidades máximas.**

Uno de los primeros pasos que deben seguirse para realizar muchos proyectos de diseño hidrológico es la elaboración de las curvas I-D-F. Para ello es necesario hacer uso de las intensidades máximas anuales y las duraciones de la estación meteorológica más cercana a la cuenca en estudio.

El proceso a seguir para la elaboración de las curvas I-D-F es el siguiente:

a) Se obtienen los registros de intensidades máximas anuales de precipitación por minuto, para las duraciones de 5, 10, 15, 20, 30, 45, 60, 90, 120, 150, 180, 240 y 360 minutos, para la estación meteorológica cercana al sitio de interés.

b) Para cada duración, se ordenan las intensidades de menor a mayor, asignándoles un número de orden ( $m$ ).

c) Se calcula la probabilidad de ocurrencia o frecuencia ( $f$ ) de cada intensidad para las diferentes duraciones, utilizando la siguiente ecuación:

$$f = \frac{m}{n+1} \times 100 \quad (3.3.1)$$

Donde:

m: Posición del dato una vez que se han ordenado de menor a mayor

n: Número total de datos

f: Frecuencia empírica

d) Se grafica en papel probabilístico Gumbel, los datos de intensidad (I) contra la Probabilidad de Ocurrencia (f) para cada duración, de acuerdo a las siguientes coordenadas: En el Eje X: Probabilidad de ocurrencia (f); En el Eje Y: Intensidad de Precipitación (I).

e) Luego se traza una recta promedio que se ajuste lo mejor posible a la nube de puntos ploteados para cada duración.

f) Después de trazar las rectas para las diferentes duraciones, se procede a leer para un periodo de retorno seleccionado, 2, 5, 10, 25 y 50 años, los valores de Intensidad-Duración, estos valores a su vez se plotean en papel doble logarítmico, de acuerdo a las siguientes coordenadas: En el Eje X: Duración (D); En el Eje Y: Intensidad de Precipitación (I).

### **3.4 CUENCAS HIDROGRÁFICAS.**

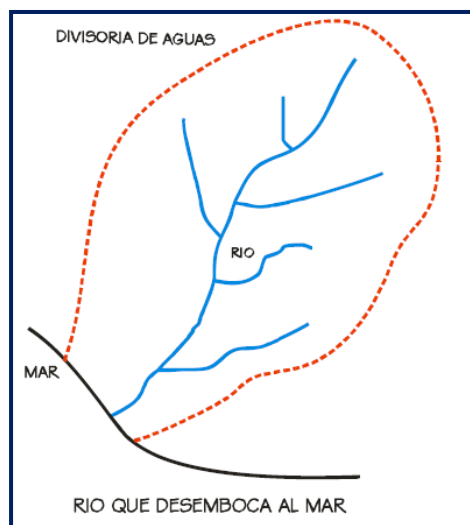
#### **3.4.1 DEFINICIÓN DE CUENCA.**

Una cuenca hidrográfica es un sistema físico que presenta variables de entradas y de salidas, siendo de entrada todos los elementos que aportan al escurrimiento y las variables de salida corresponden a las pérdidas de elementos de entrada.

La cuenca hidrográfica, se define como una unidad territorial en la cual el agua que cae por precipitación se reúne y escurre a un punto común o que fluye toda al mismo río, lago, o mar.

Las cuencas hidrográficas se delimitan por medio de una línea (divisoria) que separa las precipitaciones que caen en hoyas inmediatamente vecinas, y que encaminan la escorrentía resultante para uno u otro sistema fluvial. La divisoria sigue una línea rígida, atravesando el curso de agua solamente en el punto de salida. Los terrenos de una hoya son delimitados por dos tipos de divisorias: divisoria topográfica o superficial y divisoria freática o subterránea. Esta última establece los límites de los embalses de agua subterránea, de donde se deriva el caudal base de la hoya. Las dos divisorias difícilmente coinciden. Se acostumbra a definir el área de drenaje de una cuenca de acuerdo con su divisoria topográfica.

**Figura N<sup>o</sup> 3.4.1.1:** Modelo de cuenca.



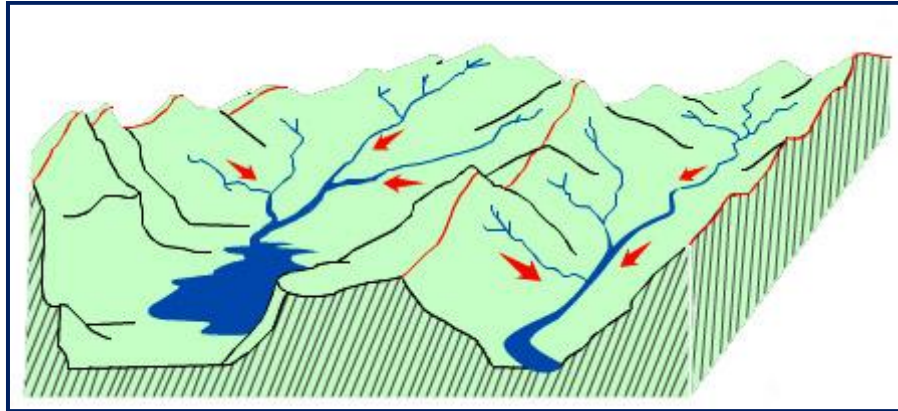
### 3.4.2 CLASIFICACIÓN DE LAS CUENCAS.

Desde el punto de salida, existen fundamentalmente dos tipos de cuenca: Cuencas Endorreicas y Cuencas Exorreicas.

**Las cuencas endorreicas**, son las que poseen el punto de salida dentro de los límites de la cuenca y generalmente es un lago.

**Las cuencas exorreicas**, son las que poseen el punto de salida en los límites de la cuenca drenando hacia otra corriente o al mar.

**Figura N° 3.4.2.1:** Cuenca endorreica (izquierda), cuenca exorreica (derecha).



### **Clasificación de los cursos de agua.**

En base a la circunstancia de la esorrentía, los cursos de agua se pueden dividir en:

a) Perennes.

Son corrientes con agua todo el tiempo.

El nivel de agua subterráneo mantiene una alimentación continua y no desciende nunca por debajo del lecho del río.

b) Intermitentes.

Son corrientes que escurren en estaciones de lluvia y se secan durante el verano.

El nivel de agua subterráneo se conserva por encima del nivel del lecho del río, solo en estación lluviosa, en el verano el escurrimiento cesa u ocurre solamente inmediatamente después de la tormenta.

c) Efímeros.

Existen apenas durante o inmediatamente después de los periodos de precipitación, y solo transportan escurrimiento superficial.

El nivel de agua subterráneo se encuentra siempre debajo del nivel inferior del lecho de la corriente; no hay por lo tanto posibilidad de escurrimiento subterráneo.



### **3.4.3 FORMACIÓN DE LAS CUENCAS DE DRENAJE.**

Existen cuencas de muy distinta extensión, desde las oceánicas, que representan las mayores cuencas del planeta, hasta las de áreas reducidas recorridas por pequeñas corrientes. Algunas se han formado a través de procesos geológicos que provocan dilataciones, hundimientos, fracturas o plegamientos de la corteza terrestre, o bien son consecuencia de la actividad volcánica. Otras son el resultado de la erosión de la superficie terrestre causada por el viento, el agua o el hielo. La estructura de las rocas subyacentes influye en el impacto de la erosión sobre el terreno, que da lugar a la existencia de zonas bajas que se forman sobre rocas erosionables y zonas altas con rocas resistentes a la erosión.

Cuando las rocas subyacentes de una cuenca son permeables, las aguas que atraviesan el suelo, o aguas subterráneas, pueden filtrarse de una cuenca a otra. Por esta razón, los límites de una cuenca de aguas subterráneas no siempre coinciden con las líneas divisorias de aguas de la cuenca de drenaje de la superficie.

### **3.4.4 HIDROLOGÍA DE LAS CUENCAS DE DRENAJE.**

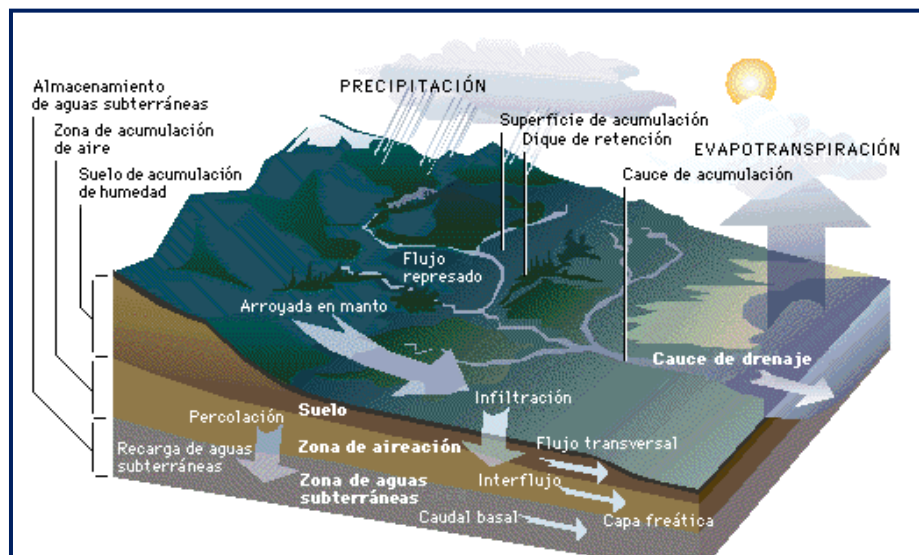
Las cuencas reciben agua en forma de precipitaciones como parte del ciclo del agua (ciclo hidrológico). Algunas precipitaciones regresan a la atmósfera una vez que han sido captadas por la vegetación y se han evaporado en la superficie de las hojas y ramas. La mayor parte se pierde por la evaporación que tiene lugar en el suelo y por la transpiración de las plantas. En los climas áridos y semiáridos es habitual que todas las precipitaciones se consuman de esta forma; la escorrentía sólo ocurre en ocasiones, después de fuertes tormentas. La escorrentía depende, además de la tasa de evaporación, de la pendiente del terreno, de la naturaleza de las rocas y de la presencia o ausencia de manto vegetal.

Cuando las precipitaciones superan a la pérdida debida a la evaporación y transpiración, el excedente de agua sigue su curso en el sistema de drenaje y corre sobre

la superficie del terreno. Sin embargo, su avance no es uniforme; es posible que las aguas se acumulen en lagos, suelos o como parte de las aguas subterráneas durante largos periodos antes de fluir finalmente como escorrentía hasta alcanzar el canal de la cuenca.

Las condiciones antecedentes son de gran importancia a la hora de determinar la cantidad de escorrentía superficial. Cuando el suelo está saturado, el agua de lluvia no puede infiltrarse. El agua fluye sobre la superficie y desagua rápidamente en la red de canales. Después de una serie de tormentas consecutivas o de un periodo de precipitaciones prolongado, el área del suelo saturado se expande, con lo que se incrementa el caudal superficial. Esta situación ocasiona el vertido rápido de un gran volumen de agua en el sistema de canales, cuya capacidad puede quedar rebasada y provocar así una inundación.

**Figura N° 3.4.4.1:** Hidrología de una cuenca de drenaje.



### **PATRONES DE DRENAJE DE UNA CUENCA.**

Cuando la escorrentía se concentra, la superficie terrestre se erosiona creando un canal. Los canales de drenaje forman una red que recoge las aguas de toda la cuenca y las vierte en un único río que se halla en la desembocadura de la cuenca.

El clima y el relieve del suelo influyen en el patrón de la red, pero la estructura geológica subyacente suele ser el factor más relevante. Los patrones hidrográficos están tan íntimamente relacionados con la geología que son muy utilizados en geofísica para identificar fallas e interpretar estructuras. La clasificación de los principales patrones incluye las siguientes redes: dendríticas (en forma de árbol), enrejadas, paralelas, rectangulares, radiales y anulares.

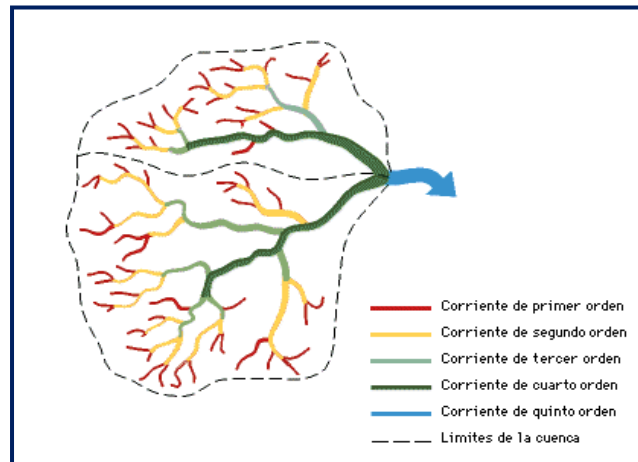
#### **3.4.5 MORFOMETRÍA DE LAS CUENCAS.**

Las características de una cuenca y de las corrientes que forman el sistema hidrográfico pueden representarse cuantitativamente mediante índices de la forma y relieve de la cuenca y de la conexión con la red fluvial. Muchos de los índices son razones matemáticas, por lo que pueden utilizarse para caracterizar y comparar cuencas de diferentes tamaños.

El esquema de órdenes de corrientes, el primer método cuantitativo de análisis de las redes de drenaje, fue desarrollado a principios de la década de 1940 por el ingeniero hidráulico e hidrólogo americano Robert Horton. Las corrientes fluviales son clasificadas jerárquicamente como se muestra en la fig. N<sup>o</sup> 3.4.5.1, las que constituyen las cabeceras, sin corrientes tributarias, pertenecen al primer orden o categoría; dos corrientes de primer orden que se unen forman una de segundo orden, que discurre hacia abajo hasta encontrar otro cauce de segundo orden para constituir otro de tercera categoría y así sucesivamente. Este sistema de clasificación muestra cómo se une cada corriente a la red y cómo está conectada la red en su conjunto.

La morfometría hidrográfica actual tiende a centrarse en el área, longitud, forma, atributos del relieve y densidad de drenaje de la cuenca.

**Figura N° 3.4.5.1: Ordenes de corrientes.**

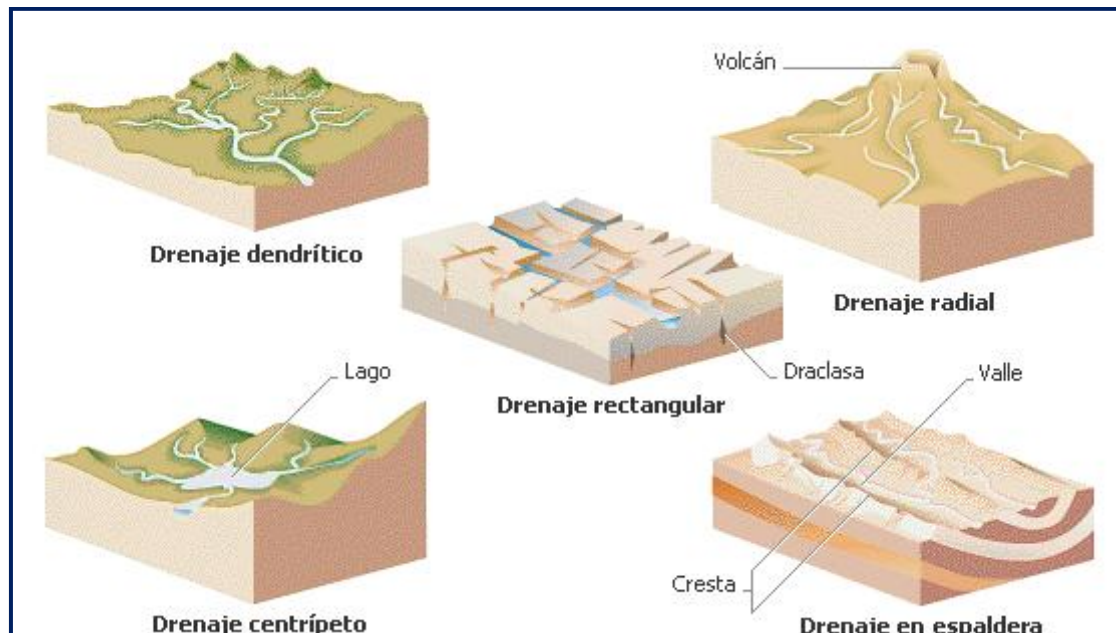


El sistema de drenaje de una cuenca está constituido por el río principal y sus tributarios.

### **3.4.6 MODELO DE DRENAJE DE UNA CUENCA HIDROGRÁFICA.**

Un modelo de drenaje determinado describe el modo particular en que los afluentes (es decir, los cursos fluviales que alimentan a otros más grandes) y los ríos se subdividen en diferentes brazos. Los modelos de drenaje toman diversas formas dependiendo primordialmente de la estructura geológica del sustrato rocoso.

Figura N° 3.4.6.1: Modelos de Drenaje.



El más común es el llamado dendrítico, que suele desarrollarse allí donde toda la cuenca de drenaje está constituida por el mismo tipo de roca. Este modelo recuerda el diseño de los árboles, con los afluentes más pequeños en el lugar de las ramas más alejadas y el río principal en el lugar del tronco. En él, los tributarios se reúnen trazando ángulos agudos, con uniones en Y.

El modelo de drenaje rectangular se origina cuando numerosos arroyos se entrelazan en forma de parrilla. Suele darse en rocas como el granito, cuyas grietas aprovechan los ríos para fluir.

Los modelos de drenaje radial, por su parte, aparecen cuando los ríos fluyen en todas las direcciones desde una elevación del terreno, que puede ser un volcán o cualquier tipo de masa rocosa más resistente a la erosión que el material que la rodea. El drenaje centrípeto se produce cuando los ríos fluyen desde las elevaciones que rodean una cuenca o cubeta central, a menudo ocupada por un lago. Algunos de los modelos de drenaje más complejos se dan en zonas donde la erosión diferencial de diversos estratos de roca ha producido capas paralelas que alternan rocas blandas y duras. En estos casos

los ríos suelen tajar valles paralelos en los lechos de roca más blanda, con torrentes cortos que fluyen en ángulo recto desde las alturas de rocas más duras. Sin embargo, en algunos lugares los ríos cortan los lechos de roca dura y se juntan con los principales cauces fluviales paralelos. Este tipo de drenaje se llama en espaldera o de rejilla, porque recuerda a los enrejados sobre los que crecen la hiedra y las plantas trepadoras.

A veces el modelo de drenaje de una zona no corresponde a lo que se podría esperar basándose sólo en el tipo de roca que se da en ella. Esto es evidente sobre todo cuando un río atraviesa un lecho de roca dura o incluso una cadena montañosa, en lugar de fluir bordeándola. Por ejemplo, en el modelo de drenaje en espaldera, los brazos que conectan dos cauces paralelos atraviesan capas de roca dura. Los torrentes tajan estas capas erosionándolas y conectando con los sistemas de drenaje del otro lado. Este proceso se llama captura fluvial y se produce cuando dos arroyos erosionan especialmente su curso alto en su carrera hacia una cuenca de drenaje. El arroyo que tiene la pendiente más pronunciada erosiona su cauce a mayor velocidad y captura el otro afluente cuando éste acaba de erosionar el terreno entre ambos.

Un modelo de drenaje sorprendente se da cuando diferentes tipos de roca están esparcidos en distintas capas por una zona y se forma un determinado sistema de drenaje en consonancia con la composición de estas rocas. Al irse erosionando las rocas de las capas superiores, las que están situadas debajo heredan este modelo aunque no les corresponda por su distinta composición. A este proceso se le llama superposición. Una tercera explicación para entender porqué un río puede atravesar una cadena montañosa es que su curso puede estar bien definido antes de que se produzca la elevación de las montañas. Si el río erosiona su lecho al mismo ritmo que se produce la orogénesis, acaba manteniendo el mismo curso. Este tipo de corte se llama drenaje antecedente.

**CRITERIOS PARA EL TRAZADO DE PARTEAGUAS (DIVISORIA).**

- Seleccionar los puntos más elevados del entorno físico de la cuenca.
- Definición del sistema de drenaje superficial y el cause más largo.
- Determinación del punto de interés.
- La línea divisoria corta ortogonalmente a las curvas de nivel.
- Cuando la divisoria aumenta su altitud, esta corta a la curva de nivel por su parte convexa.
- La línea divisoria nunca debe cortar a un arroyo, río, excepto en el punto de interés.

**3.4.7 PARÁMETROS FÍSICOS DE LA CUENCA.**

Estas características dependen de la morfología (forma, relieve, red de drenaje, etc.), los tipos de suelo, la capa vegetal, la geología, las prácticas agrícolas, etc. Estos elementos físicos, proporcionan la más conveniente posibilidad de conocer la variación en el espacio de los elementos del régimen hidrológico.

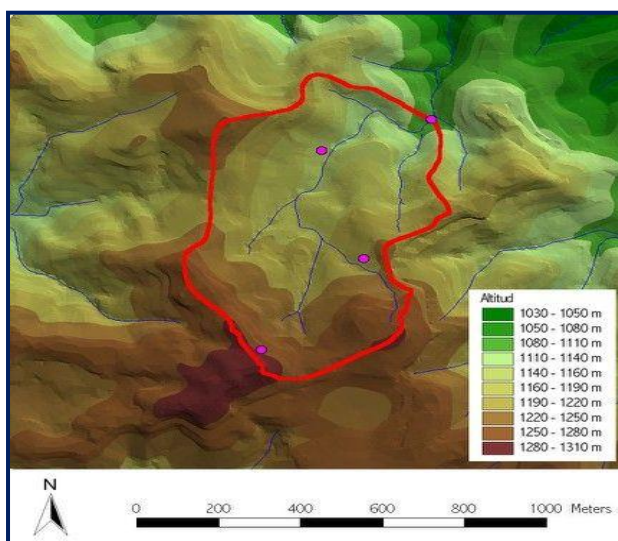
**1) Delimitación de la cuenca.**

Se define como línea divisoria o línea de divorcio a una línea imaginaria que delimita la cuenca.

Generalmente se considera que la línea divisoria es la línea de cresta que separa dos vertientes teniendo en cuenta el drenaje superficial, pero en algunos casos se debe considerar la línea definida por las elevaciones más altas de la capa freática (almacenamiento de agua gravitacional en el suelo – agua libre en el suelo). Sin embargo, dado que dicho límite generalmente no difiere mucho del que está determinado por el drenaje superficial y cuando difiere un poco es muy difícil de detectar, se suele considerar como cuenca la determinada por el límite de las aguas superficiales.

La delimitación de la cuenca consiste en la identificación de los cauces que contribuyen al drenaje particular de la microcuenca en relación al punto de interés; y al trazo del adecuado parte-aguas en el cual se detalla todo su perímetro.

**Figura N° 3.4.7.1: Modelos de Drenaje.**



## 2) Determinación del Drenaje de la cuenca.

El drenaje es la mayor o menor facilidad que presenta una cuenca hidrográfica para evacuar las aguas provenientes de fuertes lluvias.

Un sistema de drenaje comprende todos los tipos de masas de agua, como ríos, lagos y aguas subterráneas, formadas a partir del agua de la lluvia o de la nieve fundida. La mayor parte de esta agua no cae directamente en los cauces fluviales y los lagos, sino que permeabiliza las capas superiores del terreno y desde éstas aparece constituyendo arroyos.

Las divisorias de drenaje son los límites naturales entre los distintos valles. Cuando la lluvia cae en laderas opuestas de una divisoria de drenaje, fluye en direcciones diferentes



hacia valles separados.

El área limitada por una divisoria de drenaje se llama cuenca de drenaje y representa todo el territorio drenado por un curso fluvial o un río.

### 3) Área de la Cuenca (A).

El área de la cuenca es quizá el parámetro más importante, siendo determinante de la escala de varios fenómenos hidrológicos tales como, el volumen de agua que ingresa por precipitación, la magnitud de los caudales, etc. El área de la cuenca se define como la proyección horizontal de la superficie de la misma y se puede medir directamente del mapa topográfico. Desde el punto de vista hidrológico es más importante esta proyección horizontal que la superficie real de la cuenca. Las gotas de lluvia caen verticalmente y no ortogonales a la ladera, igualmente el crecimiento de los árboles es vertical, etc.

El área de la cuenca, es la medida de la superficie (proyección horizontal) de la cuenca expresada en kilómetros cuadrados (Km<sup>2</sup>). Los instrumentos que se utilizan para medir el área de una cuenca son:

- a) Planímetro.
- b) Planímetro analógico.
- c) Digitalización.

### 4) Longitud Perimetral de la Cuenca (Lp).

Es la longitud del límite exterior de la cuenca y depende de la superficie y la forma de la cuenca; es la medida de la longitud del contorno o de la línea parte-aguas de la cuenca, expresada en kilómetros (Km.).

Las longitudes se obtienen generalmente de la medición en mapas topográficos, cuando el mapa está en papel se pueden medir leyendo las coordenadas en los puntos de cambio de dirección y calculando las distancias entre los puntos con coordenadas conocidas o se digitalizan y las longitudes se calculan en el mapa digital.

Los instrumentos mas utilizados para determinar el perímetro de una cuenca son:

- a) Curvímetro.
- b) Digitalización.

#### **5) Densidad de Drenaje ó Longitud de Corrientes (Dd).**

Es la relación entre la longitud total de los cursos de agua de la hoya y su área total.

Se calcula mediante la siguiente formula:

$$D_d = \frac{L_{total}}{A} \quad (3.4.7.1)$$

Donde:

$L_p$  = Longitud total de los cursos de agua de la cuenca en km.

$A$  = Área de la cuenca en  $Km^2$ .

$D_d$ ; usualmente toma valores entre 0.5 km/  $Km^2$  para hoyas con drenajes pobres hasta 1.5 km/  $Km^2$  para hoyas esencialmente bien drenadas.

#### **6) Longitud del Cauce Principal (Lc).**

Es la longitud del canal natural o artificial más largo dentro de la cuenca, expresado en kilómetros (Km.).

### 7) Desnivel de la cuenca (H).

La elevación media es la dirección promedio de la cuenca con respecto al nivel de la mar, expresada en metros (mts.). Es de interés conocerla, ya que tiene relación con la temperatura y la precipitación.

$$H = \text{Elev. Mayor} - \text{Elev. Menor.} \quad (3.4.7.2)$$

### 8) Longitud de Planta de la Cuenca (Lplanta).

Mediante trigonometría, utilizando la longitud del cauce principal y el desnivel de la cuenca, se puede determinar la longitud de planta de la cuenca.

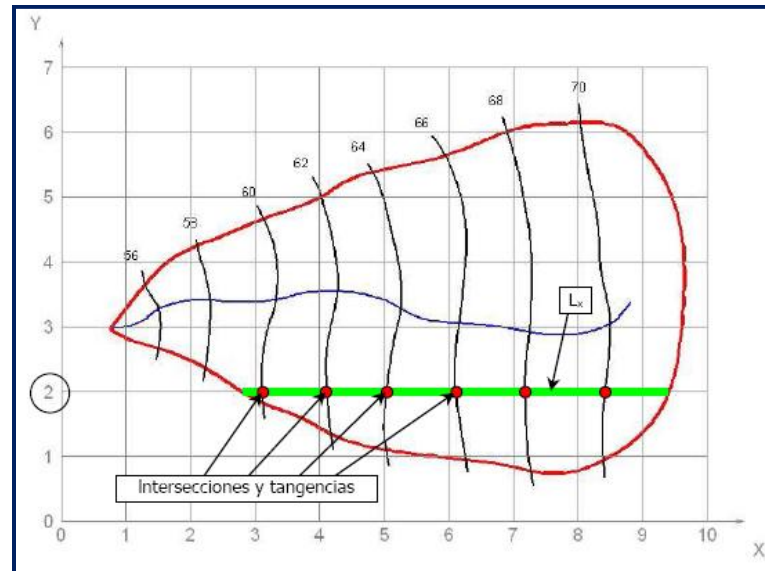
### 9) Pendiente media de la cuenca (Pm).

Este parámetro es de importancia pues da un índice de la velocidad media de la escorrentía, su poder de arrastre, de erosión y el tiempo de concentración de las aguas en determinado punto del cauce.

#### ◆ Método de Horton.

Consiste en trazar una malla de cuadrados sobre la proyección planimétrica de la cuenca orientándola según la dirección de la corriente principal. Si se trata de una cuenca pequeña, la malla llevará al menos cuatro (4) cuadros por lado, pero si se trata de una superficie mayor, deberá aumentarse el número de cuadros por lado, ya que la precisión del cálculo depende de ello.

Una vez construida la malla, en un esquema similar al que se muestra en la Fig. 3.4.7.2, se miden las longitudes de las líneas de la malla dentro de la cuenca y se cuentan las intersecciones y tangencias de cada línea con las curvas de nivel.

**Figura N° 3.4.7.2:** Grilla para el análisis de la pendiente media de la cuenca.

La pendiente de la cuenca en cada dirección se calcula así:

$$P_m = N \frac{D}{L} \sec \phi \quad (3.4.7.3)$$

Donde:

$P_m$ : Pendiente de la cuenca en la dirección horizontal o vertical.

$N$ : Número total de intersecciones y tangencias de las líneas del reticulado y las curvas de nivel en la dirección horizontal o vertical.

$D$ : Desnivel o distancia entre las curvas de nivel.

$L$ : Longitud total de las líneas del reticulado en la dirección horizontal o vertical.

$\phi$  : Ángulo entre las curvas de nivel y las líneas del reticulado.

Se determina el ángulo  $\phi$  entre las líneas del reticulado y las curvas de nivel para aplicar la ecuación de Horton y obtener la pendiente media de la cuenca.

La determinación de  $\phi$ , es muy laboriosa, por lo que Horton sugiere un valor promedio de 1.57. Cuando se quiere comparar cuencas es práctica usual no considerar el

valor de la  $Sec\phi$ , o también considerar como promedio pendiente de la cuenca el promedio aritmético de las pendientes de cada una de las direcciones.

### 10) Elevación media de la cuenca (Pm).

La elevación media de una cuenca es un factor que afecta la temperatura y la precipitación. Pues la variación de la temperatura va a influir en la variación de agua por evaporación.

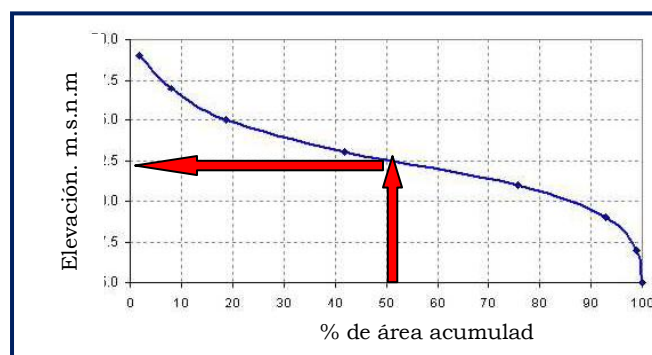
#### ◆ Método de la curva hipsométrica.

La curva hipsométrica sugerida por Langbein (1947), proporciona una información sintetizada sobre la altitud de la cuenca, que representa gráficamente la distribución de la cuenca vertiente por tramos de altura. Dicha curva presenta, en las ordenadas, las distintas cotas de altura de la cuenca, y en las abscisas la superficie de la cuenca, que se halla por encima de dichas cotas, bien en Km<sup>2</sup> o en un porcentaje de la superficie total de la cuenca.

La altura o elevación media tiene importancia principalmente en zonas montañosas donde influye en el escurrimiento y en otros elementos que también afectan el régimen hidrológico, como el tipo de precipitación, la temperatura, etc.

La elevación media por este método es la ordenada que corresponde al 50% de las áreas acumuladas.

Figura N° 3.4.7.3: Curva hipsométrica.



◆ **Método de los pares de contornos.**

Se calcula la elevación media de la cuenca midiendo el área entre pares de contorno (curvas de nivel sucesivas), con ayuda del planímetro o por digitalización. Los porcentajes de estas áreas se calculan con respecto al total y el porcentaje de área sobre o por debajo del contorno (área entre curvas) y se obtienen por sumas acumuladas mediante la siguiente ecuación:

$$E_m = \frac{\sum_{i=1}^n a_i e_i}{A_c} \quad (3.4.7.4)$$

Donde:

$E_m$ : Elevación media de la cuenca (m.s.n.m.)

$a_i$ : Área entre dos curvas de nivel sucesivas (Km<sup>2</sup>)

$e_i$ : Elevación media entre dos curvas de nivel sucesivas (m)

$A_c$ : Área total de la cuenca (Km<sup>2</sup>).

### 3.4.8 CARACTERÍSTICAS DE FORMA DE LA CUENCA.

La forma de una cuenca influye sobre los escurrimientos y sobre la marcha del hidrograma resultante de una precipitación dada. Así, en una cuenca de forma alargada el agua discurre en general por un solo cauce principal, mientras que en otra de forma ovalada los escurrimientos recorren cauces secundarios hasta llegar a uno principal, por lo que la duración del escurrimiento es superior.

◆ **Índice de Gravelius o coeficiente de compacidad.**

El coeficiente de compacidad se define como la relación entre el perímetro de la hoya y la longitud de la circunferencia de un círculo de área igual al de la hoya.

Este coeficiente nos indica el grado de redondez o alargamiento de la cuenca. Es adimensional y sus valores son mayores o iguales a uno (1), y se relaciona únicamente

con la forma de cuenca. El índice de gravelius se puede calcular por medio de la siguiente ecuación:

$$K_c = \frac{L_p}{\sqrt{A}} \times 0.28 \quad (3.4.8.1)$$

Donde:

$L_p$  = Perímetro de la cuenca en Km.

$A$  = Área de la cuenca en Km<sup>2</sup>.

Cuanto mas irregular sea la hoya mayor será su coeficiente de compacidad. Una hoya circular posee el coeficiente mínimo igual a “1”. Hay mayor tendencia a las crecientes en la medida en que este número se aproxima a la unidad.

◆ **Factor de forma ( $k_f$ ).**

Este factor relaciona la longitud del eje central de la cuenca con el ancho medio. Comparando dos a más cuencas que poseen características físicas iguales, tendrá mayor drenaje aquella que posea el factor de forma más elevado. El factor de forma se puede calcular mediante la siguiente ecuación:

$$K_f = \frac{B_m}{L_c} = \frac{A/L_c}{L_c} \quad (3.4.8.2)$$

Donde:

$B_m$  = Es el ancho promedio de la cuenca en Km.

$L_c$  = Longitud del cauce principal de la cuenca en Km.

$K_f$  = Factor de forma.

Una hoya con factor de forma bajo esta menos sujeta a crecientes que otra del mismo tamaño pero con mayor factor de forma.

### **3.5 ESTUDIO HIDROLÓGICO.**

#### **3.5.1 FACTORES QUE INCLUYE EL ESTUDIO HIDROLÓGICO.**

El análisis que comprende el Estudio Hidrológico, se realiza basándose en la investigación de los factores que afectan el escurrimiento del agua, entre los cuales están:

- a) Cantidad y tipo de la precipitación.
- b) Intensidad de la precipitación.
- c) Tamaño de la cuenca.
- d) Pendiente a lo largo del cauce.
- e) Permeabilidad de suelos y rocas.
- f) Condiciones de saturación.
- g) Cantidad y tipo de vegetación.

#### **3.5.2 MÉTODOS PARA DETERMINAR EL CAUDAL DE DISEÑO.**

Los aspectos ya mencionados, junto al acceso a los datos disponibles, dirigirán el método a seleccionar para calcular el caudal. Existen tres métodos empleados para tal deducción, estos son los siguientes.

- a) Métodos Empíricos.
- b) Métodos Estadísticos.
- c) Métodos Hidrometeorológicos.

##### **a) Métodos Empíricos.**

Los métodos empíricos están basados en la experiencia del proyectista y en general, requieren del conocimiento del tamaño de la cuenca considerada; son procedimientos fundamentados en información de orden general obtenidas de corrientes de agua estudiadas anteriormente, ya sea de la misma cuenca o de otras; sólo son



aplicables a cuencas cuyas características son similares a las que sirvieron de base para deducirlas. La ventaja de estos métodos es que son de fácil y rápida aplicación. Entre ellos están:

✚ **Avenidas Históricas:** Su aplicación consta de tres pasos:

1. Determinación de la altura de aguas máximas alcanzadas por la corriente.
2. Estimación de la avenida máxima observada.
3. Estimación de la avenida máxima posible.

✚ **Curvas Envolventes:** Se trazan en un gráfico los caudales de avenidas máximas, calculadas en función del área de las cuencas que lo producen. Se obtienen puntos que no pasan cierta zona del gráfico, lo cual forma la curva envolvente.

✚ **Fórmulas Empíricas:** Surgen de la necesidad de estimar avenidas de ríos donde se tiene el número de datos suficientes para efectuar un cálculo de confianza, con un margen de seguridad. Las fórmulas empíricas, se dividen en función de la cantidad y tipo de factores que se toman en consideración, entre ellas se mencionan:

#### 1) **Formula de Burkli-Ziegler.**

Se requiere que en la cuenca donde se ha de aplicar esta fórmula exista por lo menos una estación meteorológica.

#### 2) **Formula de Dickens.**

Esta fórmula es aplicable únicamente para áreas que van desde 2.5 hasta 250 Kms<sup>2</sup>.

**b) Métodos Estadísticos.**

Los métodos estadísticos hacen uso de datos de precipitaciones - escurrimientos que se han registrado durante un largo periodo y se basan en los caudales máximos anuales del cauce en estudio.

Estos métodos consideran que el caudal máximo anual es una variable aleatoria que tiene una cierta distribución y se basan en ciertas leyes estadísticas tales como: Ley de Gumbel, Ley de Nash, Ley de Lebediev, etc.

La aplicación no es recomendable en el país, especialmente en zonas urbanas, ya que no se cuenta con un sistema de muestreo para caudales drenados en áreas urbanas.

**c) Métodos Hidrometeorológicos.**

Estos métodos, basan su estudio en la relación lluvia - escurrimiento, requieren de datos de precipitación, así como de algunas características de las cuencas de estudio. Su aplicación está limitada a cuencas pequeñas, ya que han sido desarrollados para áreas de 50 Km<sup>2</sup> como máximo. Sin embargo cada método en particular presenta sus limitantes referentes a esta investigación. Dentro de los métodos hidrometeorológicos más aplicables se encuentran:

1. Método Racional.
2. Hidrograma Unitario.
3. Hidrograma Unitario Triangular Equivalente.
4. Método de las Isocronas.

### 1- MÉTODO RACIONAL.

Consiste únicamente en la aplicación de una fórmula, la cual expresa que la descarga es igual a un porcentaje de la precipitación multiplicada por el área de la cuenca. La duración mínima de la lluvia es el Tiempo de Concentración ( $T_c$ ). Esta es la base del método o fórmula racional. Se enuncia así:

$$Q = K C I A \quad (3.5.2.1)$$

Donde:

$Q$  = Caudal en  $m^3/\text{seg}$ .

$K$  = Constante de conversión de unidades.

$C$  = Coeficiente de Escorrentía, adimensional.

$I$  = Intensidad de lluvia para diseño en  $\text{mm}/\text{min}$ .

$A$  = Área de drenaje, en  $m^2$ .

Este método se basa en las siguientes hipótesis:

1. La proporción de escurrimiento resultante de cualquier intensidad de lluvia, es un máximo cuando esa intensidad de lluvia dura al menos tanto como el tiempo de concentración.
2. El máximo escurrimiento resultante de cualquier intensidad de lluvia con duración igual o mayor que el tiempo de concentración, es una fracción de esa precipitación, *esto es*, se supone una relación lineal  $Q$  e  $I$ , y  $Q = 0$  cuando  $I = 0$ .
3. La frecuencia de la máxima descarga es la misma que la de la intensidad de lluvia para el tiempo de concentración dado.
4. La relación entre máxima descarga y tamaño del área de drenaje es la misma que la relación entre duración e intensidad de precipitación.
5. El Coeficiente de Escorrentía es el mismo para lluvia de diversas frecuencias.
6. El Coeficiente de Escorrentía es el mismo para todas las lluvias en una cuenca dada.

Este método no toma en cuenta el efecto de almacenamiento de la cuenca, pues supone que la descarga es igual a la precipitación fluvial menos toda la retención de la cuenca. Tampoco considera variaciones de intensidad de lluvia en el área, durante todo el tiempo de concentración. Estas suposiciones hacen particularmente susceptible de errores los cálculos, cuando el tamaño de área de drenaje es grande.

Con valores correctos de precipitación fluvial y para un coeficiente de escurrimiento dado, la formula racional siempre sobrestima el escurrimiento con errores apreciables al aumentar el tamaño de la cuenca. Por consiguiente, esta fórmula es confiable a cuencas pequeñas menores de 2 Km<sup>2</sup>.

El valor del Coeficiente de Escorrentía depende en gran medida de las características que rigen la cantidad y velocidad de escurrimiento de la cuenca. Cuando el tipo de superficie que cubre el agua es muy variado, el valor de C se encuentra por ponderación. En la Cuadro N° 3.9, se presentan Valores de coeficientes de escorrentía para diversos periodos de retorno.

## 2 - HIDROGRAMA UNITARIO.

Un Hidrograma puede representarse con una gráfica como la observada en la Figura N° 3.5.2.1, la cual representa el escurrimiento producido por una sola tormenta. Aunque la forma de los hidrogramas producidos por tormentas particulares varia no sólo de una cuenca a otra, sino también de tormenta a tormenta, es posible distinguir de la Figura N° 3.5.2.1, los siguientes aspectos:

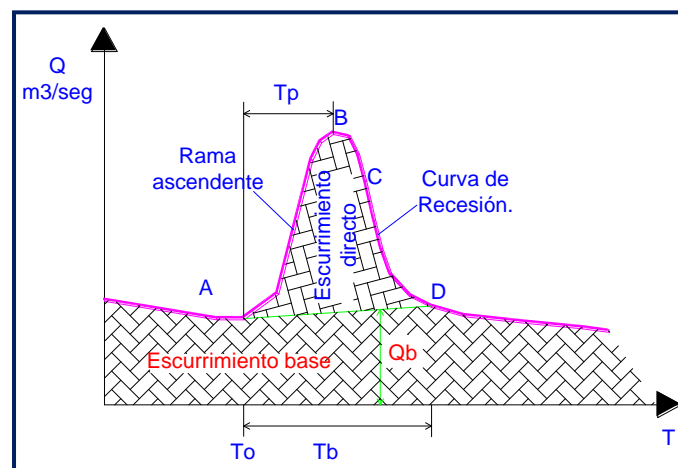
- 1) **Punto de levantamiento:** En este punto, el agua proveniente de la tormenta analizada comienza a llegar a la salida de la cuenca y se produce inmediatamente después de iniciada la tormenta, durante ésta ó incluso cuando ha transcurrido algún tiempo después que dejó de llover y depende de varios factores, entre los que se pueden mencionar: el tamaño de la cuenca, su intensidad de drenaje, tipo de suelo y duración de la lluvia.
- 2) **Pico de la tormenta:** Es el caudal máximo producido por la tormenta. Con frecuencia es el punto mas importante de un hidrograma para fines de diseño.

**3) Punto de inflexión:** En este punto es aproximadamente cuando se termina el flujo sobre el terreno y de aquí en adelante, el excedente de agua en la cuenca escurre de forma superficial o subterránea.

**4) Final del escurrimiento:** De este punto en adelante el escurrimiento es sólo de origen subterráneo. Normalmente se acepta como el punto de mayor curvatura de la curva de recesión, aunque pocas veces se distingue de forma evidente.

**Figura N° 3.5.2.1:** Hidrograma unitario aislado.

**Fuente:** Fundamentos de hidrología de superficie, Aparicio Mijares.



**$T_p$ :** Tiempo de pico: Es el tiempo que transcurre, entre el punto de levantamiento (A) y el punto pico del hidrograma (B).

**$T_b$ :** Tiempo base: Es el tiempo que transcurre hasta el punto final del escurrimiento directo.

**Rama ascendente:** Es la parte del hidrograma delimitada por el punto de levantamiento (A) y el pico de la fórmula (B).

**Rama descendente o curva de recesión:** Es la parte del hidrograma que va desde el pico de la tormenta (B) hasta el final del escurrimiento directo (D).

Este método considera que si dos lluvias idénticas caen sobre una cuenca de drenaje que tuviera condiciones idénticas antes de la precipitación, los hidrogramas de

escurrimientos derivados de dichas lluvias, serían los mismos. Esto constituye la base del método.

El primer paso para la derivación de los datos, es hacer la separación del escurrimiento del agua del subsuelo, del escurrimiento directo. Se determina el volumen del escurrimiento y las ordenadas del Hidrograma unitario se encuentran dividiendo las ordenadas del escurrimiento directo entre el volumen del escurrimiento directo en pulgadas. “Este método no es recomendable para cuencas con áreas mayores de 5,000 Km<sup>2</sup>”.

### **3 - HIDROGRAMA UNITARIO TRIANGULAR EQUIVALENTE.**

Un Hidrograma Unitario sintético es un Hidrograma Unitario estimado siguiendo una metodología establecida, sin necesidad del análisis de datos de Precipitación – Escorrentía. El desarrollo de Hidrogramas unitarios sintéticos se basa en el siguiente principio: si el volumen del hidrograma de escorrentía superficial es conocido (volumen es igual al área de la hoya hidrográfica multiplicado por una unidad de profundidad de escorrentía superficial), el caudal pico puede ser calculado suponiendo una cierta forma del hidrograma unitario.

Existen muchos hidrogramas unitarios sintéticos, pero el más utilizado en nuestro medio es el hidrograma triangular, el cual presenta la posibilidad de mostrar un hidrograma como un triángulo, en donde las curvas de ascenso y descenso del hidrograma se convierten en líneas rectas, las cuales en su punto de convergencia, representan el caudal máximo.

Si se supone una forma triangular ver Figura N° 3.5.2.2, el volumen es igual a:

$$V = \frac{Q_p T_b}{2} = \text{Acuena} \times \text{Llef} \quad (3.5.2.2)$$

Donde:

V: Volumen bajo el Hidrograma Unitario Triangular.

$Q_p$ : Caudal Pico.

$T_b$ : Tiempo base del hidrograma unitario triangular.

A: Área de drenaje de la hoya hidrográfica.

$L_{\text{efectiva}}$ : Lluvia efectiva, considerada como la unidad de Profundidad de escorrentía.

De tal manera se define la Lluvia efectiva, como:

$$L_{\text{efectiva}} = D \times I \times C \times 0.90 \quad (3.5.2.3)$$

Donde:

D: Duración de la tormenta.

I: Intensidad de lluvia.

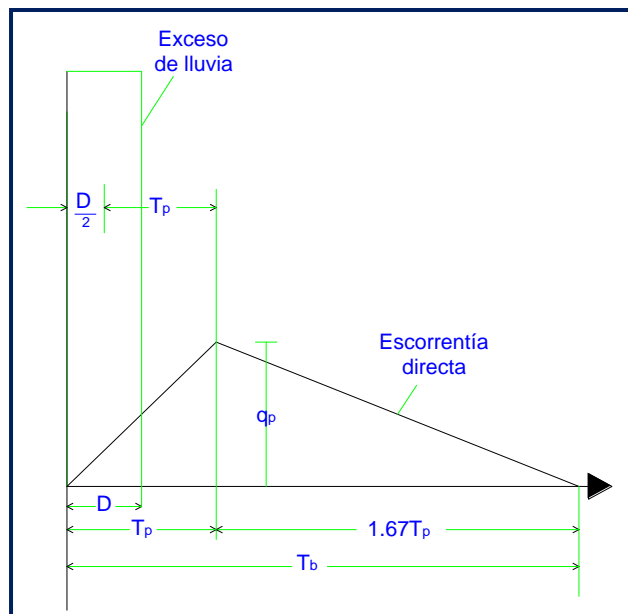
C: Coeficiente de Escorrentía.

Debido a que los datos de la intensidad de lluvia son puntuales, y para que la lluvia efectiva o lámina de lluvia sea distribuida uniformemente sobre toda la cuenca, entonces su cálculo será afectado por el factor 0.90, que es un factor previamente determinado para ser usado, en cuencas características de nuestro medio.

Para la aplicación de este método se obtienen hidrogramas originados por la precipitación ocurrida en cada uno de los hidrogramas considerados, en forma independiente se dibujan en un sistema de coordenadas, en el que las abscisas representan el tiempo y las ordenadas el gasto, sumando las ordenadas en diferentes puntos y uniendo los puntos resultantes de estas sumas, obtenemos el hidrograma

provocado por las lluvias de diseño. Los hidrogramas correspondientes a cada intervalo de lluvias se representan en forma triangular. Un hidrograma real no es exactamente un triángulo, pero se escoge esta forma geométrica, debido a la similitud que existe entre ella y la forma de un hidrograma. La obtención de este tipo de hidrogramas se detalla en la Figura N° 3.5.2.2.

**Figura N° 3.5.2.2:** Hidrograma unitario triangular.  
**Fuente:** Hidrología aplicada, Ven Te Chow.



De la geometría del hidrograma unitario se determinan las siguientes ecuaciones:

❖ **Caudal Máximo ( $Q_p$ ).**

$$Q_p = 2V / T_b \tag{3.5.2.4}$$

Donde:

$Q_p$ : Descarga Máxima, en  $mt^3/seg$ .

$V$ : Volumen de Escurrimiento en  $mt^3$ .

$T_b$ : Tiempo base, en horas.



❖ **Tiempo Base ( $T_b$ ).**

$$T_b = 2.67 T_p \quad (3.5.2.5)$$

Donde:

$T_p$  : Tiempo pico, en horas.

❖ **Tiempo Pico ( $T_p$ ).**

$$T_p = D/2 + 0.6 T_c \quad (3.5.2.6)$$

Donde:

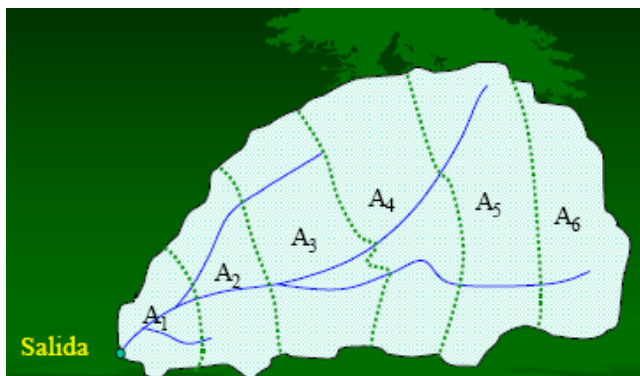
D: Duración, en minutos.

$T_c$ : Tiempo de Concentración, en horas.

#### **4 - MÉTODO DE LAS ISÓCRONAS.**

Para desarrollar éste método hay que tomar en cuenta dos variables importantes: Intensidad de la precipitación y velocidad de propagación de la onda de crecidas, ésta última suele suponerse constante e independiente de la Intensidad. Para la fijación de los valores de intensidad de propagación de la onda, se utilizan datos directo o son estimados por fórmulas empíricas, métodos estadísticos o por comparación con otras cuencas con características similares.

En cuanto a la duración de la lluvia, los valores máximos de crecidas corresponden a eventos lluviosos cuya duración sea del orden del tiempo de concentración. Se suele hacer además la hipótesis de que las lluvias más desfavorables pueden ocurrir en cualquier zona de una región y que las crecidas se propagan con velocidad constante a lo largo de los cauces. Para aplicar el método de las Isócronas es necesario descomponer la superficie de la cuenca en un cierto número de sectores, limitado por líneas (Isócronas) en las que una gota de agua tarda en llegar tiempos sucesivos de valor  $t$ ,  $2t$ ,  $3t$ , siendo  $t$  la unidad de tiempo considerada.

**Figura N<sup>o</sup> 3.5.2.3:** Esquematización de líneas Isocronas.

El intervalo de tiempo de separación entre Isócronas debe calcularse para que el número de zonas delimitadas sea cinco, como mínimo (fig. N<sup>o</sup> 3.5.2.3). Una vez fijado el intervalo, se definen o calculan las longitudes de los cauces principales y el mayor número de cauces secundarios, hasta obtener el número suficiente de puntos para encajar las curvas Isócronas, que se trazan con los siguientes criterios:

- Las Isócronas cortan ortogonalmente a los cauces, presentando su concavidad hacia aguas abajo.
- Las Isócronas cortan a las divisorias, formando ángulo agudo hacia aguas arriba.
- Si una Isócrona llega a una divisoria parcial o total, sigue por la divisoria hasta encontrar la misma Isócrona de la cuenca contigua.
- Cada Isócrona se comporta como una unidad homogénea, es decir, que en cada Isócrona es aplicable la Ecuación Racional.
- La sumatoria de los caudales parciales por Isócrona, es igual al Caudal Total.

### 3.6 ANALISIS HIDRAULICO.

El estudio Hidráulico llega a determinar la sección Hidráulica óptima, que es capaz de manejar el caudal de la cuenca, en los cuales, se utilizan los parámetros de diseño que comparan un factor geométrico calculado a partir de sus dimensiones con el factor Hidráulico calculado en base al caudal de la cuenca, la Rugosidad del Cauce y la pendiente del Río.

La fórmula que relaciona estos parámetros es la siguiente:

$$\frac{Qn}{S^{1/2}} = A_H R_H^{2/3} \quad (3.6.1)$$

Factor Hidráulico = Factor Geométrico

#### Elementos Geométricos de una Sección de Canal.

Los elementos geométricos son propiedades de una sección de canal que pueden ser definidos por completo por la geometría de la sección y la profundidad de flujo. Estos elementos son muy importantes y se utilizan con amplitud en el cálculo de flujo.

Para secciones de canal regulares y simples, los elementos geométricos pueden expresarse matemáticamente en términos de la profundidad de flujo y de otras dimensiones de la sección. Para secciones complicadas y secciones de corrientes naturales, sin embargo, no se puede escribir una ecuación simple para expresar estos elementos y la profundidad de flujo para uso en cálculos Hidráulicos.

A continuación se dan las definiciones de varios elementos geométricos.

➤ **Profundidad de Flujo (Yn).**

Es la distancia vertical desde el punto más bajo de una sección del canal hasta la superficie libre. A menudo este término se intercambia con la profundidad de flujo de la sección,  $d$ . En efecto, la profundidad de flujo de la sección de flujo perpendicular a la

dirección de este, o la altura de la sección del canal que contiene el agua. Para un canal con un ángulo de pendiente longitudinal  $\theta$ , puede verse que la profundidad de flujo es igual a la profundidad de sección de flujo dividida por  $\cos \theta$ . En el caso de canales empinados, por consiguiente, los dos términos deben utilizarse de manera discriminada.

➤ **Nivel**

Es la elevación o distancia vertical desde un nivel de referencia o *datum* hasta la superficie libre. Si el punto más bajo de la sección de canal se escoge como el nivel de referencia, el nivel es idéntico a la profundidad de flujo.

➤ **Ancho Superficial ( $T$ )**

Es el ancho de la sección del canal en la superficie libre.

➤ **Área Mojada ( $A$ )**

Es el área de la sección transversal del flujo perpendicular a la dirección de flujo.

➤ **Perímetro Mojado ( $P$ )**

Es la longitud de la línea de intersección de la superficie de canal mojada y de un plano transversal perpendicular a la dirección de flujo.

➤ **Radio Hidráulico ( $R$ )**

Es la relación del área mojada con respecto a su perímetro mojado.

$$R_H = \frac{A}{P} \quad (3.6.2)$$

➤ **Profundidad Hidráulica ( $D$ )**

Es la relación entre el área mojada y el ancho en la superficie.

$$D = \frac{A}{T} \quad (3.6.3)$$

➤ **Factor de Sección para Flujo crítico (Z)**

Es el producto del área mojada y la raíz cuadrada de la profundidad hidráulica.

$$Z = A\sqrt{D} = A\sqrt{\frac{A}{T}} \quad (3.6.4)$$

**Magnitud del Empuje.**

Frecuentemente el ingeniero encuentra problemas relativos a proyectos de estructuras que deben resistir presiones por líquidos tales como: compuertas, diques, muros, depósitos, etc.

$$E = \gamma h A \quad (3.6.5)$$

Donde:

- $\gamma$ : Pesos específico del líquido.
- h: Profundidad del centro de gravedad.
- A: Área de la superficie.

Determinación del centro de presión.

La determinación del centro de presión puede ser determinada, aplicándose el teorema de los momentos.

$$Y_p = y + (I_o/Ay) \quad (3.6.6)$$

Donde:

- Yy: Profundidad del centro de gravedad.
- $I_o$ : Momento de inercia relativo al eje que pasa por el centro de gravedad.
- A: Área de la superficie



**CAPITULO IV**  
**“EVALUACION DEL**  
**ÁREA DE ESTUDIO”**

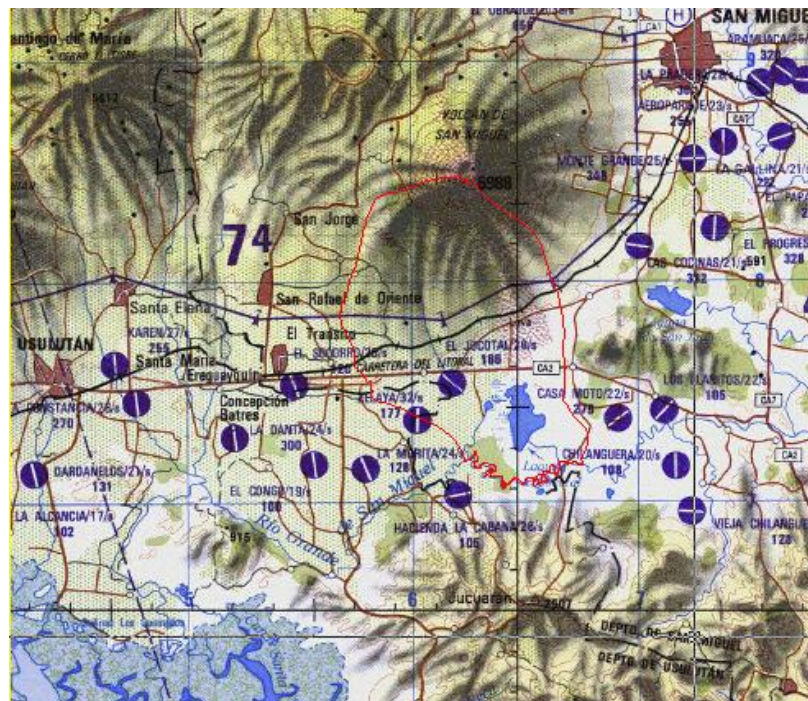
### ESTUDIO HIDROLOGICO.

El estudio hidrológico consiste en el análisis de todas las variables hidrológicas que se manifiestan en la cuenca de la Laguna El Jocotal, con el objetivo de determinar el caudal máximo aportado por la cuenca y la influencia del desborde del Rio Grande de San Miguel. A si como también calcular el nivel máximo que alcanza este caudal en la zona baja del Cantón El Borbollón, ya que es este sector el que presenta mayor grado de riesgo. Todo esto será evaluado para diferentes periodos de ocurrencia, los cuales nos permitirán establecer la mejor propuesta de solución.

#### 4.1 CARACTERISTICAS FISICAS DE LA CUENCA.

Con las características físicas de la cuenca se trata de obtener una descripción real en el momento que se realizó la investigación.

Figura N<sup>0</sup> 4.1.1: Cuenca de la Laguna El Jocotal.



## 1. Geología.

La geología de la subcuenca de la Laguna El Jocotal es caracterizada de acuerdo a la textura del suelo que se encontró en los sitios visitados.

### ❖ Ribera del Rio Grande de San Miguel:

En las riberas del Rio Grande de San Miguel pudimos observar suelos estratificados de textura variable, en esta planicie se depositan material proveniente de la erosión que sufre la cuenca del Rio Grande, por lo que pudimos concluir que este tipo de suelo pertenece a los suelos aluviales.

**Figura N° 4.1.2:** Geología en las riberas del Rio Grande de San Miguel.



### ❖ Riberas de la Laguna El Jocotal:

En el terreno circundante de la Laguna El Jocotal costado este, oeste y sur se observó material originado de las cenizas volcánicas depositadas en distintas épocas (aluviales localmente con intercalaciones de piroclastita), es de hacer notar que su uso potencial en la productividad agrícola va desde alta a muy alta y en las áreas arriba de los 500 msnm se convierten en terrenos idóneos para el cultivo del café.



**Figura N° 4.1.3:** Geología en las riberas de la Laguna El Jocotal.



❖ Parte alta del Cantón El Borbollón:

La comunidad del Cantón El Borbollón prácticamente se encuentra asentada sobre suelos producidos por una erupción volcánica, la escoria volcánica solidificada frecuentemente se encuentran en los patios de las viviendas del Cantón El Borbollón. El nivel productivo es bien bajo, sin embargo estas corrientes de lava son usadas como material de construcción (muros de piedra y como balasto).

**Figura N° 4.1.4:** Geología en la comunidad del Cantón El Borbollón.



## 2. Vegetación.

La superficie de la subcuenca de la Laguna El Jocotal presenta una variedad de vegetación, en las riberas de la Laguna El Jocotal se encuentra una buena porción de bosque espeso compuesto por arboles de Amate, Conacaste, Jiote, Mangollano y arboles medicinales de Ipacina, tal como se muestra en la fotografía 4.1.5. Los pastizales también se encuentran en grandes extensiones de tierra.

**Figura N° 4.1.5:** Vegetación en las riberas de la Laguna El Jocotal.



## 3. Uso de suelo.

El uso de suelo dentro de la subcuenca de la Laguna El Jocotal fundamentalmente se basa en el campo agrícola y en el pastoreo de ganado. Ambas actividades son desarrolladas en un 75% en el área de estudio, es de hacer notar que estas actividades se practican hasta las inmediaciones del volcán Chaparrastique. En la siguiente fotografía puede apreciarse lo dicho anteriormente.

**Figura N° 4.1.6:** Uso de suelo predominante en la subcuenca.



## 4.2 PARAMETROS FISICOS DE LA CUENCA.

### 1. Área y perímetro de la Cuenca ( $A_c$ , $P_c$ ).

Para determinar el área y perímetro de la cuenca así como la longitud del cause mas largo, longitud de curvas de nivel y el área entre ellas, fue necesario adquirir planos topográficos digitalizados a una escala 1:50,000, luego se procedió a georeferenciarlos con la ayuda de los programas ArcGis y AutoCAD, quedando de esta manera listos para realizar modificaciones.

Los cuadrantes topográficos utilizados fueron las hojas 2556 III, 2555 III, 2556 II, 2555 I.

Área de la cuenca:

$$A_c = 118.1836 \text{ km}^2.$$

Perímetro de la cuenca.

$$P_c = 51.6270 \text{ km}.$$

### 2. Longitud del cause mas largo ( $L_c$ ).

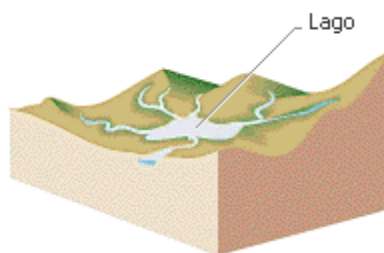
En la cuenca de la Laguna El Jocotal, el cuse mas largo se le conoce como Quebrada El Llano, inicia en la parte alta del Volcán Chaparrastique hasta la planicie de inundación de la Laguna El Jocotal.

$$L_c = 16.0251 \text{ km}.$$

### 3. Modelo de drenaje de la cuenca.

La cuenca hidrográfica de la Laguna El Jocotal se alimenta de afluentes que provienen de las elevaciones que la rodean, por lo tanto su modelo de drenaje se clasifica como *drenaje centrípeto* y la clasificación de la cuenca es *endorreica* ya que los cauces drenan a un punto dentro de la cuenca, para luego ser evacuadas por un canal natural hacia el Rio Grande de San Miguel.

**Figura N° 4.2.1:** Drenaje centrípeto.



### 4. Densidad de drenaje ( $D_d$ ).

La densidad de drenaje se calcula dividiendo la longitud total de los cursos de agua entre el área de la cuenca.

$$D_d = L_{total}/A_c$$

$$D_d = 164.7645 \text{ km} / 118.2760 \text{ km}^2$$

$$D_d = 1.3931 \text{ km/km}^2$$

Usualmente  $D_d$  toma valores entre  $0.5 \text{ km/km}^2$  para hoyas con drenaje pobres hasta  $3.5 \text{ km/km}^2$  para hoyas esencialmente bien drenadas.

La cuenca de la Laguna El Jocotal, presenta un drenaje en términos medios.

### 5. Elevación media ( $E_m$ ).

La elevación media fue calculada por medio de dos métodos, para luego usar un valor promedio.

**a) Método de la curva hipsométrica.**

Usando un intervalo de curvas de 100 mt, se obtuvieron los siguientes datos (Ver Plano N° 1/1 en Anexo):

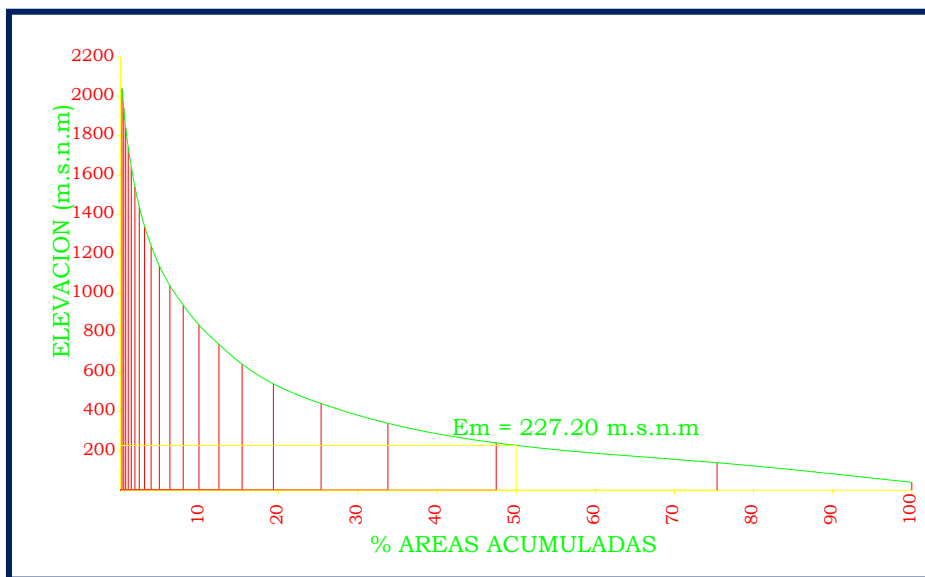
**Tabla N° 4.2.1:** Tabulación para la Curva Hipsométrica.

Elevación (m.s.n.m)	Área entre curvas (km <sup>2</sup> )	% de área	Áreas acumuladas (km <sup>2</sup> )
2040 - 1940	0,2074	0,1755	0,1755
1940 - 1840	0,2696	0,2281	0,4036
1840 - 1740	0,2964	0,2508	0,6544
1740 - 1640	0,3654	0,3092	0,9636
1640 - 1540	0,4534	0,3836	1,3472
1540 - 1440	0,5441	0,4604	1,8076
1440 - 1340	0,6539	0,5533	2,3609
1340 - 1240	0,7848	0,6641	3,0250
1240 - 1140	0,9920	0,8394	3,8643
1140 - 1040	1,2267	1,0380	4,9023
1040 - 940	1,5575	1,3179	6,2202
940 - 840	2,0001	1,6924	7,9125
840 - 740	2,3528	1,9908	9,9033
740 - 640	2,9810	2,5223	12,4257
640 - 540	3,4705	2,9365	15,3622
540 - 440	4,6634	3,9459	19,3081
440 - 340	7,1277	6,0310	25,3391
340 - 240	9,9737	8,4392	33,7783
240 - 140	16,1840	13,6939	47,4722
140 - 40	32,9967	27,9199	75,3921
40 - 0	29,0825	24,6079	100,0000
<b>Σ=</b>	<b>118,1836</b>		

Luego se graficó las elevaciones contra el porcentaje de área acumulada (ver Gráfico N° 4.2.1). La elevación media por este método es la ordenada que corresponde al 50% de las áreas acumuladas de la cuenca, obteniendo un valor de:

$E_m = 227.20$  m.s.n.m.

Grafico N° 4.2.1: Curva Hipsométrica



**b) Método de los pares de contornos.**

La determinación de la elevación media por este método se basa en aplicar la siguiente ecuación.

$$E_m = \frac{\sum_{i=1}^n a_i e_i}{A_c}$$

Donde:

Em: Elevación media de la cuenca (m.s.n.m.)

ai: Área entre dos curvas de nivel sucesivas (Km2)

ei: Elevación media entre dos curvas de nivel sucesivas (m)

Ac: Área total de la cuenca (Km2)

Con el mismo intervalo de curvas de nivel se obtuvieron los siguientes datos:

Tabla N° 4.2.2: Datos para el método de pares de contornos.

Elevación (m.s.n.m)	Área entre curvas (km <sup>2</sup> )	Elevación media (m)	Área*Elevación
2040 - 1940	0,2074	1990,00	412,7260
1940 - 1840	0,2696	1890,00	509,5440
1840 - 1740	0,2964	1790,00	530,5560
1740 - 1640	0,3654	1690,00	617,5260
1640 - 1540	0,4534	1590,00	720,9060
1540 - 1440	0,5441	1490,00	810,7090
1440 - 1340	0,6539	1390,00	908,9210
1340 -1240	0,7848	1290,00	1012,3920
1240 - 1140	0,9920	1190,00	1180,4800
1140 -1040	1,2267	1090,00	1337,1030
1040 - 940	1,5575	990,00	1541,9250
940 - 840	2,0001	890,00	1780,0890
840 - 740	2,3528	790,00	1858,7120
740 -640	2,9810	690,00	2056,8900
640 -540	3,4705	590,00	2047,5950
540 -440	4,6634	490,00	2285,0660
440 -340	7,1277	390,00	2779,8030
340 - 240	9,9737	290,00	2892,3730
240 - 140	16,1840	190,00	3074,9600
140 - 40	32,9967	90,00	2969,7030
40 - 0	29,0825	19,00	552,5675
<b>Σ=</b>	<b>118,1836</b>		<b>31880,5465</b>

Sustituyendo valores se tiene:

$$E_m = 31880.5465 \text{ km}^2 * \text{m.s.n.m} / 118.1836 \text{ km}^2$$

$$E_m = 269.75 \text{ m.s.n.m.}$$

$$E_m = (227.20 + 269.75) / 2$$

$$E_m = 248.48 \text{ m.s.n.m.}$$

### 6. Pendiente media de la cuenca ( $P_m$ ).

Este parámetro es de importancia pues da un índice de la velocidad media de la escorrentía, su poder de arrastre de erosión y el tiempo de concentración de las aguas en un punto determinado.

#### a) Método de Horton.

Para calcular la pendiente media por el método de Horton, se aplica la siguiente ecuación 3.4.7.3:

$$P_m = N \frac{D}{L} \sec \phi$$

Donde:

$P_m$ : Pendiente de la cuenca en la dirección horizontal o vertical.

$N$ : Número total de intersecciones y tangencias de las líneas del reticulado y las curvas de nivel en la dirección horizontal o vertical.

$D$ : Desnivel o distancia entre las curvas de nivel.

$L$ : Longitud total de las líneas del reticulado en la dirección horizontal o vertical.

$\phi$  : Angulo entre las curvas de nivel y las líneas del reticulado.

**NOTA:** La determinación de  $\phi$  , es una tarea muy laboriosa, por lo que Horton sugiere utilizar un valor promedio de 1.57. (Ver Plano N° 1/1 en Anexo):

#### 1) Pendiente media en la dirección horizontal “X”

$$P_{mx} = 1.57 N_x \frac{D}{L_x}$$

$$P_{mx} = 1.57(80) \frac{100 \text{ m}}{118117.7925 \text{ m}} = 0.1063$$

#### 2) Pendiente media en la dirección vertical “Y”



$$P_{my} = 1.57N_y \frac{D}{L_y}$$

$$P_{my} = 1.57(101) \frac{100 \text{ m}}{119341.0632 \text{ m}} = 0.1329$$

$$P_m = (P_{mx} + P_{my})/2 = (0.1063 + 0.1329) / 2$$

$$P_m = 0.1196 = 11.96 \%$$

**b) Método de longitudes de las curvas de nivel (criterio de Alvord).**

La pendiente media de la cuenca se calcula por la siguiente expresión:

$$P_m = \frac{\sum LD}{A_c}$$

Donde:

$\sum L$ : Sumatoria de todas las longitudes de las curvas de nivel (km).

D: Intervalo entre dos curvas de nivel consecutiva (km).

$A_c$ : Área de la cuenca (km<sup>2</sup>).

**Tabla N° 4.2.3:** Longitudes de las curvas de nivel.

Curva	Longitud	Curva	Longitud
C – 40	13,4731	C – 1140	5,2810
C – 140	14,4546	C – 1240	4,8270
C – 240	14,7004	C – 1340	4,0455
C – 340	13,5258	C – 1440	3,5235
C – 440	11,7673	C – 1540	2,9852
C – 540	12,0630	C – 1640	2,5851
C – 640	10,7420	C – 1740	2,0955
C – 740	9,2440	C – 1840	1,7620
C – 840	7,8963	C – 1940	1,3328
C – 940	6,5708	C – 2040	0,7760
C – 1040	5,9248		
			$\Sigma = 149.5757 \text{ km}$

Sustituyendo valores en la ecuación se tiene:

$$P_m = \frac{149.5757 \text{ km} \times 0.10 \text{ km}}{118.1836 \text{ km}^2}$$

$$P_m = 12.66 \%$$

La pendiente media de la cuenca será:

$$P_m = (11.96 + 12.66) / 2$$

$$P_m = 12.31 \%$$

### 4.3 CARACTERISTICAS DE FORMA DE LA CUENCA.

#### 1. Coeficiente de compacidad o índice de Gravelios ( $K_c$ ).

Es la relación entre el perímetro de la hoya y la longitud de la circunferencia de un círculo de área igual al de una hoya.

$$K_c = 0.2821 \frac{P}{A_c}$$

Donde:

P: Perímetro de la cuenca en km.

$A_c$ : Área de drenaje de la cuenca en  $\text{km}^2$ .

$$K_c = 0.2821 \frac{51.6270}{\sqrt{118.1836}}$$

$$K_c = 1.34$$

Este parámetro nos indica que la cuenca de la Laguna El Jocotal tiene forma aproximadamente circular, es decir que tenemos una mayor tendencia a las crecientes máximas.

#### 2. Factor de forma ( $K_f$ ).

Es la relación entre el ancho medio y la longitud axial de la hoya, y se calcula por medio de la siguiente ecuación.

$$K_f = \frac{A_c}{L^2}$$

Donde:

$A_c$ : Área de drenaje de la cuenca en  $km^2$ .

$L$ : Longitud axial de la cuenca en km.

$$K_f = \frac{118.1836 \text{ km}^2}{(10.9779 \text{ km})^2}$$

$$K_f = 0.98$$

Este índice ha sido usado frecuentemente como indicador de la forma del Hidrograma unitario, además este valor sirve para comparar cuencas, determinando cual de ellas estará mas sujeta a crecientes máximas.

#### 4.4 CALCULO DEL CAUDAL MAXIMO O AVENIDA MAXIMA.

Con el objeto de obtener el caudal más aproximado, se determinará por medio de dos métodos:

- ❖ **Método de las curvas Isocronas.**
- ❖ **Método del Hidrograma Unitario Triangular Equivalente.**

##### 4.4.1 MÉTODO DE LAS CURVAS ISOCRONAS.

Este método es considerado como una extensión mejorada del método racional, en donde la descarga máxima es la suma de todos caudales de las subdivisiones que representan las curvas Isocronas.

El “**método de las Isocronas**”, basa su estudio en la relación Lluvia-Escorrentía, datos de precipitación, parámetros físicos de la cuenca, especialmente su tamaño para el cual se encuentra limitado.

La información básica que se debe disponer para estimar una crecida es la siguiente:

- ◆ Información de intensidades máximas, mapas con información topográfica, que permitan la delimitación de la zona de recogimiento, así como la definición de los principales cauces.
- ◆ Mapas que definan el comportamiento de las lluvias en los meses húmedos, además debe disponerse de información de las condiciones geológicas y de vegetación de la zona, así como datos de aforo o caudales máximos registrados, información que resulta indispensable para la aplicación de la metodología.
- ◆ El mapa hidrográfico de la zona se utiliza para calcular el tiempo de concentración del área de interés, así como la longitud de los diferentes cauces por medio de los cuales podemos determinar los intervalos entre las curvas Isócronas

Conocido el tiempo de concentración de la cuenca se podrá determinar o establecer el tiempo de duración de la lluvia. Es importante también para efecto de revisión del dato a generar, disponer de caudales máximos de alguna estación hidrométrica a fin de dar un dictamen de la bondad de la metodología utilizada. Además, se debe establecer cuál será el período de diseño a ser utilizado.

### **1. Establecimiento de las líneas Isocronas.**

Las líneas Isocronas son aquellas que delimitan cierto número de sectores, en las que una gota de agua tarda en llegar en tiempos sucesivos de  $t$ ,  $2t$ , etc., al punto considerado, por lo cual es de interés la determinación del tiempo de concentración.

**2. Tiempo de concentración ( $T_c$ ).**

Tiempo de concentración o tiempo de respuesta, es el tiempo necesario para que todo el sistema (cuenca) contribuya eficazmente a la generación de flujo en la salida.

**a) Formula de Kirpich (1940).**

$$T_c = 0.01947 \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}}$$

Donde:

$T_c$ : Tiempo de concentración en minutos.

L: Longitud del cauce en metros.

S: Pendiente promedio de la cuenca.

$$L_c = 16025.13 \text{ mt.}$$

$$S = 12.31 \%$$

$$T_c = 0.01947 \frac{(16025.13)^{0.77}}{(0.1231)^{0.385}}$$

$$T_c = 75.39 \text{ min.}$$

**b) Formula de Giandotti.**

$$T_c = \frac{\sqrt{A_c} + 1.5L_c}{0.85 \times \sqrt{H_m}}$$

Donde:

$T_c$ : tiempo de concentración de la cuenca (hr.)

$A_c$ : Área de la cuenca ( $\text{Km}^2$ )

$L_c$ : longitud del cauce más largo (km.)

$H_m$ :  $(H_{\max} + H_{\min})/2 = (2000 + 40)/2 = 1020 \text{ msnm.}$

Sustituyendo los datos tenemos:

$$T_c = \frac{\sqrt{118.1836} + 1.5(16.0251)}{0.85 \times \sqrt{1020}}$$

$$T_c = 1.29 \text{ hr.}$$

$$T_c = 77.40 \text{ min.}$$

**c) Formula de Pickering.**

$$T_c = \left( \frac{0.87L^3}{H} \right)^{0.385}$$

Donde:

$T_c$  : Tiempo de concentración en hr.

L: Longitud del cauce mas largo en km.

H: Diferencia de elevación en metros entre el punto de inicio del cauce y la divisoria de la cuenca en el punto de interés.

$$H = 1560 - 40 = 1520 \text{ msnm.}$$

Sustituyendo valores tenemos:

$$T_c = \left( \frac{0.87(16.0251)^3}{1520} \right)^{0.385}$$

$$T_c = 1.39 \text{ hr.}$$

$$T_c = 83.45 \text{ min.}$$

Tiempo de concentración promedio.

$$T_c = (75.39 + 77.40 + 83.45)/3$$

$$T_c = 78.75 \text{ min.}$$

Posteriormente se estima la velocidad de propagación de la onda de crecida que se puede calcular partiendo de la ley física del movimiento uniforme.

Para efecto de trazado de las curvas Isocronas, el tiempo de concentración se divide en cinco partes como mínimo, luego el tiempo resultante en minutos se multiplica por la velocidad máxima dando un valor de longitud que correspondería a ese intervalo

de tiempo. Obteniéndose una serie de puntos en diferentes cauces, los que son unidos por medio de trazos que permiten definir el diagrama de curvas (ver Plano)

$$V = d/t$$

Donde:

d = Distancia del recorrido más largo.

t = Tiempo de concentración.

$$V = 16025.1315 \text{ mt} / 78.75 \text{ min.}$$

$$V = 203.494 \text{ mt/min}$$

Tiempo de cada curva:

$$t_1 = \text{Tiempo de concentración} / 6 = 78.75 \text{ min} / 6 = 13.125 \text{ min}$$

$$t_1 = 13.125 \text{ min.}$$

Distancia para cada curva

$$d_1 = v t_1 = (203.494 \text{ mt/min} \times 13.125 \text{ min})$$

$$d_1 = 2670.86 \text{ mt.}$$

### 3. Determinación de los coeficientes de escorrentía.

El coeficiente de escorrentía es la variable menos precisa en el método de Isocronas, puesto que una selección adecuada requiere del conocimiento y la experiencia por parte del hidrólogo. A diferencia del método racional, para este caso se debe determinar un coeficiente de escorrentía para cada zona delimitada por las líneas Isocronas.

Para nuestro caso, este se determinó en base al Nomograma de Ven-Te-Chow, donde el coeficiente de escorrentía está en función de tres variables: Tipo de suelo, cobertura vegetal y pendiente del terreno.

**Figura N° 4.4.1.1:** Tipos de vegetación que se encuentran en la cuenca de la Laguna El Jocotal.



- ❖ Para considerar las condiciones del tipo de suelo, que están definidas en función de la permeabilidad del mismo, se utilizó un mapa geológico del área de estudio, en este caso, en el área de de la cuenca de la Laguna El Jocotal, se identificó la formación geológica de San Salvador, compuestas por aluviones localmente constituido con intercalaciones de piroclásticas, efusivas andesíticas y basálticas, entre otros, (Ver mapa N, en anexo). En base a esta descripción se considera la cuenca de la Laguna El Jocotal como suelo semipermeable.
- ❖ La evaluación de la cobertura vegetal se realizó mediante un mapa de uso de suelo proporcionado por el Ministerio del Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN), lo que permitió obtener una información bastante aproximada. (Ver mapa 1/1, en anexo).
- ❖ Para el cálculo de la pendiente del terreno, se determinó para cada sector delimitado por las curvas Isocronas, utilizando el método de Horton. Ver tabla N° 4.4.1.1



**Tabla N° 4.4.1.1:** Pendiente media para cada sector.

Sector	Intersecciones		Longitud (mt)	Pendiente	Pendiente de c/sector
1	Horizontal	8	38406.828	0.0327	4.03%
	Vertical	12	39439.9522	0.0478	
2	Horizontal	5	27615.074	0.0284	4.54%
	Vertical	11	27688.9069	0.0624	
3	Horizontal	20	23696.2813	0.1325	14.76%
	Vertical	24	23153.5595	0.1627	
4	Horizontal	17	12784.1498	0.2088	21.84%
	Vertical	21	14466.707	0.2279	
5	Horizontal	12	11453.7668	0.1645	29.85%
	Vertical	31	11255.4538	0.4324	
6	Horizontal	7	1644.2358	0.6684	60.37%
	Vertical	10	2912.6088	0.539	

**NOTA:** Los valores presentados en la tabla N° 4.4.1.1 fueron calculados con la ecuación 3.4.7.3 y en base al plano N° 1/1 en anexo.

Con esta información se procede a calcular los coeficientes de escorrentía por medio del nomograma de Ven-Te-Chow ( anexo), a continuación se presenta un cuadro resumen:

Tabla N° 4.4.1.2: Coeficiente de escorrentía para cada sector.

SECTOR	ÁREA (km <sup>2</sup> )	GEOLOGÍA	VEGETACIÓN	PENDIENTE	C
1	2.3493	Semipermeable (formación San Salvador)	1 Sin vegetación (lava)	4.03%	0.554
	7.0083		2 Cultivos (hortaliza, maíz, caña de azúcar, café)		0.450
	25.9459		3 Pastos		0.398
	1.0834		5 Bosques naturales		0.306
2	5.0712	Semipermeable (formación San Salvador)	1 Sin vegetación (lava)	4.54%	0.560
	1.1467		2 Cultivos (hortaliza, maíz, caña de azúcar, café)		0.454
	19.5029		3 Pastos		0.403
	1.8586		5 Bosques naturales		0.312
3	1.2074	Semipermeable (formación San Salvador)	1 Sin vegetación (lava)	14.76%	0.608
	-		2 Cultivos (hortaliza, maíz, caña de azúcar, café)		-
	17.5578		3 Pastos		0.450
	4.6178		5 Bosques naturales		0.360
4	1.327	Semipermeable (formación San Salvador)	1 Sin vegetación (lava)	21.84%	0.626
	2.4008		2 Cultivos (hortaliza, maíz, caña de azúcar, café)		0.510
	7.4094		3 Pastos		0.47
	2.9534		5 Bosques naturales		0.378
5	5.6471	Semipermeable (formación San Salvador)	1 Sin vegetación (lava)	29.85%	0.642
	0.2538		2 Cultivos (hortaliza, maíz, caña de azúcar, café)		0.525
	5.1957		3 Pastos		0.484
	0.0177		5 Bosques naturales		0.392
6	2.0719	Semipermeable (formación San Salvador)	1 Sin vegetación (lava)	60.37%	0.667
	0.165		2 Cultivos (hortaliza, maíz, caña de azúcar, café)		0.552
	0.1134		3 Pastos		0.510
	0.3156		5 Bosques naturales		0.420

#### 4. Determinación de las Intensidades de precipitación de diseño.

La cuenca de la Laguna El Jocotal no posee información instantánea en lo que respecta a intensidad de lluvia y caudales máximos en el interior de su área de drenaje, razón por la cual y para efecto de obtener sus parámetros de diseño, se procedió a utilizar la información proveniente de las estaciones meteorológicas de El Papalón de San Miguel y Santiago de María de Usulután, las cuales poseen registros históricos hasta el año 1983. Estos datos fueron proporcionados por el SNET (ver anexo).

El valor del tiempo de concentración para la cuenca de la Laguna El Jocotal es de **78.75 min**, por lo que tomaremos periodos de duración de 30, 45, 60, 90, 120 y 150 min.

##### ❖ Ajuste de intensidades máximas anuales.

Consiste en ajustar las intensidades máximas anuales registradas utilizando principios estadísticos aplicables a valores extremos como la Ley de Gumbel.

El procedimiento a seguir es el siguiente:

1. Se ordenan los datos de menor a mayor.
2. Se calcula su probabilidad de ocurrencia o frecuencia por medio de la fórmula

$$f = \frac{m}{n + 1}$$

Donde: m: Posición de los datos después que se han ordenados de menor a mayor.

n: Numero total de datos.

3. Se realiza el ajuste gráfico en papel Gumbel obteniéndose la curva de frecuencia acumulada (ver anexo). De estas curvas se toman los datos correspondientes a los periodos de retorno que se han considerado, luego estos datos se grafican en papel logarítmico (ver anexo). A esta gráfica es a la que llamamos Curva de Intensidad – Duración – Frecuencia (I-D-F).

### 5. Periodo de retorno.

Para determinar los periodos de retorno, es importante considerar que los datos de intensidades máximas anuales mas actuales corresponden al año 1983, por esta razón evaluaremos el comportamiento que presentó la cuenca en el año 1998, que fue el año de ocurrencia del huracán MICH, ya que según los habitantes del Cantón El Borbollón este fenómeno ha sido el evento más significativos; este corresponde a un periodo de 15 años, y para analizar la época actual utilizamos un periodo de 26 años, y para tener una modelación hidrológica a futuro utilizaremos periodos de retorno de 30 y 50 años.

Para obtener las intensidades de diseño de cada sector, se tomaron lecturas de las curvas I-D-F de ambas estaciones, con el fin de usar un valor promedio. A continuación se presenta un cuadro resumen de intensidades de diseño.

**Tabla N° 4.4.1.3:** Intensidades de diseño en mm/min para cada sector.

SECTOR	INTENSIDADES DE DISEÑO EN mm/minuto			
	15 años	26 años	30 años	50 años
1	2.172	2.352	2.420	2.555
2	1.994	2.196	2.249	2.392
3	1.777	1.969	2.028	2.167
4	1.445	1.598	1.678	1.814
5	1.297	1.417	1.462	1.587
6	1.178	1.277	1.360	1.463

### 6. Calculo de caudales por sector.

Obtenida toda la información necesaria para la aplicación de la fórmula racional en cada sector de área entre cada Isocrona, se procede a calcular caudales, ya que se conocen los valores de coeficiente de escorrentía, la intensidad y el área.

$$Q = (50/3)CIA$$

Donde:

A: Área del sector en km<sup>2</sup>.





I: Intensidad de lluvia para cada sector en mm/min.

C: Coeficiente de escorrentía para el sector en análisis.

**Tabla N° 4.4.1.4:** Calculo del caudal máximo para cada sector de la cuenca.  
PERIODO DE RETORNO = 15 años.





SECTOR	ÁREA A (km <sup>2</sup> )	PENDIENTE S%	COEFICIENTE C	INTENSIDAD I (mm/min)	CAUDAL Q (m <sup>3</sup> /seg)
1	2.3493	4.03%	0.345	2.172	29.340
	7.0083		0.251	2.172	63.679
	25.946		0.194	2.172	182.213
	1.0834		0.104	2.172	4.079
2	5.0712	4.54%	0.352	1.994	59.324
	1.1467		0.256	1.994	9.756
	19.503		0.2	1.994	129.629
	1.8586		0.104	1.994	6.424
3	1.2074	14.76%	0.392	1.777	14.018
	17.558		0.242	1.777	125.841
	4.6178		0.145	1.777	19.831
4	1.327	21.84%	0.41	1.445	13.103
	2.4008		0.32	1.445	18.502
	7.4094		0.264	1.445	47.109
	2.9534		0.167	1.445	11.878
5	5.6471	29.85%	0.425	1.297	51.880
	0.2538		0.335	1.297	1.838
	5.1957		0.29	1.297	32.571
	0.0177		0.18	1.297	0.069
6	2.0719	60.37%	0.465	1.178	18.915
	0.165		0.375	1.178	1.215
	0.1134		0.323	1.178	0.719
	0.3156		0.22	1.178	1.363

**Q = 843.296**

-  Sin vegetación
-  Cultivos
-  Pastos
-  Bosques naturales

**Tabla N° 4.4.1.5:** Cálculo del caudal máximo para cada sector de la cuenca.  
 PERIODO DE RETORNO = 26 años.





SECTOR	ÁREA A (km <sup>2</sup> )	PENDIENTE S%	COEFICIENTE C	INTENSIDAD I (mm/min)	CAUDAL Q (m <sup>3</sup> /seg)
1	2.3493	4.03%	0.345	2.352	31.772
	7.0083		0.251	2.352	68.956
	25.946		0.194	2.352	197.313
	1.0834		0.104	2.352	4.417
2	5.0712	4.54%	0.352	2.196	65.333
	1.1467		0.256	2.196	10.744
	19.503		0.2	2.196	142.761
	1.8586		0.104	2.196	7.075
3	1.2074	14.76%	0.392	1.969	15.532
	17.558		0.242	1.969	139.438
	4.6178		0.145	1.969	21.973
4	1.327	21.84%	0.41	1.598	14.490
	2.4008		0.32	1.598	20.461
	7.4094		0.264	1.598	52.097
	2.9534		0.167	1.598	13.136
5	5.6471	29.85%	0.425	1.417	56.680
	0.2538		0.335	1.417	2.008
	5.1957		0.29	1.417	35.584
	0.0177		0.18	1.417	0.075
6	2.0719	60.37%	0.465	1.277	20.505
	0.165		0.375	1.277	1.317
	0.1134		0.323	1.277	0.780
	0.3156		0.22	1.277	1.478

-  Sin vegetación
-  Cultivos
-  Pastos
-  Bosques naturales

**Q = 923.927**

**Tabla N° 4.4.1.6:** Cálculo del caudal máximo para cada sector de la cuenca.  
 PERIODO DE RETORNO = 30 años.





SECTOR	ÁREA A (km <sup>2</sup> )	PENDIENTE S%	COEFICIENTE C	INTENSIDAD I (mm/min)	CAUDAL Q (m <sup>3</sup> /seg)
1	2.3493	4.03%	0.345	2.42	32.691
	7.0083		0.251	2.42	70.950
	25.946		0.194	2.42	203.018
	1.0834		0.104	2.42	4.545
2	5.0712	4.54%	0.352	2.249	66.910
	1.1467		0.256	2.249	11.003
	19.503		0.2	2.249	146.207
	1.8586		0.104	2.249	7.245
3	1.2074	14.76%	0.392	2.028	15.998
	17.558		0.242	2.028	143.616
	4.6178		0.145	2.028	22.632
4	1.327	21.84%	0.41	1.678	15.216
	2.4008		0.32	1.678	21.486
	7.4094		0.264	1.678	54.705
	2.9534		0.167	1.678	13.794
5	5.6471	29.85%	0.425	1.462	58.480
	0.2538		0.335	1.462	2.072
	5.1957		0.29	1.462	36.715
	0.0177		0.18	1.462	0.078
6	2.0719	60.37%	0.465	1.36	21.838
	0.165		0.375	1.36	1.403
	0.1134		0.323	1.36	0.830
	0.3156		0.22	1.36	1.574

-  Sin vegetación
-  Cultivos
-  Pastos
-  Bosques naturales

**Q = 953.002**

Tabla N° 4.4.1.7: Cálculo del caudal máximo para cada sector de la cuenca.  
 PERIODO DE RETORNO = 50 años.

SECTOR	ÁREA A (km <sup>2</sup> )	PENDIENTE S%	COEFICIENTE C	INTENSIDAD I (mm/min)	CAUDAL Q (m <sup>3</sup> /seg)
1	2.3493	4.03%	0.345	2.555	34.514
	7.0083		0.251	2.555	74.908
	25.946		0.194	2.555	214.343
	1.0834		0.104	2.555	4.798
2	5.0712	4.54%	0.352	2.392	71.164
	1.1467		0.256	2.392	11.703
	19.503		0.2	2.392	155.503
	1.8586		0.104	2.392	7.706
3	1.2074	14.76%	0.392	2.167	17.094
	17.558		0.242	2.167	153.459
	4.6178		0.145	2.167	24.183
4	1.327	21.84%	0.41	1.814	16.449
	2.4008		0.32	1.814	23.227
	7.4094		0.264	1.814	59.139
	2.9534		0.167	1.814	14.912
5	5.6471	29.85%	0.425	1.587	63.480
	0.2538		0.335	1.587	2.249
	5.1957		0.29	1.587	39.854
	0.0177		0.18	1.587	0.084
6	2.0719	60.37%	0.465	1.463	23.492
	0.165		0.375	1.463	1.509
	0.1134		0.323	1.463	0.893
	0.3156		0.22	1.463	1.693

-  Sin vegetación
-  Cultivos
-  Pastos
-  Bosques naturales

**Q = 1016.356**



#### 4.4.2 MÉTODO DEL HIDROGRAMA UNITARIO TRIANGULAR EQUIVALENTE.

El modelo de escurrimiento del Hidrograma Triangular tal como su nombre lo indica considera la respuesta de la cuenca ante la lluvia como un triángulo. El Hidrograma Unitario tiene en cuenta, además del área y la intensidad de la lluvia, como lo hace el método de las Isocronas, la forma, pendiente y características fisiográficas de la cuenca de estudio, aunque lo hace de forma implícita.

Siguiendo la secuencia de cálculo expuesta en el marco conceptual, procedemos de la siguiente manera:

1– Tiempo de Concentración.

Este valor fue calculado con el método anterior, dando un resultado de:

$$T_c = 78.75 \text{ min.} \approx 1.31 \text{ hr.}$$

2– Duración de la Tormenta.

Se utilizan lluvias de varias duraciones, tomadas en base al tiempo de concentración, las duraciones que se usarán son las siguientes: 1/2 hr (30min), 3/4 hr (45 min), 1 hr (60 min), 3/2 hr (90 min), 2 hr (120 min), 5/2 hr (150 min). Seleccionándose la que produzca mayor caudal.

3– Periodos de Retorno.

Los periodos de retorno ya se han establecido anteriormente, los periodos para los cuales se calcularan los caudales son: 15, 26, 30 y 50 años.

4– Coeficiente de Escorrentía.

Los coeficientes de escorrentía a emplear en este modelo de escurrimiento, son valores promedio ponderados, tomados de la tabla elaborada por Ven Te Chow en su libro titulado Hidrología Aplicada, calculados para los periodos de retorno ya establecidos.

Tabla N° 4.4.2.1: Coeficientes de escorrentía

Área (km <sup>2</sup> )	Cobertura vegetal	Pendiente (%)	C para PR de 15 años	C para PR de 26 años	C para PR de 30 años	C para PR de 50 años
2.3493	Sin vegetación (lava)	4.03%	0.44	0.46	0.47	0.49
7.0083	Cultivos (hortaliza, maíz, c. azúcar, café)		0.42	0.44	0.45	0.48
25.9459	Pastos		0.39	0.43	0.44	0.45
1.0834	Bosques naturales		0.37	0.41	0.42	0.43
5.0712	Sin vegetación (lava)	4.54%	0.44	0.47	0.48	0.49
1.1467	Cultivos (hortaliza, maíz, c. azúcar, café)		0.42	0.45	0.46	0.48
19.5029	Pastos		0.39	0.43	0.44	0.45
1.8586	Bosques naturales		0.37	0.41	0.42	0.43
1.2074	Sin vegetación (lava)	14.76%	0.45	0.49	0.5	0.52
17.5578	Pastos		0.43	0.46	0.47	0.49
4.6178	Bosques naturales		0.41	0.45	0.46	0.48
1.327	Sin vegetación (lava)	21.84%	0.45	0.49	0.5	0.52
2.4008	Cultivos (hortaliza, maíz, c. azúcar, café)		0.44	0.49	0.5	0.51
7.4094	Pastos		0.43	0.46	0.47	0.49
2.9534	Bosques naturales		0.41	0.45	0.46	0.48
5.6471	Sin vegetación (lava)	29.85%	0.46	0.5	0.51	0.52
0.2538	Cultivos (hortaliza, maíz, c. azúcar, café)		0.45	0.49	0.5	0.51
5.1957	Pastos		0.44	0.47	0.48	0.49
0.0177	Bosques naturales		0.42	0.46	0.47	0.48
2.0719	Sin vegetación (lava)	60.37%	0.47	0.5	0.52	0.52
0.165	Cultivos (hortaliza, maíz, c. azúcar, café)		0.46	0.49	0.5	0.51
0.1134	Pastos		0.45	0.47	0.48	0.49
0.3156	Bosques naturales		0.43	0.46	0.47	0.48
<b>115.2201</b>	<b>Coeficiente Promedio ponderado Ponderado =</b>		<b>0.41</b>	<b>0.45</b>	<b>0.46</b>	<b>0.47</b>

## 5– Intensidades de Lluvia para los Periodos de Retorno establecidos.

La lluvia ha sido considerada para diferentes duraciones de tormenta, con el objeto de encontrar la situación más crítica; por tal motivo las diversas intensidades se han tomado de las curvas de frecuencia acumulada, para los periodos de retorno respectivo.

**Tabla N° 4.4.2.2:** Valores promedio de Intensidades máximas en mm/hr.

<b>Período de Retorno (años)</b>	<b>1/2 hr 30min</b>	<b>3/4 hr 45 min</b>	<b>1 hr 60 min</b>	<b>3/2 hr 90 min</b>	<b>2 hr 120min</b>	<b>5/2 hr 150min</b>
15	116.88	97.80	82.8	62.64	46.02	39.54
26	128.88	109.20	93.18	68.76	52.02	45.05
30	132.42	112.38	96.18	70.98	53.70	46.92
50	140.76	120.18	103.26	76.20	57.72	50.76

## 6– Calculo de Caudales Máximos para los Periodos de Retorno establecidos.

Para el calculo de los caudales máximos o caudal pico, se utilizarán las formulas correspondiente al modelo del Hidrograma Triangular, las cuales ya fueron descritas cada uno de sus términos en el marco teórico.

- ◆ Lluvia efectiva ( $L_{\text{efectiva}}$ ). →  $L_{\text{efectiva}} = D \times i \times C \times 0.90$
- ◆ Lámina de lluvia ( $L$ ). →  $L = i \times D$
- ◆ Volumen de escorrentía ( $V$ ). →  $V = A_{\text{cuenca}} \times L_{\text{efectiva}}$
- ◆ Tiempo pico del hidrograma ( $T_P$ ). →  $T_P = (D/2 + 0.6tc)$
- ◆ Tiempo base del hidrograma ( $T_b$ ). →  $T_b = 2.67 (D/2 + 0.6tc)$

$$T_b = 2.67 T_P$$

- ◆ Caudal pico del hidrograma triangular ( $Q_P$ ).

$$Q_P = \frac{2V}{T_b}$$

A continuación se presentan los caudales picos obtenidos para los periodos de retorno y las tormentas analizadas.

Tabla N° 4.4.2.3: Caudal pico para un periodo de retorno de 15 años.

Período de Retorno PR (años)	Duración D (horas)	Intensidad I (mm/hr)	Coefficiente de Escorrentía C	Área de Cuenca A (m <sup>2</sup> )	Tiempo de Concentración T <sub>c</sub> (hr)	Lluvia Efectiva L <sub>efec</sub> (mm)	Lámina de Lluvia L (mm)	Volúmen de Escorrentía V (m <sup>3</sup> )	Tiempo Pico T <sub>p</sub> (hr)	Tiempo Base T <sub>b</sub> (hr)	Caudal Pico Q (m <sup>3</sup> /seg)
15	0.50	116.88	0.41	118183575.45	1.31	21.56	58.44	2548553.17	1.04	2.77	511.86
15	0.75	97.80	0.41	118183575.45	1.31	27.07	73.35	3198774.38	1.16	3.10	573.28
15	1.00	82.80	0.41	118183575.45	1.31	30.55	82.80	3610886.42	1.29	3.43	584.24
15	1.50	62.64	0.41	118183575.45	1.31	34.67	93.96	4097571.11	1.54	4.10	555.07
15	2.00	46.02	0.41	118183575.45	1.31	33.96	92.04	4013840.41	1.79	4.77	467.62
15	2.50	39.54	0.41	118183575.45	1.31	36.48	98.85	4310822.73	2.04	5.44	440.55

Tabla N° 4.4.2.4: Caudal pico para un periodo de retorno de 26 años.

Período de Retorno PR (años)	Duración D (horas)	Intensidad I (mm/hr)	Coefficiente de Escorrentía C	Área de Cuenca A (m <sup>2</sup> )	Tiempo de Concentración T <sub>c</sub> (hr)	Lluvia Efectiva L <sub>efec</sub> (mm)	Lámina de Lluvia L (mm)	Volúmen de Escorrentía V (m <sup>3</sup> )	Tiempo Pico T <sub>p</sub> (hr)	Tiempo Base T <sub>b</sub> (hr)	Caudal Pico Q (m <sup>3</sup> /seg)
26	0.50	128.88	0.45	118183575.45	1.31	26.10	64.44	3084378.59	1.04	2.77	619.48
26	0.75	109.20	0.45	118183575.45	1.31	33.17	81.90	3920090.11	1.16	3.10	702.55
26	1.00	93.18	0.45	118183575.45	1.31	37.74	93.18	4459999.95	1.29	3.43	721.62
26	1.50	68.76	0.45	118183575.45	1.31	41.77	103.14	4936728.86	1.54	4.10	668.75
26	2.00	52.02	0.45	118183575.45	1.31	42.14	104.04	4979806.77	1.79	4.77	580.16
26	2.50	45.06	0.45	118183575.45	1.31	45.62	112.65	5391918.81	2.04	5.44	551.04

Tabla N° 4.4.2.5: Caudal pico para un periodo de retorno de 30 años.

Periodo de Retorno PR (años)	Duración D (horas)	Intensidad I (mm/hr)	Coefficiente de Escorrentía C	Área de Cuenca A (m <sup>2</sup> )	Tiempo de Concentración T <sub>c</sub> (hr)	Lluvia Efectiva L <sub>efec</sub> (mm)	Lámina de Lluvia L (mm)	Volúmen de Escorrentía V (m <sup>3</sup> )	Tiempo Pico T <sub>p</sub> (hr)	Tiempo Base T <sub>b</sub> (hr)	Caudal Pico Q (m <sup>3</sup> /seg)
30	0.50	132.42	0.46	118183575.45	1.31	27.41	66.21	3239522.90	1.04	2.77	650.64
30	0.75	112.38	0.46	118183575.45	1.31	34.89	84.29	4123896.50	1.16	3.10	739.08
30	1.00	96.18	0.46	118183575.45	1.31	39.82	96.18	4705895.06	1.29	3.43	761.41
30	1.50	70.98	0.46	118183575.45	1.31	44.08	106.47	5209364.19	1.54	4.10	705.68
30	2.00	53.70	0.46	118183575.45	1.31	44.46	107.40	5254867.23	1.79	4.77	612.20
30	2.50	46.92	0.46	118183575.45	1.31	48.56	117.30	5739254.43	2.04	5.44	586.54

Tabla N° 4.4.2.6: Caudal pico para un periodo de retorno de 50 años.

Periodo de Retorno PR (años)	Duración D (horas)	Intensidad I (mm/hr)	Coefficiente de Escorrentía C	Área de Cuenca A (m <sup>2</sup> )	Tiempo de Concentración T <sub>c</sub> (hr)	Lluvia Efectiva L <sub>efec</sub> (mm)	Lámina de Lluvia L (mm)	Volúmen de Escorrentía V (m <sup>3</sup> )	Tiempo Pico T <sub>p</sub> (hr)	Tiempo Base T <sub>b</sub> (hr)	Caudal Pico Q (m <sup>3</sup> /seg)
50	0.50	140.76	0.47	118183575.45	1.31	29.77	70.38	3518412.50	1.04	2.77	706.65
50	0.75	120.18	0.47	118183575.45	1.31	38.13	90.14	4505997.59	1.16	3.10	807.56
50	1.00	103.26	0.47	118183575.45	1.31	43.68	103.26	5162138.03	1.29	3.43	835.23
50	1.50	76.20	0.47	118183575.45	1.31	48.35	114.30	5714045.87	1.54	4.10	774.05
50	2.00	57.72	0.47	118183575.45	1.31	48.83	115.44	5771036.35	1.79	4.77	672.34
50	2.50	50.76	0.47	118183575.45	1.31	53.68	126.90	6343940.69	2.04	5.44	648.33

#### 4.4.3 ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN EL ESTUDIO HIDROLÓGICO.

**Tabla N° 4.4.3.1:** Caudales máximos para los periodos de retorno considerados.

Periodos de Retorno (años)	Método de las Isocronas (m <sup>3</sup> /seg)	Método del Hidrograma Unitario (m <sup>3</sup> /seg)	Caudal promedio (m <sup>3</sup> /seg)
15	843.30	584.24	713.77
26	923.93	721.62	822.78
30	953.00	761.41	857.21
50	1016.36	835.23	925.80

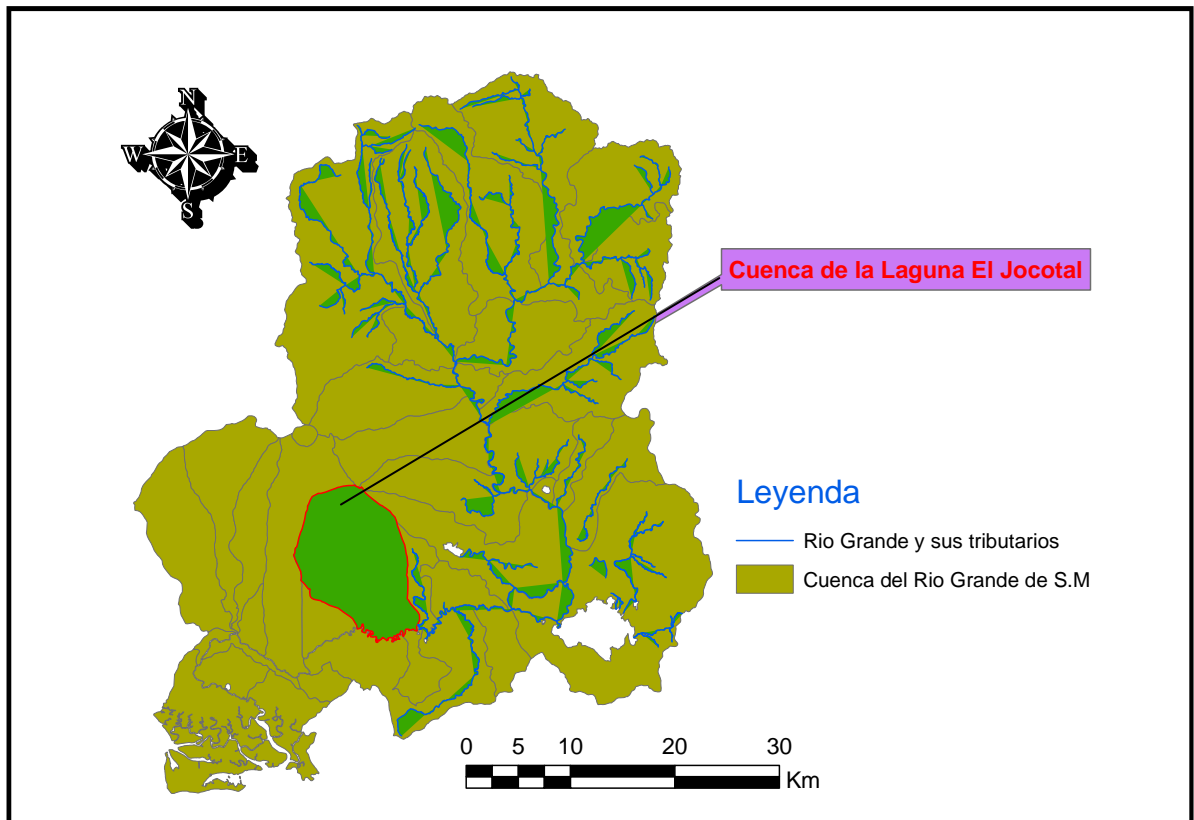
Al comparar los caudales máximos calculados por el método de las curvas Isocronas y el Hidrograma Unitario Triangular, en el caso del periodo de retorno de 15 años resulta que el primero es mayor en un 30.72% que el segundo, y en los periodos siguientes, el método de las Isocronas siempre es mayor que el método del Hidrograma Unitario Triangular en un 21.90 – 17.82%. Esta conclusión viene a confirmar la teoría de que el Método de las Isocronas es más conservador en comparación con los caudales reales, es por eso que en nuestra modelación hidrológica usaremos el promedio de ambos métodos.

#### 4.5 EFECTO DE LA CRECIDA DEL RIO GRANDE DE SAN MIGUEL.

Para poder calcular la altura de la lámina de agua que alcanza la Laguna, es necesario tener en cuenta que el Rio Grande de San Miguel se desborda al pasar por la planicie de inundación de la Laguna El Jocotal, este fenómeno ocurre cuando se dan fuertes precipitaciones en la parte alta de la cuenca del Rio Grande de San Miguel, además en este tramo el rio ya tiene la influencia del desague de la Laguna de Olomega, ver fig. N° 4.5.1.

Para calcular el caudal que produce el Rio Grande de San Miguel aguas arriba de la Laguna El Jocotal, se utiliza el “método de las curvas Isocronas”, ya que es el método que es aplicable a cuencas extensas.

**Figura N° 4.5.1:** Cuenca hidrográfica del Rio Grande de San Miguel.





#### 4.5.1 CAUDAL EN EL CANAL DE ENTRADA “MÉTODO DE LAS CURVAS ISOCRONAS”.

De igual forma que se calcularon los parámetros físicos de la cuenca de la Laguna El Jocotal, se procede a determinar los mismos para la cuenca del Rio Grande de San Miguel, por lo que consideramos innecesario volver a repetir explicaciones a conceptos que están inmersos dentro del análisis. A continuación se presentan los valores correspondientes al área, perímetro y longitud del cause mas largo, calculado en base a la figura N<sup>o</sup> 4.5.2.

Área de la cuenca:

$$A_c = 1739.5248 \text{ km}^2.$$

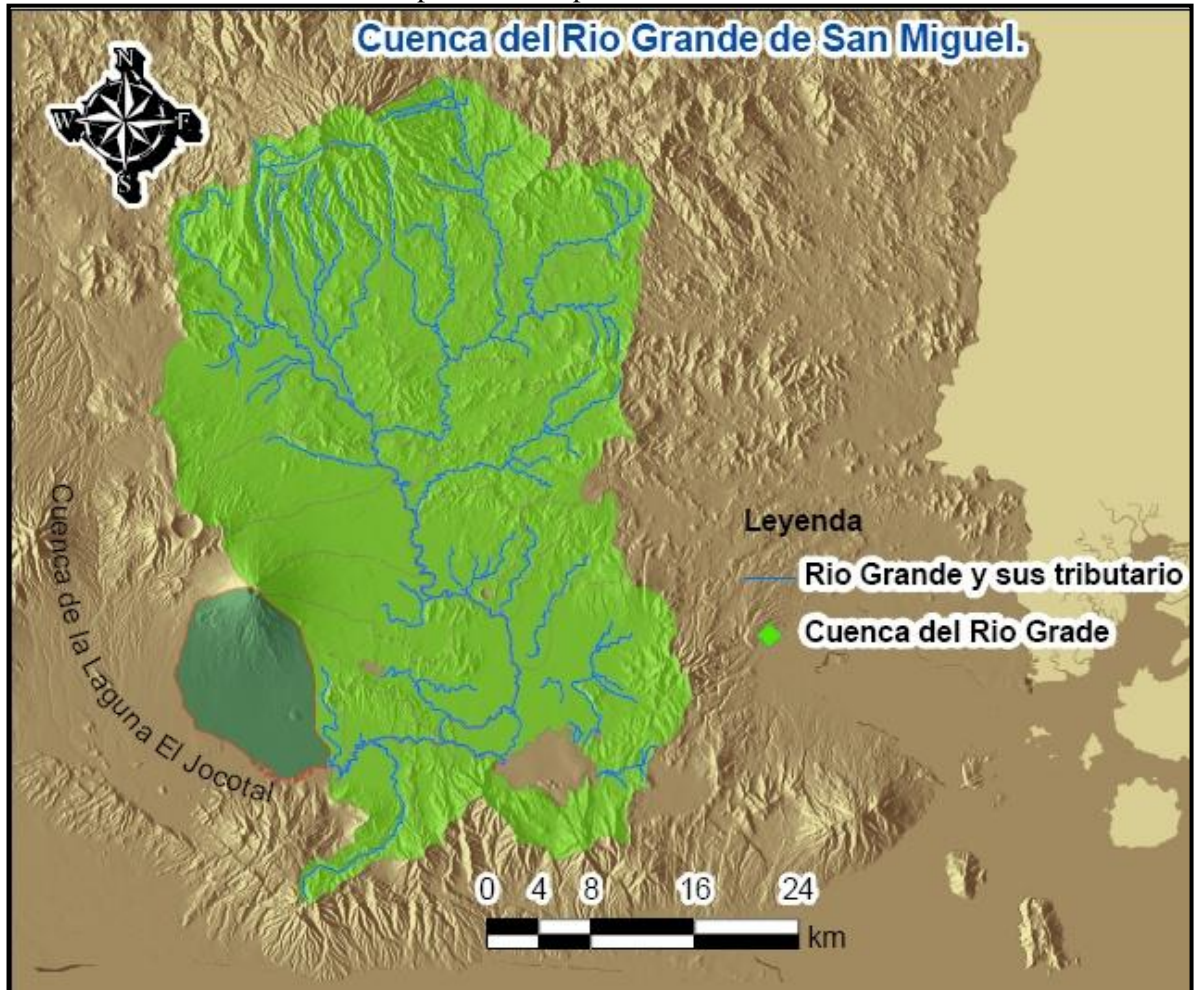
Perímetro de la cuenca.

$$P_c = 230.1411 \text{ km.}$$

Longitud del cause más largo; este proviene del sector mas alto de la cuenca, iniciando en el sector de las Delicias de Concepción y Yoloaiquín con la Quebrada El Tempisque, luego se convierte en el Rio de Yoloaiquín en el municipio del mismo nombre, al aproximarse al municipio de Chilanga y San Francisco Gotera este toma el nombre de Rio San Francisco, pasando por San Carlos con el mismo nombre, luego en el sector del Cantón y Caserío San Antonio Chavez toma este mismo nombre hasta llegar al sector del Guayabal para llamarse Rio El Guayabal, y por ultimo en el sector conocido como Agua Zarca se convierte en el Rio Grande de San Miguel.

$$L_c = 115.3583 \text{ km.}$$

**Figura N° 4.5.1.1:** Parte de la cuenca del Rio Grande de San Miguel, para el calculo de su área y perímetro respectivamente.



Siguiendo la secuencia de cálculo expuesta en el marco conceptual y desarrollado en el análisis de la cuenca de la Laguna El Jocotal, procedemos de la siguiente manera:

#### **1- Establecimiento de las líneas Isocronas.**

Para el establecimiento de las líneas Isocronas se calcula en primer lugar el tiempo de Concentración.

**a) Formula de Kirpich (1940).**

$$T_c = 0.01947 \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}}$$

Donde:

$T_c$ : Tiempo de concentración en minutos.

L: Longitud del cauce en metros.

S: Pendiente promedio de la cuenca.

$L_c = 115358.30$  mt.

Para obtener la pendiente promedio de la cuenca se procedió a dividir la longitud del cauce principal en tramos que corresponden a diferenciales de elevación, obteniendo de esta manera para cada tramo su respectiva pendiente, la cual fue ponderada a través de su correspondiente longitud de influencia. Los resultados se presentan en la siguiente tabla.

**Tabla N° 4.5.1.1:** Pendiente promedio de la cuenca del Rio Grande de San Miguel.

Rango de Elevación (msnm)	Longitud (km)	Pendiente (%)
30-100	69.5331	0.10
100-200	24.4405	0.41
200-300	8.1332	1.23
300-400	6.7118	1.49
400-500	1.8619	5.37
500-600	0.8767	11.41
600-700	0.6802	14.70
700-800	0.5269	18.98
800-900	0.8271	12.09
900-1000	0.7377	13.56
1000-1100	0.7066	14.15
1100-1160	0.3225	18.60
<b>Pendiente Promedio Ponderada</b>		<b>0.98</b>

$$T_c = 0.01947 \frac{(115358.30)^{0.77}}{(0.0098)^{0.385}}$$

$$T_c = 913.11 \text{ min.}$$

**b) Formula de Giandotti.**

$$T_c = \frac{\sqrt{A_c} + 1.5L_c}{0.85 \times \sqrt{H_m}}$$

Donde:

$T_c$ : tiempo de concentración de la cuenca (hr.)

$A_c$ : Área de la cuenca ( $\text{Km}^2$ )

$L_c$ : longitud del cauce más largo (km.)

$H_m$ :  $(H_{\text{max}}+H_{\text{min}})/2 = (1160+30)/2 = 595$  msnm.

Sustituyendo los datos tenemos:

$$T_c = \frac{\sqrt{1739.5248} + 1.5(115.3583)}{0.85 \times \sqrt{595}}$$

$$T_c = 10.36 \text{ hr.}$$

$$T_c = 621.60 \text{ min.}$$

**c) Formula de Pickering.**

$$T_c = \left( \frac{0.87L^3}{H} \right)^{0.385}$$

Donde:

$T_c$  : Tiempo de concentración en hr.

$L$ : Longitud del cauce mas largo en km.

$H$ : Diferencia de elevación en metros entre el punto de inicio del cauce y la divisoria de la cuenca en el punto de interés.

$$H = 1160 - 30 = 1130 \text{ msnm.}$$

Sustituyendo valores tenemos:

$$T_c = \left( \frac{0.87(115.3583)^3}{1130} \right)^{0.385}$$

$$T_c = 15.24 \text{ hr.}$$

$$\mathbf{T_c = 914.40 \text{ min.}}$$

Tiempo de concentración promedio.

$$T_c = (913.11 + 621.60 + 914.40)/3$$

$$\mathbf{T_c = 816.37 \text{ min} \approx 13.61 \text{ hr.}}$$

Posteriormente se estima la velocidad de propagación de la onda de crecida que se puede calcular partiendo de la ley física del movimiento uniforme.

$$V = d/t$$

Donde:

d = Distancia del recorrido más largo.

t = Tiempo de concentración.

$$V = 115358.3024 \text{ mt} / 816.37 \text{ min.}$$

$$V = 141.31 \text{ mt/min}$$

Tiempo para cada curva Isocronas:

$$t_1 = \text{Tiempo de concentración} / 8 = 816.37 \text{ min} / 8 = 102.05 \text{ min}$$

$$t_1 = 102.05 \text{ min.}$$

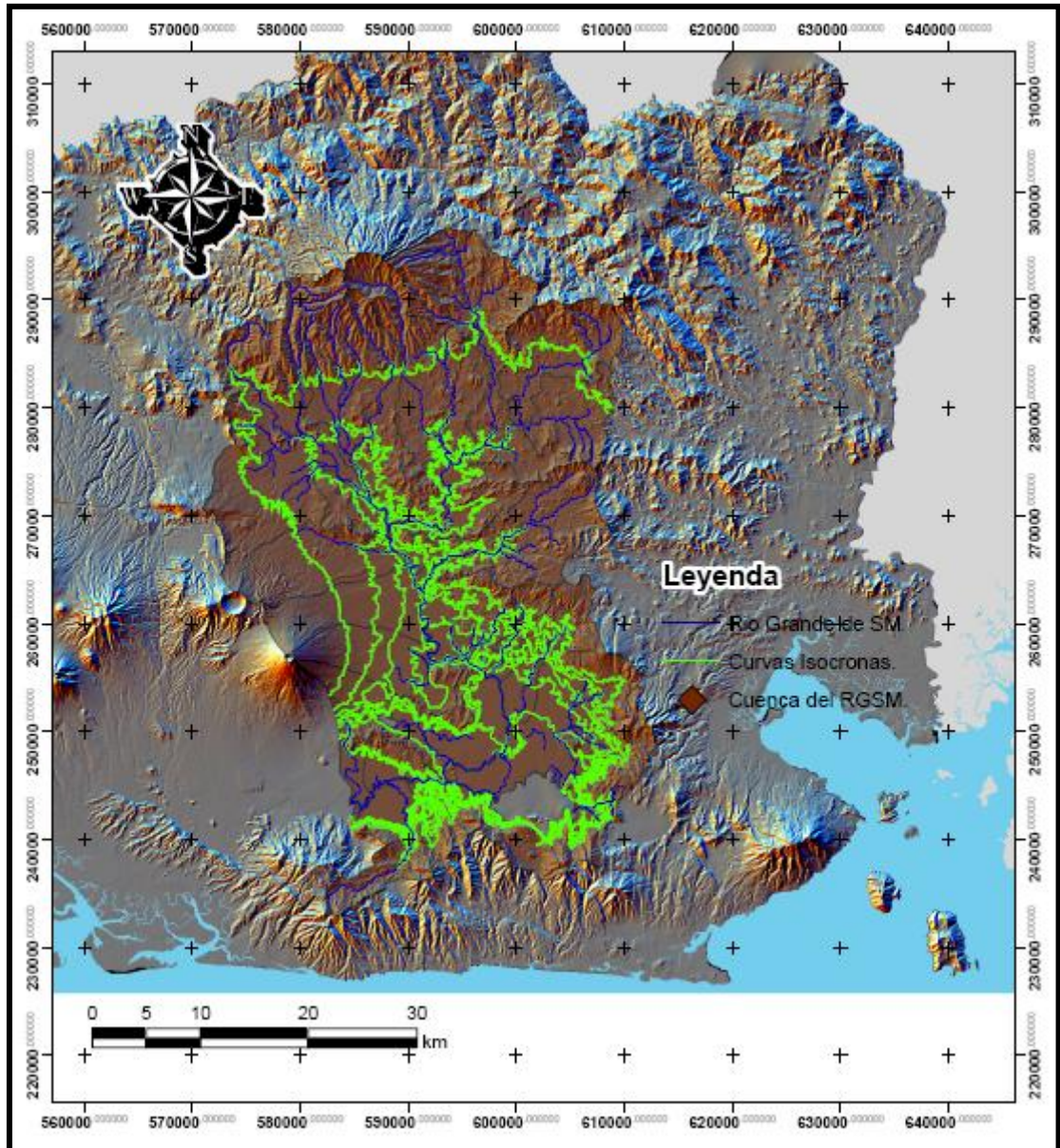
Distancia para cada curva

$$d_1 = v t_1 = (141.31 \text{ mt/min} \times 102.05 \text{ min})$$

$$d_1 = 14420.69 \text{ mt.} \approx 14.4207 \text{ km.}$$

En la siguiente figura se presenta el trazado de las curvas Isocronas para la cuenca del Rio Grande de San Miguel, analizado desde la intersección de la cuenca de la Laguna El Jocotal aguas arriba con el objeto de conocer el caudal de desborde a dicha Laguna.

Figura N° 4.5.1.2: Líneas Isocronas para la cuenca del Rio Grande de San Miguel.



## 2- Periodos de Retorno.

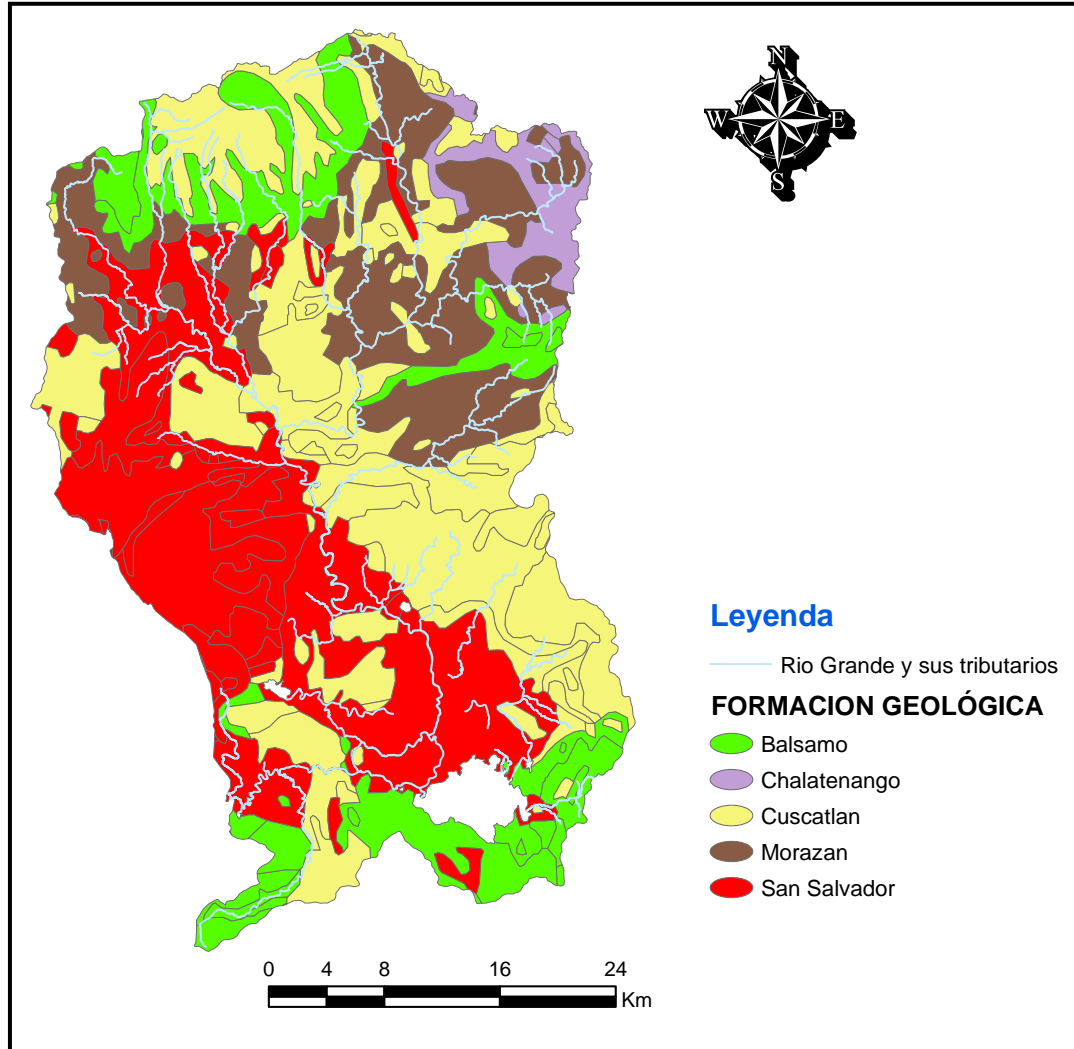
Los periodos de retorno ya se han establecido anteriormente, los periodos para los cuales se calcularan los caudales son: 15, 26, 30 y 50 años.

### 3– Coeficiente de Escorrentía.

Debido a los diferentes tipos de cobertura vegetal que presenta el área de drenaje de la cuenca (figura N<sup>o</sup> 4.5.1.4), fue necesaria la determinación de un coeficiente de escorrentía para cada sector como lo establece la metodología. Para nuestro caso, este se determinó en base al Nomograma de Ven-Te-Chow; donde el coeficiente de escorrentía está en función de tres variables: Tipo de suelo, cobertura vegetal y pendiente del terreno.

Para considerar las condiciones del tipo de suelo, que están definidas en función de la permeabilidad del mismo, se utilizó un mapa geológico del área de estudio, en este caso, en el área de de la cuenca del Rio Grande de San Miguel se identificó la formación geológica de San Salvador, Cuscatlán, Bálsamo, Morazán y Formación Chalatenango en menor escala. La siguiente figura muestra los estratos geológicos depositados en la cuenca de drenaje de Rio Grande de San Miguel.

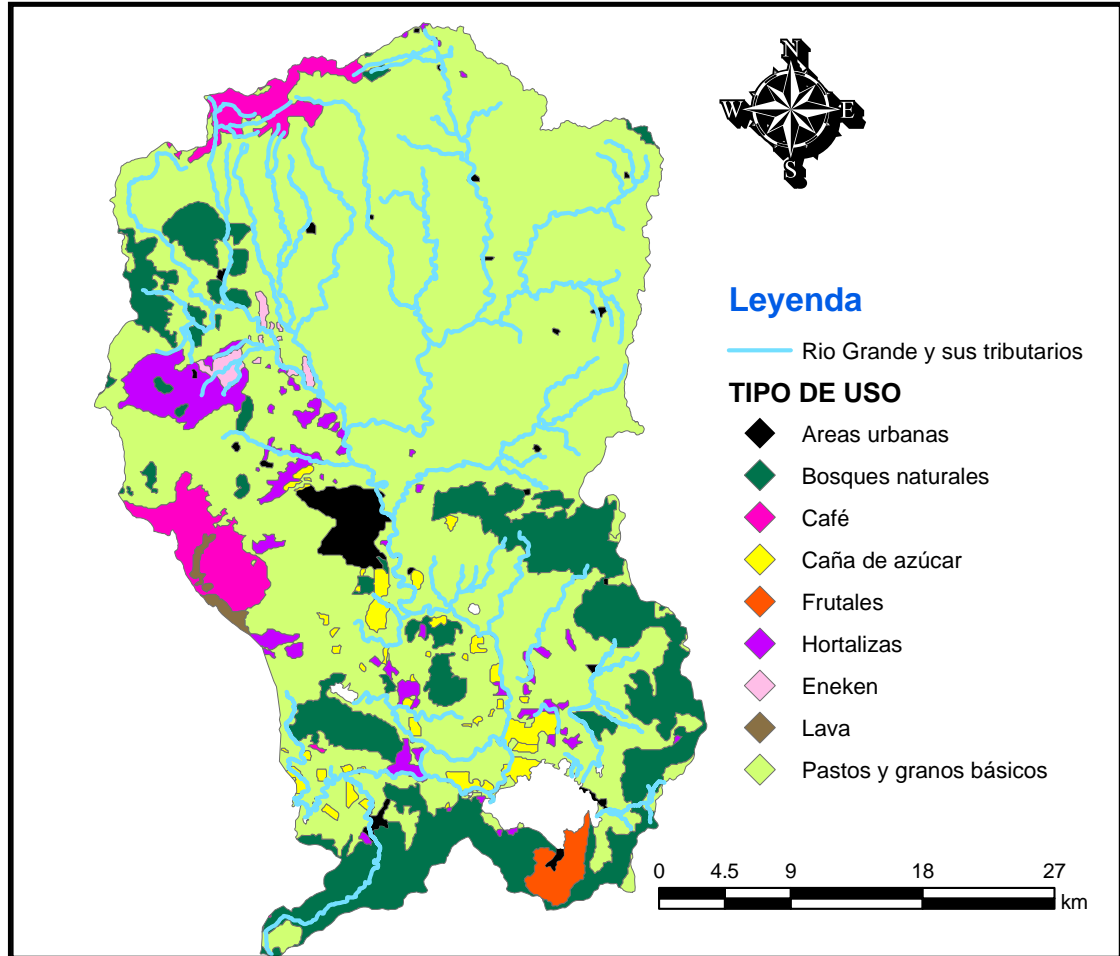
Figura N° 4.5.1.3: Geología de la cuenca del Rio Grande de San Miguel



Para el caso de la evaluación de la cobertura vegetal se realizó mediante un mapa de uso de suelo proporcionado por el Servicio Nacional de Estudios Territoriales (SNET), lo que permitió obtener una información bastante aproximada.



Figura N° 4.5.1.4: Uso de suelo para la cuenca del Rio Grande de San Miguel.



Para el cálculo de la pendiente del terreno, se determinó para cada sector delimitado por las curvas Isocronas, utilizando el método de aritmético, esta tarea se facilitó a un mas, ya que se tuvo la oportunidad de trabajar con el Sistema de Información Geográfica (SIG) del ministerio del medio ambiente.

Con esta información se procede a calcular los coeficientes de escorrentía por medio del nomograma de Ven-Te-Chow, a continuación se presenta un cuadro resumen:

Tabla N° 4.5.1.2: Coeficientes de escurrimiento para la cuenca del Rio Grande de San Miguel.

SECTOR	ÁREA (km <sup>2</sup> )	GEOLOGÍA	VEGETACIÓN	PENDIENTE	C
1	1.0653	F. Cuscatlán	1 Sin vegetación	0.21%	0.295
	4.2224	F. San Salvador	2 Cultivos (hortaliza, maíz, caña de azúcar, café)		0.205
	32.9509	F. San Salvador	3 Pastos, granos básico		0.158
	0.4769	F. Cuscatlán	5 Bosques naturales		0.105
2	1.1821	F. Cuscatlán	1 Sin vegetación	0.07%	0.29
	9.1902	F. Cuscatlán	2 Cultivos (hortaliza, maíz, caña de azúcar, café)		0.2
	99.1592	F. Cuscatlán	3 Pastos, granos básico		0.15
	1.6131	F. Cuscatlán	5 Bosques naturales		0.102
3	0.7225	F. Cuscatlán	1 Sin vegetación	0.07%	0.29
	4.1016	F. Cuscatlán	2 Cultivos (hortaliza, maíz, caña de azúcar, café)		0.2
	55.4890	F. Cuscatlán	3 Pastos, granos básico		0.15
	21.468	F. Cuscatlán	5 Bosques naturales		0.102
4	0.5481	F. Cuscatlán	1 Sin vegetación	0.07%	0.29
	1.3463	F. San Salvador	2 Cultivos (hortaliza, maíz, caña de azúcar, café)		0.2
	52.9424	F. San Salvador	3 Pastos, granos básico		0.15
	3.3220	F. Cuscatlán	5 Bosques naturales		0.102
5	6.4977	F. San Salvador	1 Sin vegetación	0.14%	0.293
	5.4782	F. San Salvador	2 Cultivos (hortaliza, maíz, caña de azúcar, café)		0.202
	94.9057	F. San Salvador	3 Pastos, granos básico		0.155
	2.0273	F. Cuscatlán	5 Bosques naturales		0.103

6	11.7242	F. San Salvador	1	Sin vegetación	0.28%	0.3
	6.4355	F. Cuscatlán	2	Cultivos (hortaliza, maíz, caña de azúcar, café)		0.21
	144.956	F. Cuscatlán	3	Pastos, granos básico		0.16
	1.4537	F. Cuscatlán	5	Bosques naturales		0.108
7	6.07	F. Bálsamo	1	Sin vegetación	9.29%	0.59
	29.1959	F. Cuscatlán, F. Morazán, F. Bálsamo	2	Cultivos (hortaliza, maíz, caña de azúcar, café)		0.48
	559.228	F. Bálsamo	3	Pastos, granos básico		
	120.627	F. Cuscatlán	5	Bosques naturales		0.13
8	5.1019	F. San Salvador	1	Sin vegetación	36.11%	0.443
	74.574	F. Cuscatlán, F. Morazán, F. Bálsamo	2	Cultivos (hortaliza, maíz, caña de azúcar, café)		0.553
	361.184	F. Bálsamo	3	Pastos, granos básico		
	20.2758	F. Morazán	5	Bosques naturales		0.4

#### 4– Determinación de las Intensidades de precipitación de diseño.

Este procedimiento se realiza de forma similar al expuesto en el análisis de la cuenca de la Laguna El Jocotal, con la diferencia que en este caso solo se trabajó con los datos de la estación meteorológica de El Papalón, ya que la estación de Chapeltique y la del Beneficio El Sitio no poseen la cantidad suficiente de datos de intensidades.

En la siguiente tabla se presentan los valores de intensidades de precipitación máxima, para los periodos en consideración.

**Tabla N° 4.5.1.3:** Intensidades de diseño en mm/min para cada sector.

SECTOR	INTENSIDADES DE DISEÑO EN mm/minuto			
	15 años	26 años	30 años	50 años
1	0.85	0.88	0.94	0.97
2	0.45	0.53	0.56	0.63
3	0.34	0.38	0.43	0.44
4	0.30	0.35	0.42	0.39
5	0.28	0.34	0.37	0.38
6	0.27	0.32	0.35	0.37
7	0.26	0.31	0.34	0.36
8	0.25	0.30	0.33	0.35

### 5- Cálculo de caudales por sector.

Obtenida toda la información necesaria para la aplicación de la fórmula racional para cada sector de área limitada por las líneas Isocronas, se procede a calcular caudales.

$$Q = (50/3)CIA$$

Donde:

A: Área del sector en km<sup>2</sup>.

I: Intensidad de lluvia en mm/min.

C: Coeficiente de escorrentía para el sector en análisis.

**Tabla N° 4.5.1.4:** Calculo del caudal máximo para cada sector de la cuenca.  
 PERIODO DE RETORNO = 15 años.

SECTOR	ÁREA A (km <sup>2</sup> )	PENDIENTE S%	COEFICIENTE C	INTENSIDAD I (mm/min)	CAUDAL Q (m <sup>3</sup> /seg)
1	1.0653	0.21%	0.295	0.85	4.452
	4.2224		0.205	0.85	12.263
	32.951		0.158	0.85	73.755
	0.4769		0.105	0.85	0.709
2	1.1821	0.07%	0.29	0.45	2.571
	9.1902		0.2	0.45	13.785
	99.1592		0.15	0.45	111.554
	1.6131		0.102	0.45	1.234
3	0.7225	0.07%	0.29	0.34	1.187
	4.1016		0.2	0.34	4.648
	55.489		0.15	0.34	47.166
	21.468		0.102	0.34	12.409
4	0.5481	0.07%	0.29	0.3	0.795
	1.3463		0.2	0.3	1.346
	52.9424		0.15	0.3	39.707
	3.322		0.102	0.3	1.694
5	6.4977	0.14%	0.293	0.28	8.885
	5.4782		0.202	0.28	5.164
	94.9057		0.155	0.28	68.648
	2.0273		0.103	0.28	0.974
6	11.724	0.28%	0.3	0.27	15.828
	6.4355		0.21	0.27	6.082
	144.956		0.16	0.27	104.368
	1.4537		0.108	0.27	0.706
7	6.07	9.29%	0.59	0.26	15.519
	29.1959		0.48	0.26	60.727
	559.228		0.48	0.26	1163.195
	120.627		0.13	0.26	67.953
8	5.1019	36.11%	0.443	0.25	9.417
	74.574		0.553	0.25	171.831
	361.184		0.553	0.25	832.228
	20.2758		0.4	0.25	33.793

**Q = 2894.595**

**Tabla N° 4.5.1.5:** Calculo del caudal máximo para cada sector de la cuenca.  
 PERIODO DE RETORNO = 26 años.

SECTOR	ÁREA A (km <sup>2</sup> )	PENDIENTE S%	COEFICIENTE C	INTENSIDAD I (mm/min)	CAUDAL Q (m <sup>3</sup> /seg)
1	1.0653	0.21%	0.295	0.88	4.609
	4.2224		0.205	0.88	12.695
	32.951		0.158	0.88	76.358
	0.4769		0.105	0.88	0.734
2	1.1821	0.07%	0.29	0.53	3.028
	9.1902		0.2	0.53	16.236
	99.1592		0.15	0.53	131.386
	1.6131		0.102	0.53	1.453
3	0.7225	0.07%	0.29	0.38	1.327
	4.1016		0.2	0.38	5.195
	55.489		0.15	0.38	52.715
	21.468		0.102	0.38	13.868
4	0.5481	0.07%	0.29	0.35	0.927
	1.3463		0.2	0.35	1.571
	52.9424		0.15	0.35	46.325
	3.322		0.102	0.35	1.977
5	6.4977	0.14%	0.293	0.34	10.788
	5.4782		0.202	0.34	6.271
	94.9057		0.155	0.34	83.359
	2.0273		0.103	0.34	1.183
6	11.724	0.28%	0.3	0.32	18.759
	6.4355		0.21	0.32	7.208
	144.956		0.16	0.32	123.696
	1.4537		0.108	0.32	0.837
7	6.07	9.29%	0.59	0.31	18.503
	29.1959		0.48	0.31	72.406
	559.228		0.48	0.31	1386.886
	120.627		0.13	0.31	81.021
8	5.1019	36.11%	0.443	0.3	11.301
	74.574		0.553	0.3	206.197
	361.184		0.553	0.3	998.673
	20.2758		0.4	0.3	40.552

**Q = 3438.045**

**Tabla N° 4.5.1.6:** Calculo del caudal máximo para cada sector de la cuenca.  
 PERIODO DE RETORNO = 30 años.

SECTOR	ÁREA A (km <sup>2</sup> )	PENDIENTE S%	COEFICIENTE C	INTENSIDAD I (mm/min)	CAUDAL Q (m <sup>3</sup> /seg)
1	1.0653	0.21%	0.295	0.94	4.923
	4.2224		0.205	0.94	13.561
	32.951		0.158	0.94	81.564
	0.4769		0.105	0.94	0.785
2	1.1821	0.07%	0.29	0.56	3.200
	9.1902		0.2	0.56	17.155
	99.1592		0.15	0.56	138.823
	1.6131		0.102	0.56	1.536
3	0.7225	0.07%	0.29	0.43	1.502
	4.1016		0.2	0.43	5.879
	55.489		0.15	0.43	59.651
	21.468		0.102	0.43	15.693
4	0.5481	0.07%	0.29	0.42	1.113
	1.3463		0.2	0.42	1.885
	52.9424		0.15	0.42	55.590
	3.322		0.102	0.42	2.372
5	6.4977	0.14%	0.293	0.37	11.740
	5.4782		0.202	0.37	6.824
	94.9057		0.155	0.37	90.714
	2.0273		0.103	0.37	1.288
6	11.724	0.28%	0.3	0.35	20.517
	6.4355		0.21	0.35	7.883
	144.956		0.16	0.35	135.292
	1.4537		0.108	0.35	0.916
7	6.07	9.29%	0.59	0.34	20.294
	29.1959		0.48	0.34	79.413
	559.228		0.48	0.34	1521.101
	120.627		0.13	0.34	88.862
8	5.1019	36.11%	0.443	0.33	12.431
	74.574		0.553	0.33	226.817
	361.184		0.553	0.33	1098.541
	20.2758		0.4	0.33	44.607

**Q = 3772.470**

**Tabla N° 4.5.1.7:** Calculo del caudal máximo para cada sector de la cuenca.  
 PERIODO DE RETORNO = 50 años.

SECTOR	ÁREA A (km <sup>2</sup> )	PENDIENTE S%	COEFICIENTE C	INTENSIDAD I (mm/min)	CAUDAL Q (m <sup>3</sup> /seg)
1	1.0653	0.21%	0.295	0.97	5.081
	4.2224		0.205	0.97	13.994
	32.951		0.158	0.97	84.168
	0.4769		0.105	0.97	0.810
2	1.1821	0.07%	0.29	0.63	3.599
	9.1902		0.2	0.63	19.299
	99.1592		0.15	0.63	156.176
	1.6131		0.102	0.63	1.728
3	0.7225	0.07%	0.29	0.44	1.537
	4.1016		0.2	0.44	6.016
	55.489		0.15	0.44	61.038
	21.468		0.102	0.44	16.058
4	0.5481	0.07%	0.29	0.39	1.033
	1.3463		0.2	0.39	1.750
	52.9424		0.15	0.39	51.619
	3.322		0.102	0.39	2.202
5	6.4977	0.14%	0.293	0.38	12.058
	5.4782		0.202	0.38	7.008
	94.9057		0.155	0.38	93.166
	2.0273		0.103	0.38	1.322
6	11.724	0.28%	0.3	0.37	21.690
	6.4355		0.21	0.37	8.334
	144.956		0.16	0.37	143.023
	1.4537		0.108	0.37	0.968
7	6.07	9.29%	0.59	0.36	21.488
	29.1959		0.48	0.36	84.084
	559.228		0.48	0.36	1610.578
	120.627		0.13	0.36	94.089
8	5.1019	36.11%	0.443	0.35	13.184
	74.574		0.553	0.35	240.563
	361.184		0.553	0.35	1165.119
	20.2758		0.4	0.35	47.310

**Q = 3990.091**



#### 4.6 ANALISIS HIDRAULICO.

El análisis hidráulico tiene por objeto determinar el nivel de aguas máximas que el caudal generado es capaz de producir.

Para determinar las condiciones hidráulicas del punto de interés (Cantón El Borbollón, parte baja), haremos uso de la ecuación de manning.

$$Q = \frac{1}{n} AR^{2/3} S^{1/2}$$

Donde:

Q: Caudal en m<sup>3</sup>/seg.

n: Coeficiente de rugosidad de manning.

R<sub>H</sub>: Radio hidráulico en mt<sup>2</sup>. (R<sub>H</sub>= área hidráulica/perímetro mojado).

A: Área hidráulica de la sección en mt<sup>2</sup>.

S: Pendiente de la superficie del terreno.

Si replanteamos la ecuación anterior en dos componentes, nos permite la determinación del área hidráulica necesaria y por consiguiente el nivel de aguas máximas en función del caudal máximo (Q), así como las características hidráulicas definidas (n y s), al ordenar la ecuación tenemos:

$$\frac{Qn}{S^{1/2}} = AR^{2/3}$$

##### 4.6.1 AFORO DEL CANAL ARTIFICIAL.

El caudal máximo que recoge la Laguna El Jocotal es influenciado directamente por el Rio Grande de San Miguel, para tener en cuenta este volumen se realizó un aforo del canal artificial que abrieron los ganaderos de la zona.

El procedimiento consiste en elegir un tramo de sección homogénea, con el objeto de aproximar una profundidad constante la cual resulto de 3 mt, para determinar la velocidad de flujo se lanzaron al centro del canal (punto donde se da la velocidad máxima) varios objetos flotantes a lo largo de una distancia de 35 mt, para posteriormente aplicar la ecuación física del movimiento uniforme.

**Figura N° 4.6.1.1:** Medición indirecta del ancho del canal y velocidad del flujo.

$$V = d/t$$

Donde:

d: distancia que recorre el objeto flotante.

t: tiempo del recorrido.

$$V = 35 \text{ mt} / 2.38 \text{ min} = 0.245 \text{ mt/seg.}$$

El ancho del canal se midió indirectamente aplicando relaciones de triángulos semejantes, la cual dio como resultado de 29.52 mt.

Con esta información se calcula por continuidad el caudal del canal.

$$Q = AV$$

$$Q = (3 \text{ mt} \times 29.52 \text{ mt}) 0.245 \text{ m/seg.}$$

$$Q = 21.70 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

El caudal será abundado en un 35 %, ya que en el momento del aforo no se tenía la creciente máxima.

$$Q = 29.30 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

Con este caudal se procede a relacionar el caudal actual del Rio Grande de San Miguel, el cual corresponde a un 0.85 % para este año y para los periodos futuros los caudales son:

$$Q_{30} = 32.07 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

$$Q_{50} = 33.92 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

Finalmente los caudales totales de entrada en la Laguna El Jocotal se resumen en la siguiente tabla.

**Tabla N° 4.6.1.1:** Caudales de entrada a la Laguna El Jocotal.

Periodos de Retorno (años)	Caudal Total (m <sup>3</sup> /seg)
30	857.21+32.07= 889.28
50	925.80+33.92= 959.72

#### 4.6.2 CURVA DE DESCARGA NATURAL.

Como se mencionó anteriormente el factor geométrico ( $AR^{2/3}$ ) puede ser obtenido al conocer el caudal de diseño (Q), el coeficiente de rugosidad de manning (n) y la pendiente del terreno (S), en la tabla 4.6.2.1 se presentan los resultados del calculo de las características geométricas para una sección longitudinal que se toma como punto de referencia la Loma de Merlos hasta el punto donde comienza el canal de desagüe, ya que el nivel de agua almacenada no puede ser mayor que este punto.

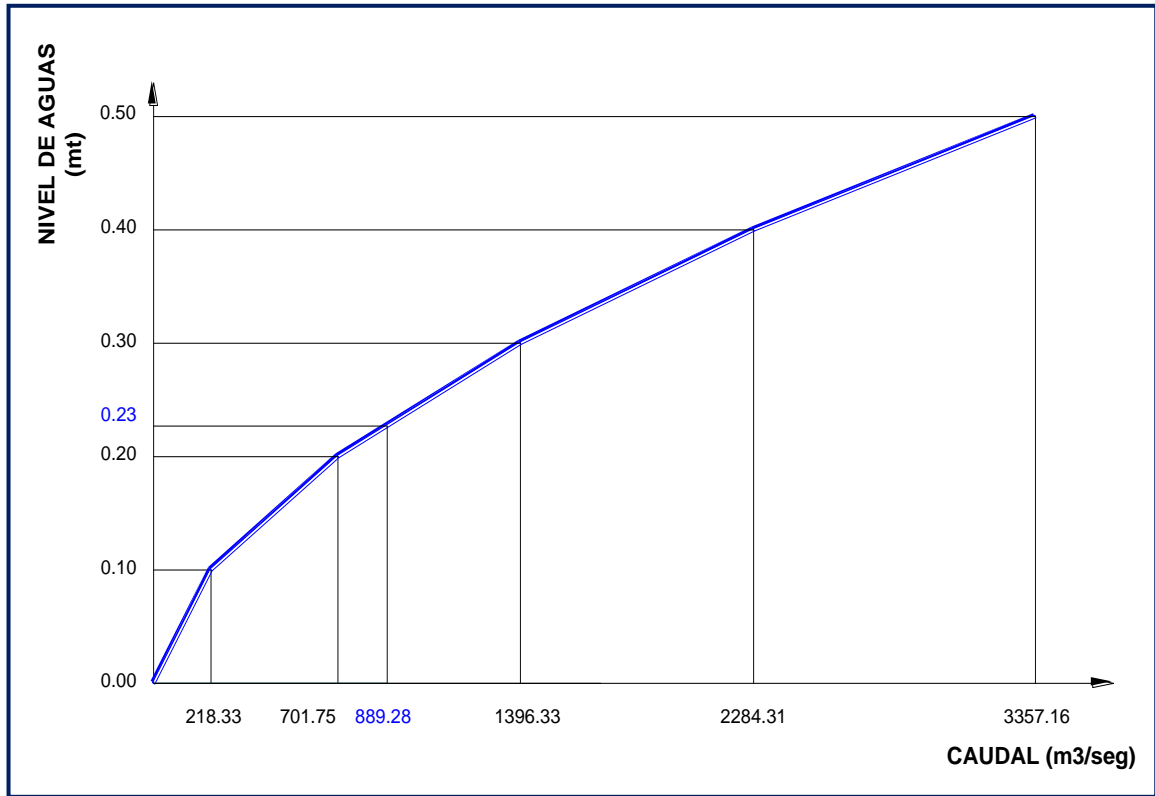
Se ha considerado un coeficiente de rugosidad de Manning de 0.1, en base a las características físicas que describe Ven Te Chow, la pendiente de 0.23 %, corresponde a los puntos ya mencionados.

Tabla N° 4.6.2.1: Resumen del calculo del factor geométrico.

Nivel del agua (mt)	Área hidráulica (mt <sup>2</sup> )	Perímetro mojado (mt)	Radio hidráulico R= A/P	Factor geométrico AR <sup>2/3</sup>	Q= 0.479AR <sup>2/3</sup>
0.00					
	738.34	1522.16	0.49	455.81	
0.10					218.33
	1522.08	1611.83	0.94	1465.04	
0.20					701.75
	2350.31	1701.50	1.38	2915.10	
0.30					1396.33
	3223.34	1791.17	1.80	4768.91	
0.40					2284.31
	4141.16	1880.83	2.20	7008.69	
0.50					3357.16

La grafica de la curva de descarga natural queda definida en la figura 4.6.2.1, donde el eje de las abscisas se plotean los caudales y en el eje de las ordenadas la altura del agua que produce el caudal respectivo.

Figura N° 4.6.2.1: Curva de descarga natural.



Es evidente que la altura del nivel de agua es baja en comparación a los niveles que ha alcanzado el desborde de la Laguna, esto se debe a que el caudal que recoge la cuenca de la Laguna no es capaz de generar desbordamiento, si no que más bien se debe al desborde directo del Rio Grande de San Miguel, una de las características físicas responsable de este fenómeno es, en primer lugar las acciones agrícolas no controladas hasta la fecha, en segundo lugar es el nivel de azolvamiento del Rio en el tramo que rodea la cuenca, ya que en este sector se da la mayor cantidad de meandros en todo el curso del rio.

#### **4.7 BALANCE HIDRICO.**

A continuación se presenta el Balance Hídrico de la cuenca que alimenta a la “Laguna El Jocotal”. Para elaborar nuestro balance hídrico, se tomaron los datos necesarios de la Estación Meteorológica de Santiago de María, Beneficio La Carrera y El Papalón, trasladada desde mayo de 2003 a la Facultad Multidisciplinaria Oriental de la Universidad de El Salvador. Dichos datos fueron proporcionados por el Servicio Nacional de Estudios Territoriales (SNET) los cuales constan de mediciones de precipitación, temperatura y humedad relativa.

Para el Balance Hídrico, se han tenido en cuenta las variables del ciclo hidrológico: precipitación, evapotranspiración real, evaporación de cuerpos de agua, flujo subterráneo, y las demandas hídricas en la cuenca, exportaciones y retornos.

##### **4.7.1 UBICACIÓN.**

La subcuenca de la Laguna El Jocotal en la que se encuentra el área de estudio del Cantón El Borbollón, esta ubicada en la Región Hidrográfica H o cuenca del Río Grande de San Miguel (ver mapa) y se extiende desde la cumbre del volcán Chaparrastique hasta llegar a las riveras del Río Grande, pasando por los municipios de San Miguel, San Jorge, San Rafael Oriente, El Transito y Concepción Batres (ver mapa general).

##### **4.7.2 PRECIPITACIÓN MEDIA DE LA CUENCA.**

Para el cálculo de la precipitación media contamos con datos de tres Estaciones Pluviométricas las cuales son: El Papalón (M6: 13°26.6’N y 88° 07.4’W, elev. 80 m.s.n.m.), Santiago de María (U6: 13°29.1’N y 88° 28.3’W, elev. 930 m.s.n.m.), Beneficio La Carrera (U11: 13°19.8’N y 88° 31.5’W, elev. 75 m.s.n.m.).

Toda esta información proporcionada por el SNET se encuentra tabulada de forma mensual desde el año 1998 hasta el 2008, sin embargo es de hacer notar que para algunos meses no realizaron lecturas, en esos casos serán completados con los valores de la Estación El Papalón.

**Tabla N° 4.7.2.1:** Precipitación Mensual en la Estación Meteorológica El Papalón (M6).  
Fuente: SNET.

Año/Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
1998	0.0	0.0	2.0	0.0	65.0	186.0	330.0	306.0	86.0	427.0	246.0	0.0	1648.0
1999	0.0	0.0	1.0	31.0	138.0	325.0	178.0	177.0	402.0	186.0	28.0	4.0	1470.0
2000	0.0	0.0	0.0	12.0	357.0	272.0	132.0	283.0	370.0	106.0	11.0	0.0	1543.0
2001	0.0	0.0	9.0	0.0	278.0	64.5	216.0	245.0	145.0	371.0	1.0	0.0	1329.5
2002	7.6	0.0	0.0	25.8	315.5	180.0	230.0	219.0	256.0	270.0	56.0	0.0	1559.9
2003	0.0	0.0	21.5	0.0	172.0	325.0	157.0	290.0	232.0	314.0	60.0	0.0	1571.5
2004	0.0	0.0	5.0	19.0	240.0	108.0	206.0	82.0	326.0	146.0	66.0	0.0	1198.0
2005	0.0	0.0	33.0	30.0	382.0	152.0	161.0	360.0	351.0	322.0	43.0	0.0	1834.0
2006	0.0	0.0	0.0	29.0	125.0	347.0	287.0	294.0	284.0	212.0	82.0	1.0	1661.0
2007	0.0	0.0	0.9	3.8	107.6	49.1	117.6	316.0	394.0	356.0	57.0	0.0	1402.0
2008	0.1	1.0	3.0	22.9	232.2	108.9	289.0	370.1	176.1	409.7	0.5	0.0	1613.5

**Tabla N° 4.7.2.2:** Precipitación Mensual en la Estación Meteorológica Santiago de María (U6).  
Fuente: SNET.

Año/Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
1998	0.0	0.0	6.0	0.0	89.0	309.0	324.0	296.0	233.0	547.0	533.0	1.0	2338.0
1999	1.0	0.0	0.0	13.0	210.0	247.0	298.0	265.0	539.0	280.0	41.0	8.0	1902.0
2000	0.0	0.0	0.0	50.0	297.0	289.0	157.0	371.0	467.0	196.0	63.0	0.0	1890.0
2001	0.0	0.0	3.0	5.0	209.0	141.0	282.0	322.0	218.0	179.0	8.0	0.0	1367.0
2002	39.4	1.1	0.3	24.0	308.1	226.0	315.9	121.2	402.0	268.0	107.0	0.0	1813.0
2003	0.0	0.0	34.0	31.0	121.0	-	-	-	264.0	386.0	153.0	1.0	990.0
2004	2.0	32.0	1.0	26.0	283.0	181.0	245.0	160.0	331.0	299.0	120.0	0.0	1680.0
2005	0.0	0.0	63.0	23.0	319.0	351.0	354.0	399.0	390.0	731.0	6.0	16.0	2652.0
2006	0.0	0.0	0.0	46.0	137.0	381.0	280.0	229.0	339.0	371.0	69.0	27.0	1879.0
2007	0.0	0.0	1.5	75.7	292.7	175.9	247.5	494.0	291.0	558.0	37.0	0.0	2173.3
2008	0.3	15.9	1.5	63.1	267.7	198.1	482.7	363.8	294.9	413.4	2.0	0.0	2103.4

**Tabla N° 4.7.2.3:** Precipitación Mensual en la Estación Meteorológica La Carrera(U11).  
**Fuente:** SNET.

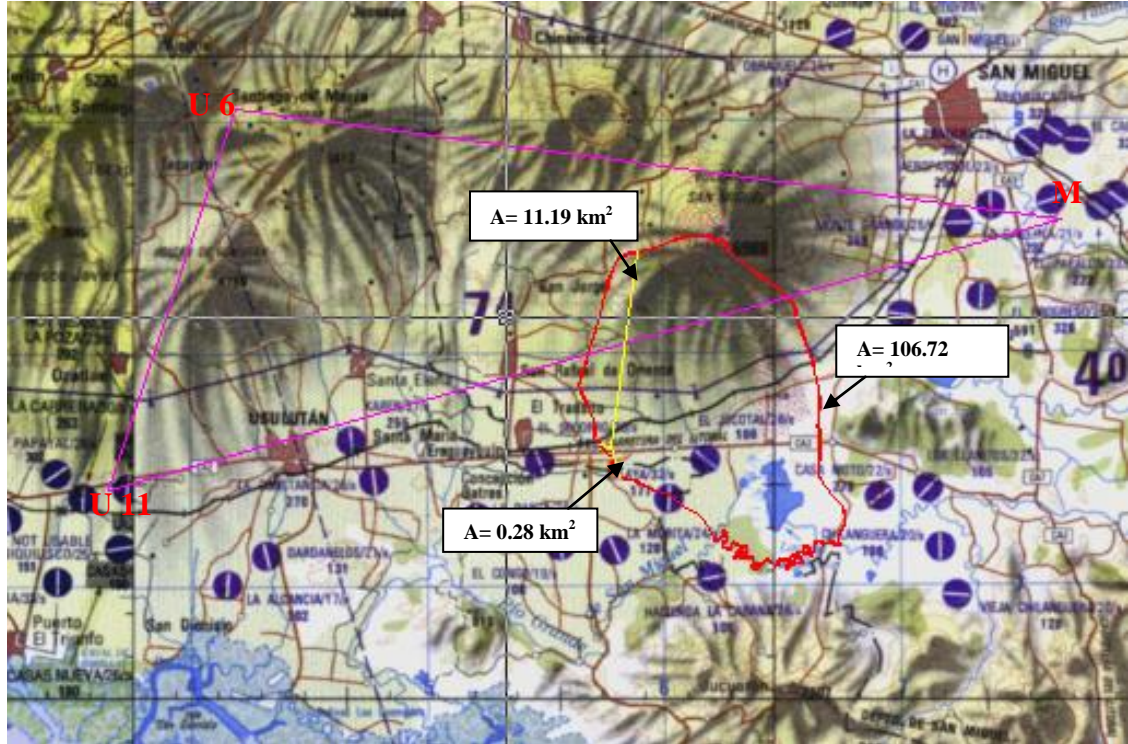
Año/Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
1998	0.0	0.0	0.0	0.0	8.0	205.5	432.0	492.0	74.5	1000.0	-	0.0	2212.0
1999	0.0	0.0	0.0	10.0	0.0	0.0	-	193.2	136.0	-	23.4	41.2	403.8
2000	0.0	0.0	1.0	0.0	428.5	203.0	97.6	340.4	285.7	250.1	56.6	0.0	1662.9
2001	0.0	0.0	0.0	0.0	178.4	211.4	154.0	260.3	307.6	328.9	0.0	0.0	1440.6
2002	0.0	0.0	0.0	16.4	374.0	213.0	337.0	303.0	451.7	252.0	237.0	0.0	2184.1
2003	0.0	0.0	8.0	49.8	126.0	713.1	107.0	273.0	344.7	281.0	168.8	0.0	2071.4
2004	0.0	5.0	4.0	7.6	229.6	78.1	311.0	262.0	447.6	335.9	103.8	0.0	1784.6
2005	0.0	0.0	16.3	1.3	377.1	290.8	261.3	469.6	456.2	616.5	27.1	0.0	2516.2
2006	0.0	0.0	0.0	88.2	193.9	399.8	388.8	384.2	205.0	276.4	52.3	2.3	1990.9
2007	0.0	0.0	1.0	27.0	196.0	66.0	199.0	578.0	351.0	746.0	28.0	0.0	2192.0
2008	0.0	22.0	0.0	29.0	-	204.0	641.0	593.0	417.0	594.0	0.0	0.0	2500.0

El método utilizado para determinar la precipitación media es el de los polígonos de Thiessen, los cuales fueron trazados mediante el software AutoCad 2008, y luego se procedió al cálculo de la precipitación media con el uso de una hoja de cálculo utilizando la siguiente ecuación.

$$\bar{P} = \frac{\sum_{i=1}^n (A \times P_i)}{\sum_{i=1}^n A_i}$$



Figura N° 4.7.2.1. Polígonos de Thiessen para la cuenca de la Laguna El Jocotal.



Así para mayo de 1998, tenemos el cálculo de la precipitación media de la siguiente forma:

Tabla N° 4.7.2.4: Calculo de la precipitación media.

Estación	Precipitación observada (mm)	Área (km <sup>2</sup> )	Precipitación ponderada
El Papalón	65	106.72	6936.8
Santiago de María	89	11.19	995.91
La Carrera	8	0.28	2.24
		118.19	7934.95

$$\bar{P} = \frac{7934.95}{118.19} = 67.14 \text{ mm.}$$

El proceso de cálculo para los siguientes meses de los años (1998 – 2008) se realizó de forma análoga, el resumen se presenta en la siguiente tabla.

**Tabla N° 4.7.2.5:** Precipitación Media calculada por el método de los polígonos de Thiessen.

Año/Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
1998	0.00	0.00	2.37	0.00	67.14	197.69	329.67	305.49	99.89	439.72	273.17	0.09	1715.25
1999	0.09	0.00	0.90	29.25	144.49	316.85	189.36	185.37	414.34	194.90	29.22	4.47	1509.24
2000	0.00	0.00	0.00	15.57	351.49	273.45	134.29	291.47	378.98	114.86	16.03	0.00	1576.14
2001	0.00	0.00	8.41	0.47	271.23	72.09	222.10	252.33	152.30	352.72	1.66	0.00	1333.31
2002	10.59	0.10	0.03	25.61	314.94	184.43	238.39	209.94	270.29	269.77	61.26	0.00	1585.34
2003	0.00	0.00	22.65	3.05	167.06	325.92	156.88	289.96	235.30	320.74	69.06	0.09	1590.72
2004	0.19	3.04	4.62	19.64	244.05	114.84	209.94	89.81	326.76	160.94	71.20	0.00	1245.02
2005	0.00	0.00	35.80	29.27	376.02	171.17	179.51	363.95	354.94	361.42	39.46	1.51	1913.06
2006	0.00	0.00	0.00	30.75	126.30	350.34	286.58	288.06	289.02	227.21	80.70	3.46	1682.42
2007	0.00	0.00	0.96	10.66	125.33	61.15	130.09	333.47	384.15	376.05	55.04	0.00	1476.90
2008	0.12	2.46	2.85	26.72	235.56	117.57	308.17	370.03	187.92	410.49	0.64	0.00	1662.53

### 4.7.3 EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL.

Para el ingeniero es de sumo interés conocer la evapotranspiración ya que se centra en la cuantificación de los recursos de agua de la zona.

La evapotranspiración potencial es la evapotranspiración que puede ocurrir desde una superficie bien cubierta por vegetación cuando el suministro de humedad es ilimitado, y se calcula de una forma similar a la que se aplica para la evaporación sobre una superficie abierta de agua.

Existen diferentes métodos para determinar la evapotranspiración, para nuestro caso utilizaremos la ecuación de Hargreaves ya que es la que utiliza el Servicio Nacional de Estudios Territoriales (SNET) para calcular la evapotranspiración de referencia en nuestro país. Para esto, necesitamos los datos de Temperatura, Radiación Solar y Humedad Relativa, los cuales fueron proporcionados por el SNET.

### ☉ Temperatura Promedio Mensual.

Para estimar la temperatura de la zona, se obtuvo información de las estaciones meteorológicas de El Papalón y Santiago de María, ya que la estación del Beneficio La Carrera no registró esta información. La cuenca de la Laguna El Jocotal se encuentra aproximadamente a 18 km de ambas estaciones, es por ello que se utilizó la media aritmética de los datos de estas estaciones, estos son los que se muestran en la siguiente tabla.

**Tabla N° 4.7.3.1:** Temperatura Mensual Media, promediada para la estación El Papalón y Santiago de María ( $^{\circ}\text{C}$ ).

**Fuente:** SNET.

Año/Mes	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1998	24.9	24.8	26.7	27.4	27.2	26.4	25	25.1	24.2	24.1	24.1	23.6
1999	23.9	24.6	25.8	26.4	25.4	24.7	24.8	24.8	23.6	23.2	23.1	23
2000	23.3	24.4	25.5	26.5	25.3	24.9	25.1	24.9	24	24.2	24.3	24.1
2001	23.7	25.5	25	27.2	25.8	25.7	25.3	25.5	24.2	24.7	23.2	24.7
2002	24.7	26	26.4	27.2	26.6	25.2	25.3	25.4	24.4	24.6	24	24.2
2003	24.3	26.3	25.5	26.7	26.3	27.7	27.2	27	24.3	24.1	24.1	23.2
2004	23.6	23.9	26.9	26	25.8	25.2	24.5	25.3	24.2	24.1	23.8	23.8
2005	23.5	24.1	25.5	26.3	25	24.4	24.8	24.5	24	22.9	23.6	23.9
2006	24.0	24.6	25.6	25.9	25.2	24.2	25.2	25.1	24.3	24.3	23.4	24.3
2007	24.6	24.7	26.5	26.3	25.7	25.1	25.4	24.2	23.9	23	23.6	23.8
2008	23.8	24.4	25	25.4	24.7	24.6	24	24.1	23.8	23.1	23.3	23.6

### ☉ Humedad Relativa Promedio Mensual.

La humedad relativa promedio mensual (%) es una variable con la que se puede calcular el brillo del sol (S%) para una zona determinada.

Al igual que en la temperatura mensual media, para aproximar la información de las estaciones meteorológicas se calcula la media aritmética, esta información es la que se muestra en la siguiente tabla.

**Tabla N° 4.7.3.2:** Humedad Relativa Mensual Media, promediada para la estación El Papalón y Santiago de María (%).

**Fuente:** SNET.

Año\Mes	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1998	65.5	66.5	65.0	64.0	67.5	74.5	79.0	81.0	86.0	88.0	82.0	77.0
1999	66.0	63.0	64.0	67.0	78.5	81.5	78.0	82.5	89.5	84.0	71.0	69.5
2000	62.0	59.0	66.0	64.5	79.0	78.5	74.0	76.5	85.5	77.0	77.0	63.0
2001	62.5	56.5	62.5	61.0	74.5	72.0	73.5	74.5	83.0	79.0	71.0	67.0
2002	62.5	58.0	57.0	60.5	68.5	81.0	76.0	75.5	85.0	81.5	73.0	71.0
2003	65.0	63.5	62.0	67.5	75.0	90.0	79.0	80.0	85.0	86.0	79.0	66.0
2004	66.5	63.0	56.5	64.0	76.0	77.0	79.5	77.5	85.0	86.5	75.0	65.5
2005	59.0	59.0	74.5	68.0	82.0	88.0	82.0	83.5	85.0	87.0	73.0	70.5
2006	73.5	58.5	58.0	67.0	80.0	85.0	78.5	81.0	83.5	86.0	75.0	71.0
2007	62.5	63.5	61.5	69.5	77.5	78.5	76.0	86.0	86.5	87.0	68.5	67.5
2008	63.5	66.5	64.5	71.5	81.5	80.0	81.0	83.0	86.5	85.0	68.0	66.0

La expresión a utilizar en el cálculo de la evapotranspiración potencial (ETP), es la siguiente:

$$ETP = 0.0075 * R_{sm} * T * n$$

Donde:

ETP: Evapotranspiración Potencial (mm).

$R_{sm}$ : Radiación solar incidente (mm).

T: Temperatura promedio mensual ( $^{\circ}$ F).

n: Numero de días del mes correspondiente.

☀ Radiación Solar Incidente.

Para calcular la radiación solar incidente, haremos uso de la siguiente ecuación:

$$R_{sm} = 0.075 * R_{mm} * S^{1/2}$$

Donde:

$R_{sm}$ : Radiación solar incidente (mm)

$R_{mm}$ : Radiación extraterrestre (mm)

S: Porcentaje de brillo de sol;  $S = 12.5 * (100 - H_N)^{1/2}$

$H_N$ : Humedad Relativa.

De la tabla de Penman, se calculó por interpolación la radiación extraterrestre ( $R_{mm}$ ) para una latitud de  $13^{\circ} 21.67105'$ , que es la coordenada que representa el punto medio de la cuenca de la Laguna El Jocotal, estos datos son los que se presentan a continuación.

**Tabla N° 4.7.3.3:** Radiación extraterrestre mensual para una latitud de  $13^{\circ} 21.67105'$ .

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
12.56	13.73	14.96	15.65	15.77	15.61	15.65	15.62	15.18	14.22	12.99	12.75

El porcentaje del brillo del sol es calculado por medio de la siguiente ecuación:

$$S = 12.5 * (100 - H_N)^{1/2}$$

Por ejemplo, para el mes de enero de 1998 tenemos:

Humedad relativa ( $H_N$ ) = 65.5 %.

$$S = 12.5 * (100 - 65.5)^{1/2}$$

$$S = 73.42 \%$$

Luego la radiación solar incidente será.

$$R_{sm} = 0.075 * 12.56 * (73.42)^{1/2}$$

$$R_{sm} = 8.07 \text{ mm.}$$

Con esta información se procede a calcular la evapotranspiración potencial (ETP) para el mes de enero de 1998.

Datos:

Radiación solar incidente ( $R_{sm}$ ) = 8.07 mm.

Temperatura promedio mensual (T) = 24.9 °C = 76.82 °F

Numero de días (n) = 31 días.

Sustituyendo estos valores en la ecuación de ETP, tenemos:

$$ETP = 0.0075 * 8.07 \text{ mm} * 76.82 * 31$$

**ETP = 144.14 mm.**

De esta forma se procede a calcular la evapotranspiración potencial para los demás meses, por lo tanto en la siguiente tabla se presentan los demás resultados.

**Tabla N° 4.7.3.4:** Evapotranspiración potencial (en mm) por el método de Hargreaves.

Año\ Mes	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1998	144.16	140.97	179.60	185.78	187.73	166.42	158.85	155.17	132.37	122.85	120.19	128.21
1999	140.11	143.67	177.21	177.96	162.71	147.51	159.96	150.77	121.42	129.33	132.17	135.42
2000	141.98	152.12	173.29	181.65	161.19	154.06	167.96	162.69	132.74	144.89	128.40	145.96
2001	142.89	152.78	175.74	188.91	171.37	167.47	169.55	168.38	138.96	143.49	132.49	144.05
2002	146.34	153.20	187.81	189.51	183.99	150.42	165.59	166.32	135.16	138.53	132.69	137.66
2003	142.65	148.93	178.38	178.28	172.48	135.57	167.22	164.14	135.00	127.68	125.06	140.00
2004	138.58	146.34	190.27	180.02	168.80	157.78	156.23	162.44	134.51	126.52	129.54	142.57
2005	145.41	145.66	161.45	176.19	154.02	131.44	152.13	147.52	134.03	121.89	131.42	137.27
2006	131.96	147.85	183.11	175.94	159.05	138.49	160.72	155.17	138.25	128.29	128.45	137.99
2007	146.17	143.52	183.10	173.90	165.71	154.60	165.78	140.58	130.08	122.04	136.58	140.29
2008	142.44	144.63	173.35	167.67	154.17	150.06	151.48	147.22	129.77	126.95	136.13	141.20

#### 4.7.4 EVAPOTRANSPIRACIÓN REAL, RESERVA Y EXCEDENTE PARA EL ÁREA DE ESTUDIO.

En nuestro caso la cuenca de la Laguna El Jocotal se encuentra en su totalidad en la zona rural, con un área de 118.18 km<sup>2</sup>, razón por la cual en nuestro Balance Hídrico no se considera evapotranspiración urbana (zona impermeable).

#### ✚ Evapotranspiración de Cultivo.

La evapotranspiración de cultivo en la cuenca de la Laguna El Jocotal varía con las prácticas de la agricultura, desde la etapa de la preparación del terreno hasta la recolección de los mismos.

Los valores de coeficiente de cultivo ( $k_c$ ) varían en un rango aproximado de  $0.2 \leq k_c \leq 1.3$ , el valor inicial de  $k_c$ , para un suelo bien humedecido con poca vegetación, es aproximadamente de 0.35. A medida que la vegetación crece,  $k_c$  se incrementa hasta un valor máximo, el cual puede ser mayor que 1 para cultivos con una cobertura vegetal grande como el maíz, el cual transpira a una tasa mayor que el pasto. A medida que el cultivo se madura, sus requerimientos de humedad disminuyen.

Para ello se han establecido diferentes coeficientes de cultivo según el uso que se le da al suelo de una zona determinada. Luego entonces, la evapotranspiración de cultivo será el producto de la evapotranspiración potencial por el coeficiente de cultivo correspondiente. En la tabla 4.6.4.1 se muestran los diferentes tipos de cultivo que se encuentran en la cuenca de la Laguna El Jocotal, obtenidos del mapa de uso de suelo.

**Tabla N° 4.7.4.1:** Tipos de cultivos encontrados en el área de estudio.

Tipo de Cultivo	%	Área (km <sup>2</sup> )
Cultivo Permanente (café)	0.89	1.055
Cultivo Permanente (caña de azúcar)	6.95	8.217
Bosque	9.29	10.981
Pasto	41.65	49.220
Cultivo Mixto (maíz, maicillo, etc)	22.42	26.500
Cultivos Anuales (hortalizas)	1.26	1.494
Vegetación Arbustiva (suelo lava)	15.02	17.755
Cuerpo de Agua (Laguna)	2.51	2.963
<b>Total</b>	<b>100.00</b>	<b>118.185</b>

Los coeficientes de cultivo que utilizaremos son tomados del balance hídrico nacional proporcionados por el SNET, a continuación presentamos una tabla que contiene los coeficientes de cultivo para cada mes según el uso de suelo que se encontró en la cuenca de la Laguna El Jocotal.

**Tabla N° 4.7.4.2:** Coeficientes de cultivo para el área de estudio.

Uso de Suelo	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
C. Permanente (café)	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
C. Permanente (caña)	0.6	0.8	0.9	0.9	1	1	1	1	1.05	1.15	1.15	0.85
Bosque	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
Pasto	1	1	1	1	1	1	1	1	1.1	1.1	1.1	1
Cultivo Mixto	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15
Cultivos Anuales	1	1	1	1	0.7	1	1.05	1.05	1	1	1	1
Vegetación Arbustiva	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7

Con estos valores se obtendrá ahora el coeficiente de cultivo de toda la cuenca calculando un valor ponderado para cada mes; según las áreas de cada polígono de los usos de suelo; los coeficientes de cultivo correspondientes a la ocupación que se le da al suelo en la zona de estudio son. A continuación se presenta el cálculo de Coeficiente de Cultivo ponderado para el mes de Enero.

$$k_c = \frac{k_{c1}A_1 + k_{c2}A_2 + \dots}{A_T}$$

$$= \frac{0.7 * 1.055 + 0.6 * 8.217 + 0.6 * 10.981 + 1 * 49.22 + 1.15 * 26.5 + 1 * 1.494 + \dots}{115.222}$$

$$\frac{0.7 * 17.755}{115.222}$$

$K_c = 0.92$



De igual forma se calcularon los coeficientes de cultivo ponderado para el resto de los meses, el resumen se muestra en la siguiente tabla.

**Tabla N° 4.7.4.3:** Coeficientes de cultivo ponderado.

Ene	Feb	Mar	Abr	Mar	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
0.92	0.93	0.94	0.94	0.94	0.95	0.95	0.95	0.99	1.00	1.00	0.94

Por último, la evapotranspiración de cultivo será el producto de la evapotranspiración potencial (ETP) por el coeficiente de cultivo ( $K_c$ ), por lo tanto para el mes de enero se tiene:

$$ETC = k_c * ETP$$

$$ETC = 0.92 * 144.16 \text{ mm}$$

$$ETC = 132.63 \text{ mm.}$$

**Tabla N° 4.7.4.4:** Evapotranspiración de Cultivo en (mm).

Año\Mes	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1998	132.47	131.54	168.87	174.69	177.12	157.67	150.60	147.11	131.54	122.95	120.29	120.09
1999	128.74	134.06	166.62	167.33	153.52	139.75	151.65	142.94	120.66	129.43	132.28	126.85
2000	130.46	141.95	162.94	170.80	152.09	145.96	159.23	154.24	131.90	145.01	128.50	136.72
2001	131.30	142.56	165.24	177.62	161.69	158.66	160.74	159.63	138.08	143.61	132.60	134.93
2002	134.47	142.95	176.59	178.19	173.59	142.51	156.99	157.68	134.30	138.64	132.80	128.95
2003	131.08	138.97	167.73	167.63	162.74	128.44	158.53	155.61	134.14	127.78	125.16	131.14
2004	127.34	136.55	178.91	169.27	159.26	149.48	148.12	154.00	133.66	126.62	129.65	133.55
2005	133.61	135.92	151.81	165.67	145.32	124.53	144.23	139.86	133.19	121.99	131.53	128.58
2006	121.25	137.96	172.18	165.44	150.07	131.21	152.37	147.11	137.38	128.39	128.55	129.26
2007	134.31	133.92	172.17	163.51	156.35	146.47	157.17	133.28	129.26	122.14	136.70	131.41
2008	130.89	134.96	162.99	157.66	145.46	142.16	143.61	139.57	128.95	127.05	136.24	132.26

### ✚ Evapotranspiración Real en Zona Rural.

Para calcular la evapotranspiración real en la zona rural, que vendría a ser la evapotranspiración real de la cuenca, ya que como se dijo anteriormente no contamos con asentamientos urbanos en el interior del área de drenaje, por lo tanto para obtener la evapotranspiración real en la zona rural haremos uso del método de Thornthwite, partiendo de la siguiente ecuación.

**Si,  $ETC < P + res_{i-1}$ ;  $\rightarrow ETR = ETC$**

**Si,  $ETC > P + res_{i-1}$ ;  $\rightarrow ETR = P + res_{i-1}$**

Donde:

ETC: Evapotranspiración de cultivo.

P: Precipitación.

ETR: Evapotranspiración Real.

$res_{i-1}$ : Reserva del periodo anterior al considerado.

En este caso, vamos a considerar nula la reserva del mes anterior a enero de 1998, ya que en este tiempo se da la época seca en nuestro país.

$$res_{i-1} = 0$$

Así para enero de 1998, tenemos:

$$132.47 > 0.0 + 0.0; ETR = 0$$

De igual forma se procede para el resto de los meses, a continuación se presenta la tabla resumen de la evapotranspiración real de la zona rural (ETR).

**Tabla N° 4.7.4.5:** Evapotranspiración Real en (ETR en mm).

Año\Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
1998	0.00	0.00	2.37	0.00	67.14	157.67	150.60	147.11	131.54	122.95	120.29	86.65	<b>986.32</b>
1999	0.09	0.00	0.90	29.25	144.49	139.75	151.65	142.94	120.66	129.43	115.78	4.47	<b>979.41</b>
2000	0.00	0.00	0.00	15.57	152.09	145.96	159.23	154.24	131.90	145.01	72.44	0.00	<b>976.44</b>
2001	0.00	0.00	8.41	0.47	161.69	158.65	160.74	159.63	138.08	143.61	88.22	0.00	<b>1019.51</b>
2002	10.59	0.10	0.03	25.61	173.59	142.51	156.99	157.68	134.30	138.64	132.80	15.02	<b>1087.86</b>
2003	0.00	0.00	22.65	3.05	162.74	128.44	158.53	155.61	134.14	127.78	125.16	30.56	<b>1048.67</b>
2004	0.19	3.04	4.62	19.64	159.26	149.48	148.12	154.00	133.66	126.62	129.65	28.12	<b>1056.39</b>
2005	0.00	0.00	35.80	29.27	145.32	124.53	144.23	139.86	133.19	121.99	126.02	1.51	<b>1001.71</b>
2006	0.00	0.00	0.00	30.75	126.30	131.21	152.37	147.11	137.38	128.39	128.55	42.17	<b>1024.23</b>
2007	0.00	0.00	0.96	10.66	125.33	61.15	130.09	133.28	129.26	122.14	136.70	4.90	<b>854.46</b>
2008	0.12	2.46	2.85	26.72	145.46	142.16	143.61	139.57	128.95	127.05	87.20	0.00	<b>946.16</b>

#### ☼ Reserva de Agua Útil (SAT).

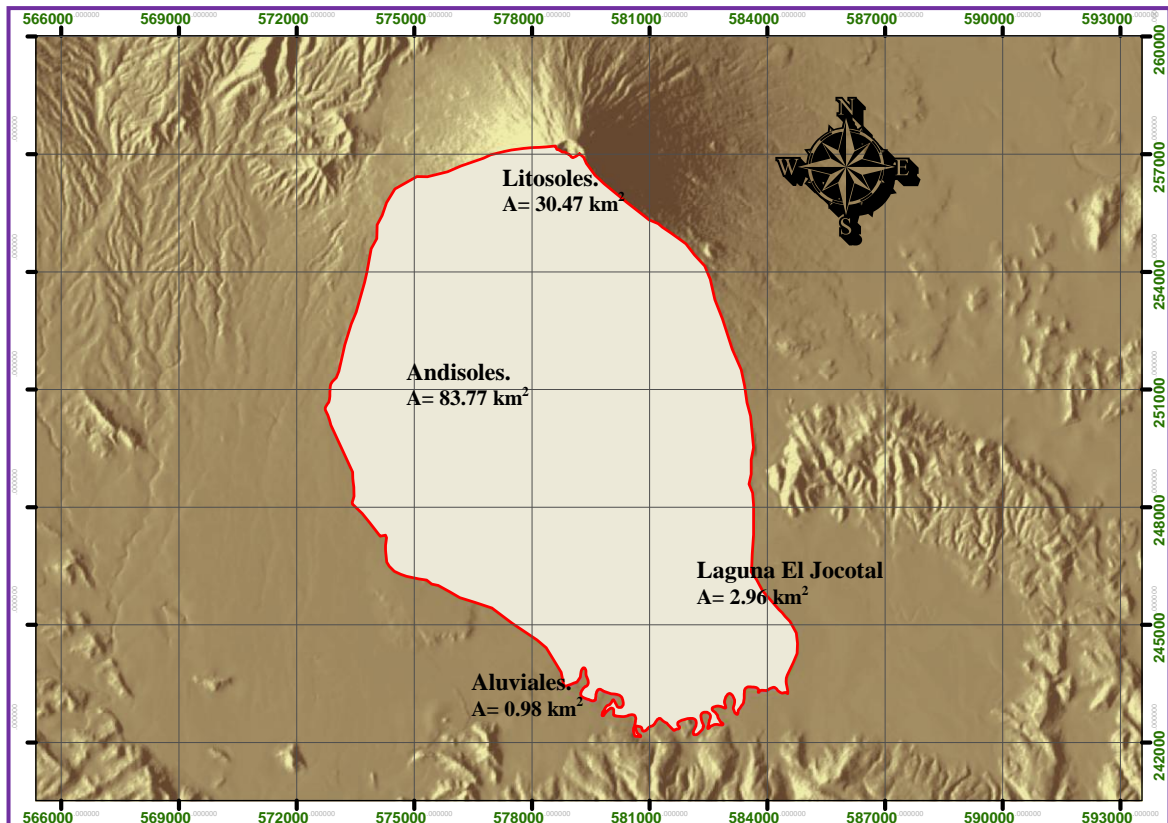
Para calcular la Reserva de Agua Útil (SAT), es necesario observar el tipo de suelo (figura 33), y de esta manera determinar cual es la textura de los suelos que se encuentran en el área de estudio. Una vez que se tiene esta característica se usan los valores de la tabla de la USDA (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos), y luego ponderar el valor correspondiente a la cuenca según el área de cada polígono, considerando un espesor de suelo saturado de 2 pies (recomendado por el SNET).

**Tabla N° 4.7.4.6:** Punto de Marchitez Permanente, Capacidad de campo y Capacidad de agua disponible para suelos de varias texturas.

**Fuente:** Servicio Nacional de Estudios Territoriales (SNET).

Textura	Punto de Marchitez. (agua por pie de profundidad)			Capacidad de Campo. (agua por pie de profundidad)			Capacidad de Agua Disponible. (agua por pie de profundidad)		
	(%)	(pulg.)	(mm)	(%)	(pulg.)	(mm)	(%)	(pulg.)	(mm)
Arena media	1.7	0.3	7.62	6.8	1.2	30.48	5.1	0.9	22.86
Arena fina	2.3	0.4	10.16	8.5	1.5	38.1	6.2	1.1	27.94
Franco arenoso	3.4	0.6	15.24	11.3	2	50.8	7.9	1.4	35.56
Franco arenoso fino	4.5	0.8	20.32	14.7	2.6	66.04	10.2	1.8	45.72
Franco	6.8	1.2	30.48	18.1	3.2	81.28	11.3	2	50.8
Franco limoso	7.9	1.4	35.56	19.8	3.5	88.9	11.9	2.1	53.34
Franco arcilloso	10.2	1.8	45.72	21.5	3.8	96.52	11.3	2	50.8
Arcilloso	14.7	2.6	66.04	22.6	4	101.6	7.9	1.4	35.56

**Figura N° 4.7.4.1:** Área de tipos de suelos encontrados en la zona de estudio.



**Tabla N° 4.7.4.7:** Reserva de agua útil (SAT, en mm) para el área rural.

Tipo de Suelo	Área (km <sup>2</sup> )	Área Rural Permeable. (km <sup>2</sup> )	Capacidad de Agua Disponible. (mm), para 2 pies de espesor.
Andisoles (franco)	83.77	83.77	101.60
Litosoles (arena)	30.47	30.47	45.72
Aluviales (franco arenoso)	0.98	0.98	71.12
		115.22	<b>SAT= 86.56 mm.</b>

Con el valor de Reserva de Agua Útil (SAT = 86.56 mm, que vendría a ser la altura de una lamina de agua máxima almacenada en el suelo), se procede a calcular la reserva correspondiente a cada mes.

$$\text{Si, (P-ETR) + Res}_{i-1} < \text{SAT}; \rightarrow \text{Res}_i = (\text{P-ETR}) + \text{Res}_{i-1}$$

$$\text{Si, (P-ETR) + Res}_{i-1} > \text{SAT}; \rightarrow \text{Res}_i = \text{SAT}$$

Para enero de 1998, tenemos:

$$0-0+0 < 85.56 \rightarrow \text{Res}_i = 0.0$$

De igual forma se procedió para los demás meses de los años 1998 hasta 2008, el resumen se presenta a continuación.

**Tabla N° 4.7.4.8:** Reserva en el área rural (mm).

Año\Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1998	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	40.02	86.56	86.56	54.91	86.56	86.56	0.00
1999	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	86.56	86.56	86.56	86.56	86.56	0.00	0.00
2000	0.00	0.00	0.00	0.00	86.56	86.56	61.61	86.56	86.56	56.41	0.00	0.00
2001	0.00	0.00	0.00	0.00	86.56	0.00	61.36	86.56	86.56	86.56	0.00	0.00
2002	0.00	0.00	0.00	0.00	86.56	86.56	86.56	86.56	86.56	86.56	15.02	0.00
2003	0.00	0.00	0.00	0.00	4.32	86.56	84.91	86.56	86.56	86.56	30.46	0.00
2004	0.00	0.00	0.00	0.00	84.79	50.15	86.56	22.37	86.56	86.56	28.12	0.00
2005	0.00	0.00	0.00	0.00	86.56	86.56	86.56	86.56	86.56	86.56	0.00	0.00
2006	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	86.56	86.56	86.56	86.56	86.56	38.71	0.00
2007	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	86.56	86.56	86.56	4.90	0.00
2008	0.00	0.00	0.00	0.00	86.56	61.97	86.56	86.56	86.56	86.56	0.00	0.00

- ☉ Excedente en el área rural para los meses en consideración.

Después de obtener la reserva para cada mes, se calcula el excedente con el uso de una hoja de cálculo aplicando la siguiente ecuación.

**Si,  $(P-ETR) + Res_{i-1} < SAT$ ;  $\rightarrow Exc_i = SAT$**

**Si,  $(P-ETR) + Res_{i-1} > SAT$ ;  $\rightarrow Exc_i = (P-ETR) + Res_{i-1} - SAT$ .**

Sustituyendo valores para enero de 1998, se tiene:

$0-0+0 < 85.56 \rightarrow Exc_i = SAT$

El resumen se muestra a continuación.

**Tabla N° 4.7.4.9:** Excedente en el área rural (mm).

Año\Mes	Ener	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
<b>1998</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	132.54	158.38	0.00	285.12	152.89	0.00	<b>728.93</b>
<b>1999</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	90.54	37.71	42.43	293.68	65.47	0.00	0.00	<b>529.83</b>
<b>2000</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	112.84	127.49	0.00	112.29	247.08	0.00	0.00	0.00	<b>599.70</b>
<b>2001</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	22.98	0.00	0.00	67.50	14.22	209.11	0.00	0.00	<b>313.81</b>
<b>2002</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	54.78	41.92	81.40	52.26	135.98	131.13	0.00	0.00	<b>497.48</b>
<b>2003</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	115.24	0.00	132.70	101.15	192.96	0.00	0.00	<b>542.05</b>
<b>2004</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	25.41	0.00	128.91	34.31	0.00	0.00	<b>188.63</b>
<b>2005</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	144.15	46.64	35.28	224.09	221.76	239.44	0.00	0.00	<b>911.35</b>
<b>2006</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	132.58	134.20	140.95	151.64	98.82	0.00	0.00	<b>658.19</b>
<b>2007</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	113.64	254.89	253.91	0.00	0.00	<b>622.44</b>
<b>2008</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	3.54	0.00	139.97	230.46	58.97	283.44	0.00	0.00	<b>716.37</b>

- ☉ Déficit en el área rural para los años en consideración.

Para calcular el déficit en el área rural se hace la diferencia de la evapotranspiración real de cultivo (ETC) y la evapotranspiración real en la zona rural (ETR), la tabla que se muestra a continuación presenta el resumen de los déficits para cada mes.

Tabla N° 4.7.4.10: Déficits en el área rural (mm).

Año\Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
1998	132.47	131.54	166.50	174.69	109.99	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	33.44	748.62
1999	128.64	134.06	165.72	138.08	9.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	16.50	122.38	714.42
2000	130.46	141.95	162.94	155.23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	56.06	136.72	783.36
2001	131.30	142.56	156.83	177.15	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	44.38	134.93	787.17
2002	123.87	142.85	176.56	152.58	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	113.94	709.80
2003	131.08	138.97	145.08	164.58	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.59	680.29
2004	127.15	133.51	174.29	149.63	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	105.43	690.01
2005	133.61	135.92	116.01	136.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.51	127.06	654.51
2006	121.25	137.96	172.18	134.69	23.77	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	87.09	676.94
2007	134.31	133.92	171.21	152.85	31.02	85.32	27.08	0.00	0.00	0.00	0.00	126.51	862.21
2008	130.77	132.50	160.14	130.94	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	49.04	132.26	735.65

#### 4.7.5 EVAPORACIÓN DE CUERPOS DE AGUA (LAGUNA EL JOCOTAL).

Los cuerpos de agua como lagos, lagunas y embalses presentan una gran pérdida de agua por evaporación debido a la radiación solar. Esta pérdida de agua puede ser estimada a partir de información de evaporación en tanques evaporímetros, o a través de fórmulas que estimen la pérdida de agua por efectos climáticos.

Los dos factores principales que influyen en la evaporación desde una superficie abierta son el suministro de energía para proveer el calor latente de vaporización, y la habilidad para transportar el vapor fuera de la superficie. La radiación solar es la principal fuente de energía calorífica. La habilidad de transportar el vapor fuera de la superficie de evaporización depende de la velocidad del viento sobre la superficie y del gradiente de la humedad específica en el aire por encima de ella.

Para estimar la evaporación de la Laguna El Jocotal, se utilizará el método de “Balance de Energía” desarrollado por Ven Te Chow, en su libro titulado Hidrología Aplicada, donde la tasa de evaporación “E” puede calcularse como la tasa a la cual toda la radiación neta de entrada se absorbe por la evaporación, y consiste en aplicar la siguiente ecuación.

$$E = \frac{R_n}{l_v \rho_w}$$

Donde:

$R_n$ : Es la radiación neta en la superficie en cualquier instante en  $w/m^2$ .

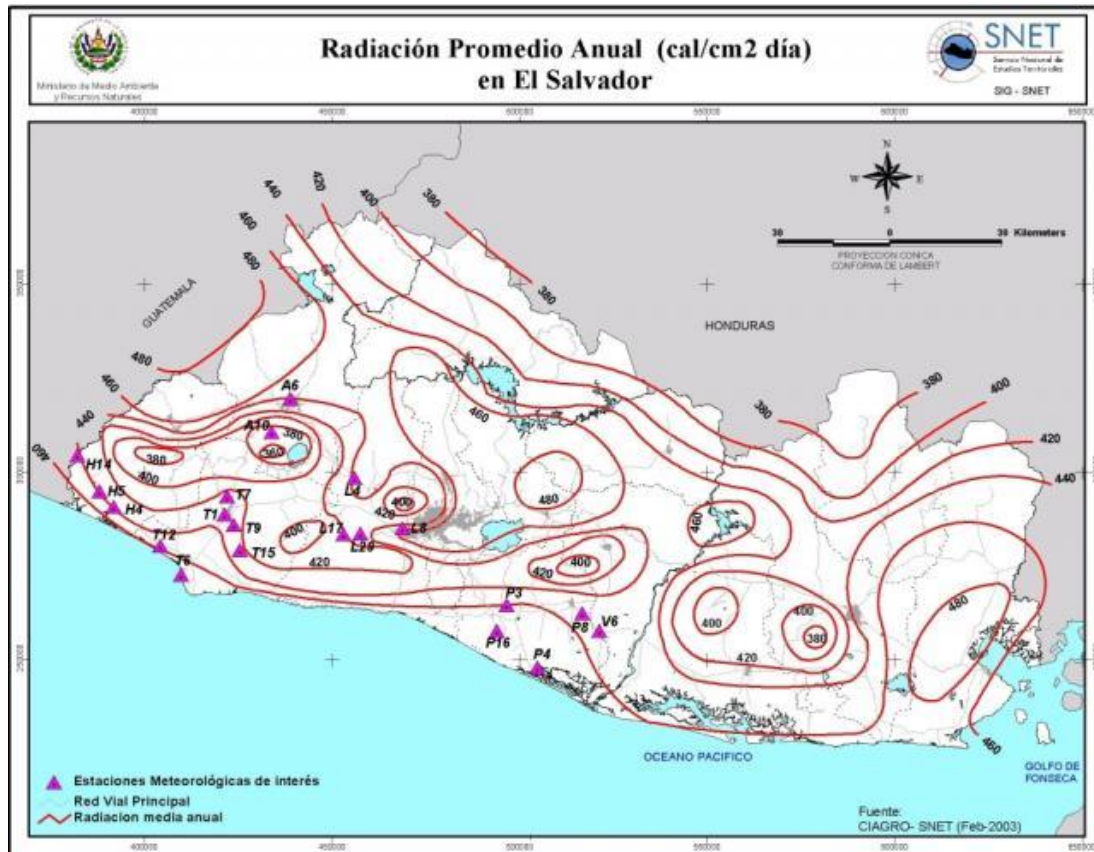
$L_v$ : Es el calor latente de vaporización en  $J/kg$ .

$\rho_w$ : Es la densidad del agua a una temperatura específica en  $kg/m^3$ .

◆ **Calculo de la radiación neta:**

Para el cálculo de la radiación neta instantánea se ha partido de la ecuación del balance radiativo, con una radiación incidente tomada del mapa mostrado en la siguiente figura. Es de hacer notar que se usará la radiación promedio anual debido a que no se cuenta con registros mensuales actuales, ya que los registros por medio de radiómetros se encuentran incompletos.

**Figura N° 4.7.5.1: Radiación Promedio Anual para el Salvador.**





$$R_n = (R_s (1 - \alpha)) + (e_a \sigma T_a^4) - (e \sigma T_{sa}^4)$$

Donde:

$R_s$ : Es la radiación incidente de onda corta.

$\alpha$ : Es la fracción de radiación reflejada por una superficie.

$e_a$ : Emisividad del aire.

$e$ : Emisividad de la superficie de agua.

$\sigma$ : Constante de Stefan-Boltzmann.

$T_a$ : Temperatura del aire (K).

$T_{sa}$ : Temperatura de la superficie calculada en (K).

La emisividad del aire se calcula mediante la ecuación propuesta por Idso, S. B., 1981.

$$e_a = (0.7 + 5.9 \times 10^{-5} P^{(1500/T_a)})$$

Donde:

$P$ : Presión del vapor de agua (kPa).

$T_a$ : Temperatura del aire (K).

**Nota:** durante este análisis se considerará que  $T_a = T_{sa} =$  Temperatura ambiente, debido a que es esta última la que registra el SNET.

Por lo tanto para el mes de enero de 1998, se tiene una emisividad de.

Datos:

$P = 3.170$  kpa.

$297.9$  °k.

Sustituyendo valores en la ecuación anterior se tiene.

$$e_a = (0.7 + 5.9 \times 10^{-5} P^{(1500/T_a)}) = (0.7 + 5.9 \times 10^{-5} (3.170 \text{ kpa})^{(1500/297.9 \text{ k})}).$$

**$e_a = 0.72$**

A continuación se presenta el cálculo de la radiación neta para el mes de enero de 1998, los datos requeridos son los siguientes.

Datos:

$R_s$ : 208.32 w/m<sup>2</sup>; tomado del mapa de Radiación Promedio Anual, proporcionado por el SNET.

$\alpha$ = 0.08; tomado de Ven Te Chow, recomendado para superficies de agua poco profundo, como lagunas, embalse.

$e_a$ : 0.72

$e$ : 0.97; recomendado por Ven Te Chow, para superficies de agua.

$\sigma$ = 5.67x10<sup>-8</sup> w/m<sup>2</sup>.<sup>0</sup>k<sup>4</sup>.

$T$ = 297.9 <sup>0</sup>k

Sustituyendo valores en la ecuación 3.33, se tiene.

$$R_n = (208.32 \text{ w/m}^2 (1-0.08)) + (0.72 * (5.67 \times 10^{-8} \text{ w/ m}^2 \cdot \text{k}^4) * (297.9 \text{ }^0\text{k})^4) - (0.97 * (5.67 \times 10^{-8} \text{ w/ m}^2 \cdot \text{k}^4) * (297.9 \text{ }^0\text{k})^4).$$

**$R_n = 80.01 \text{ w/m}^2$ .**

A continuación presentamos el resumen de la radiación neta en la zona de de la Laguna El Jocotal, Cantó El Borbollón.

**Tabla N° 4.7.5.1:** Radiación neta en la Laguna El Jocotal en w/m<sup>2</sup>.

Año/Mes	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1998	79.64	79.58	83.19	85.25	84.56	82.38	79.67	79.84	79.32	79.28	79.28	79.20
1999	79.24	79.46	81.03	82.38	80.30	79.51	79.56	79.56	79.20	79.19	79.20	79.21
2000	79.19	79.39	80.38	82.64	80.06	79.64	79.77	79.61	79.26	79.31	79.34	79.28
2001	79.21	80.38	79.70	84.73	81.03	80.74	80.06	80.38	79.32	79.53	79.19	79.53
2002	79.51	81.33	82.38	84.73	82.91	79.99	80.14	80.22	79.38	79.46	79.26	79.31
2003	79.36	82.01	80.47	83.05	82.13	86.55	84.73	84.08	79.36	79.28	79.29	79.19
2004	79.20	79.24	83.62	81.33	81.03	79.99	79.44	80.06	79.31	79.28	79.22	79.23
2005	79.19	79.28	80.47	82.13	79.67	79.38	79.56	79.41	79.27	79.22	79.20	79.24
2006	79.26	79.46	80.56	81.23	79.99	79.32	79.99	79.84	79.36	79.34	79.19	79.34
2007	79.48	79.51	82.64	82.01	80.83	79.77	80.22	79.31	79.24	79.21	79.20	79.22
2008	79.23	79.39	79.70	80.30	79.53	79.46	79.27	79.28	79.22	79.20	79.19	79.20

◆ Cálculo del calor latente de vaporización ( $l_v$ ).

El calor latente se da cuando una sustancia cambia de fase (estado sólido, líquido o gaseoso) esta absorbe o emite calor latente. Existen tres clases a saber: fusión o derretimiento de hielo, vaporización de agua líquida y sublimación.

El calor latente de vaporización “ $l_v$ ” varía ligeramente con la temperatura y se calcula por medio de la siguiente ecuación.

$$l_v = 2.501 \times 10^6 - 2370T$$

Donde:

$l_v$ : calor latente de vaporización en J/kg.

T: temperatura en  $^{\circ}\text{C}$ .

Entonces para el mes de enero, con una temperatura promedio de  $24.9^{\circ}\text{C}$  tenemos.

$$l_v = 2.501 \times 10^6 - 2370(24.9^{\circ}\text{C}) = 2441987 \text{ J/kg.}$$

La siguiente tabla muestra el Calor latente para los siguientes meses.

**Tabla N° 4.7.5.2:** Calor latente en KJ/kg.

Año/Mes	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1998	2,442	2,442	2,438	2,436	2,437	2,438	2,442	2,442	2,444	2,444	2,444	2,445
1999	2,444	2,443	2,440	2,438	2,441	2,443	2,442	2,442	2,445	2,446	2,446	2,447
2000	2,446	2,443	2,441	2,438	2,441	2,442	2,442	2,442	2,444	2,444	2,444	2,444
2001	2,445	2,441	2,442	2,437	2,440	2,440	2,441	2,441	2,444	2,442	2,446	2,442
2002	2,443	2,439	2,438	2,437	2,438	2,441	2,441	2,441	2,443	2,443	2,444	2,444
2003	2,443	2,439	2,441	2,438	2,439	2,435	2,437	2,437	2,443	2,444	2,444	2,446
2004	2,445	2,444	2,437	2,439	2,440	2,441	2,443	2,441	2,444	2,444	2,445	2,445
2005	2,445	2,444	2,441	2,439	2,442	2,443	2,442	2,443	2,444	2,447	2,445	2,444
2006	2,444	2,443	2,440	2,440	2,441	2,444	2,441	2,442	2,443	2,444	2,446	2,444
2007	2,443	2,443	2,438	2,439	2,440	2,442	2,441	2,444	2,444	2,447	2,445	2,445
2008	2,445	2,443	2,442	2,441	2,442	2,443	2,444	2,444	2,445	2,446	2,446	2,445

◆ Densidad del agua ( $\rho_w$ ).

Este parámetro será determinado por medio de la tabla 2.5.2 de Ven Te Chow, y para el caso de que una temperatura no se encuentre tabulada, la densidad será calculada por medio de una interpolación entre los valores más cercanos.

$$\rho_w = 997 \text{ kg/m}^3.$$

Con la información obtenida se procede a calcular la evaporación “E” por medio de la ecuación del “Balance de Energía” para el mes de enero de 1998.

$$E = (80.01 \text{ w/m}^2) / (2441987 \text{ J/kg} \times 997 \text{ kg/m}^3) = 3.2 \times 10^{-8} \text{ m/s.}$$

$$E = (3.2 \times 10^{-8} \text{ m/s}) \times (1000 \text{ mm}) \times (86400 \text{ s})$$

$E = 2.76 \text{ mm/día}$ ; el mes de enero de 1998 tiene 31 días, entonces la evaporación mensual será.

**$E = 85.71 \text{ mm/mes.}$**

De forma análoga se procede para el resto de los meses y para los años en consideración, el resumen se presenta en la siguiente tabla.

**Tabla N° 4.7.5.3:** Evaporación de cuerpos de agua (Laguna El Jocotal), en mm/mes.

Año/Mes	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1998	87.61	79.07	91.71	91.01	93.27	87.86	87.65	87.85	84.38	87.13	84.32	87.00
1999	87.06	78.92	89.23	87.86	88.39	84.62	87.50	87.50	84.19	86.95	84.14	86.94
2000	86.95	81.66	88.49	88.14	88.11	84.79	87.77	87.58	84.28	87.17	84.40	87.13
2001	87.01	79.92	87.69	90.45	89.23	86.03	88.11	88.49	84.38	87.47	84.14	87.47
2002	87.44	80.92	90.79	90.45	91.39	85.18	88.20	88.29	84.45	87.38	84.28	87.17
2003	87.24	81.62	88.59	88.59	90.50	92.44	93.46	92.73	84.42	87.13	84.34	86.95
2004	86.99	81.44	92.20	86.70	89.23	85.18	87.35	88.11	84.36	87.13	84.23	87.05
2005	86.97	78.70	88.59	87.58	87.65	84.45	87.50	87.32	84.30	86.94	84.18	87.06
2006	87.09	78.92	88.69	86.58	88.02	84.38	88.02	87.85	84.42	87.22	84.16	87.22
2007	87.41	78.98	91.08	87.45	89.01	84.94	88.29	87.17	84.25	86.94	84.18	87.03
2008	87.05	81.66	87.69	85.54	87.47	84.56	87.11	87.13	84.23	86.94	84.14	86.99

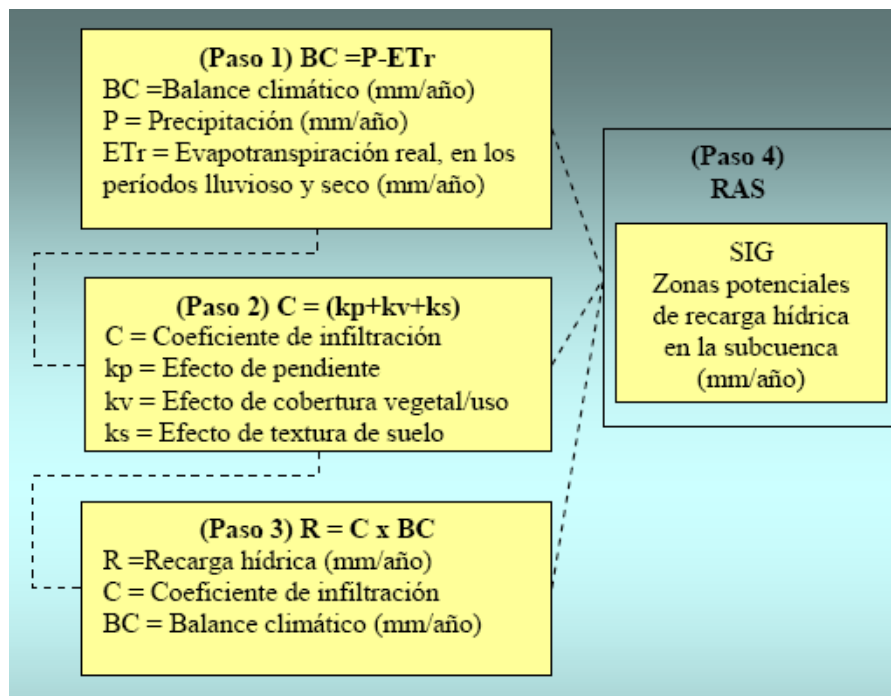
#### 4.7.6 RECARGA O INFILTRACIÓN.

La infiltración representa la cantidad de agua que penetra en el suelo y en el subsuelo, donde pasa a alimentar las aguas subterráneas; por lo tanto el volumen de agua infiltrado viene a constituir el recurso renovable de los acuíferos.

Para la estimación de la infiltración en el área de estudio se ha desarrollado el método RAS de Martín Junker, (Hidrogeólogo) basado en el proyecto FORGAES 2005, el cual se preparó en base a la información proporcionada por el SNET, con las precipitaciones promedios observadas durante 30 años y en el cálculo de la evapotranspiración real de 15 estaciones meteorológicas ubicadas en todo el país. El análisis hidrogeológico está calculado con base a datos y mapas básicos se determina con pocos cálculos la recarga del agua subterránea a los acuíferos, con valores cuantitativos en mm/año.

El método científico RAS, basa su estimación en el balance climático multiplicado por un coeficiente de infiltración cuyos pasos se representan en la siguiente figura.

**Figura N° 4.7.6.1:** Esquema de pasos para la aplicación del método RAS.



A continuación aplicaremos paso a paso el método RAS a nuestra área de estudio:

#### ✚ Balance Climático.

El cálculo del balance climático es la diferencia entre la precipitación y la evapotranspiración real de la cuenca. Conocer la disponibilidad de agua “Balance Climático” es de gran importancia para los pobladores, para poder programar actividades de pesca y agrícolas tanto en la época seca como en la época lluviosa.

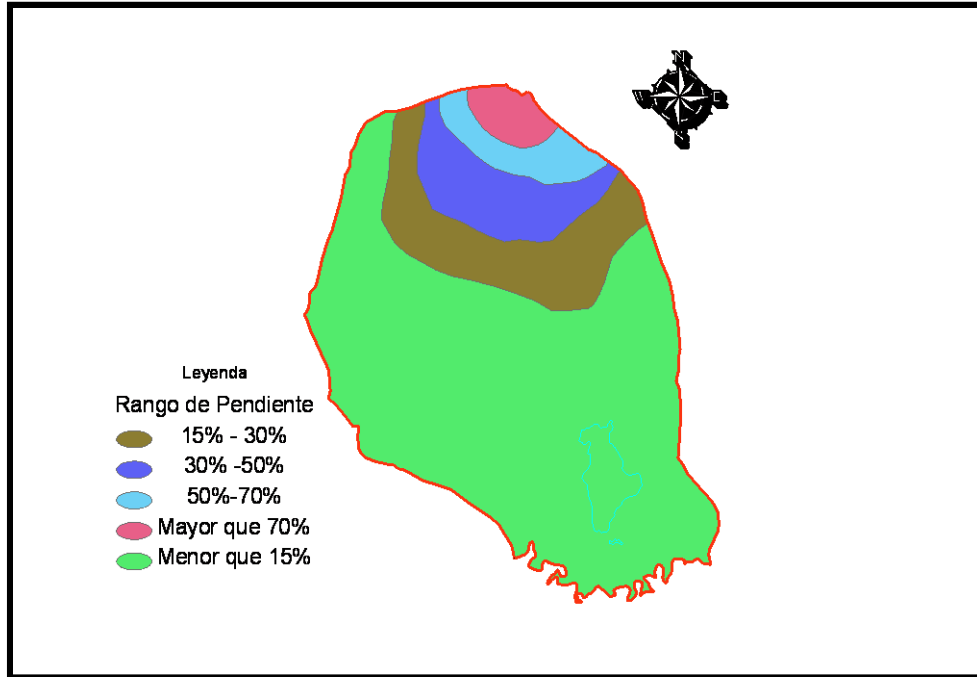
**Tabla N° 4.7.6.1:** Cálculo del Balance Climático.

Año	P(mm)	ETR(mm)	BC=P-ETR(mm/año)
1998	1715.25	986.32	728.93
1999	1509.24	979.41	529.83
2000	1576.14	976.44	599.70
2001	1333.31	1019.51	313.81
2002	1585.34	1087.86	497.48
2003	1590.72	1048.67	542.05
2004	1245.02	1056.39	188.63
2005	1913.06	1001.71	911.35
2006	1682.42	1024.23	658.19
2007	1476.90	854.46	622.44
2008	1662.53	946.16	716.37

#### ✚ Coeficiente de la pendiente ( $k_p$ ).

Para encontrar el coeficiente de pendiente es necesario elaborar un mapa de rangos de pendiente como el que se muestra en la figura 4.7.6.2, en esta figura se observa que en nuestra área de estudio tenemos cinco rangos de pendiente, a los cuales se les asignará un valor de coeficiente de la escorrentía superficial ( $k_p$ ) y luego determinar un valor ponderado para toda la cuenca.

Figura N° 4.7.6.2: Mapa de pendientes en la zona de estudio.



Los valores de coeficiente de pendiente recomendados por Junker son los que se muestran en la siguiente tabla.

Tabla N° 4.7.6.2: Valores de  $k_p$  según el rango de pendiente.

Rango de Pendientes	( $k_p$ )
Menor de 15%	0.4
15% - 30%	0.15
30% - 50%	0.7
50% - 70%	0.05
Mayor de 70%	0.01

Tabla N° 4.7.6.3: Cálculo de  $k_p$  para la zona de estudio.

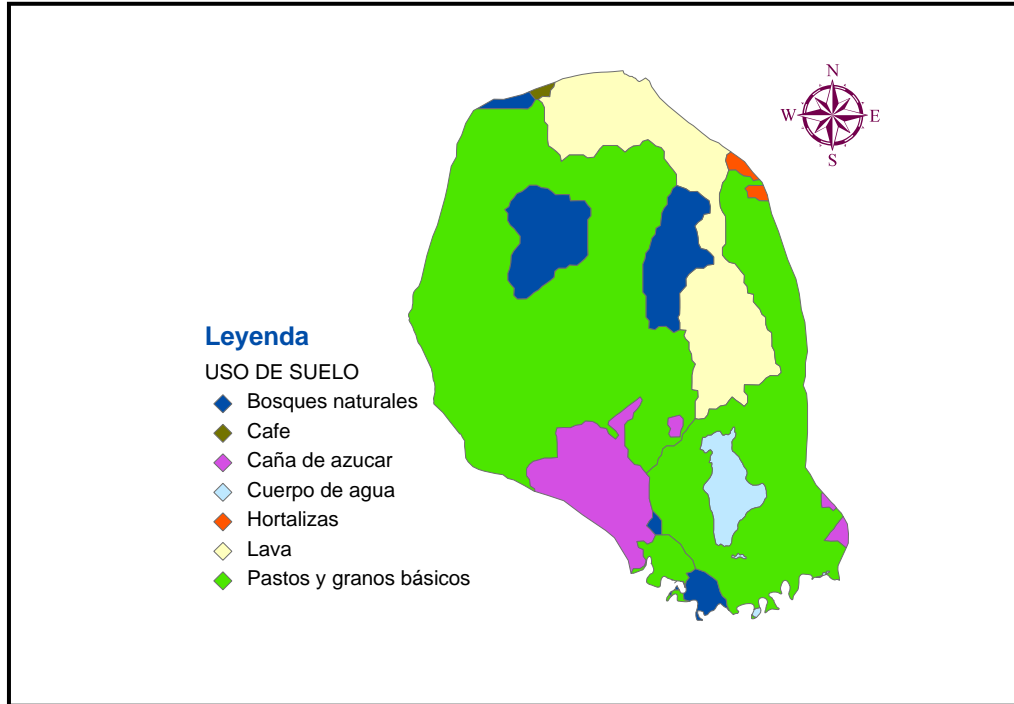
Zona	( $k_p$ )	Área ( $\text{km}^2$ )	Área* $k_p$
I	0.4	83.32	33.328
II	0.15	16.2	2.43
II	0.7	10.41	7.287
IV	0.05	5.07	0.2535
V	0.01	3.18	0.0318
		$A_T = 118.18$	$\Sigma = 43.330$
$K_p = 0.36$			

#### ☀ Coeficiente de transpiración vegetal ( $k_v$ ).

El coeficiente de transpiración vegetal se obtiene en base a un mapa de uso de suelo, para nuestro caso se tomó como referencia los datos elaborados por la consultoría del proyecto SHERPA (2002), el autor del método clasificó diferentes grupos de coeficientes de uso de suelo ( $k_v$ ) para todo el país, de los cuales se tomaron los valores que corresponden a nuestra área de estudio. La siguiente figura muestra el uso de suelo de la cuenca de la Laguna El Jocotal.



Figura N° 4.7.6.3: Uso de suelo en la zona de estudio.



Se encontraron seis usos de suelo diferente, a los cuales se les asigna un coeficiente de transpiración vegetal, luego se procede a ponderar un valor para toda la cuenca.

Tabla N° 4.7.6.4: Cálculo de  $k_v$  para la zona de estudio.

Uso de suelo	$k_v$	Área (km <sup>2</sup> )	Área* $k_v$
Bosque	0.2	10.981	2.196
Café (perenne)	0.19	1.055	0.200
Caña de azúcar (perenne)	0.18	8.217	1.479
Hortalizas (Agroforestal)	0.14	1.494	0.209
Lava	0.19	17.755	3.373
Pastos	0.1	75.720	7.572
		$A_T=115.222$	$\sum= 15.030$
			$k_v= 0.13$

⊕ **Coefficiente de tipo de suelo ( $k_s$ ).**

Este coeficiente se calcula en base a un mapa de tipo de suelo fig. 4.6.4.1, tomando en cuenta su textura y composición, a cada tipo de suelo se le asignó un coeficiente de textura. En la siguiente tabla se muestran los coeficientes correspondientes a cada tipo de suelo.

**Tabla N° 4.7.6.5:** Coeficiente de tipo de suelo.

Tipo de Suelo	Descripción o composición	$k_s$
Andisoles	Suelos originados de la ceniza volcánica, de color oscuro, textura franca y estructura granular.	0.2
Litsoles	Suelos arcillosos superficiales, pueden tener textura gruesa, arenas y gravas, hasta muy pedregosos sobre la roca dura.	0.15
Aluviales	Suelos transportados por ríos o lagos, estratificados de textura variable, carecen de modificaciones de agentes externos (agua, clima, etc).	0.17

Luego se procede a calcular el coeficiente ponderado para la cuenca, el resultado se presenta en la siguiente tabla.

**Tabla N° 4.7.6.6:** Coeficiente de tipo de suelo ponderado del área de estudio.

Tipo de Suelo	$k_s$	Área (km <sup>2</sup> )	Área* $k_s$
Andisoles	0.2	83.770	16.754
Litsoles	0.15	30.470	4.571
Aluviales	0.17	0.980	0.167
		$\Sigma =$ 115.220	21.491
		$k_s = 0.19$	

Con esta información se procede a calcular la recarga o infiltración por medio de la fórmula del método RAS.

$$I = BC \times C$$

Donde:

I: Infiltración anual en mm

BC: Balance climático de la cuenca en mm/año

C: Coeficiente de infiltración, del cuál,  $C = K_p + K_v + K_s$

$$C = 0.37 + 0.13 + 0.19$$

$$C = 0.66$$

Sustituyendo valores en la fórmula anterior se obtiene la recarga en mm/año, el resumen se presenta en la siguiente tabla.

**Tabla N° 4.7.6.7:** Cálculo de la recarga o infiltración.

<b>Año</b>	<b>BC (mm/año)</b>	<b>Infiltración (mm/año)</b>
1998	728.93	481.09
1999	529.83	349.69
2000	599.70	395.80
2001	313.81	207.11
2002	497.48	328.34
2003	542.05	357.75
2004	188.63	124.50
2005	911.35	601.49
2006	658.19	434.41
2007	622.44	410.81
2008	716.37	472.81

#### 4.7.7 DEMANDAS.

Para la estimación de la demanda hídrica, se obtuvo información de censos que registra la promotora de salud de la comunidad El Borbollón y específicamente para los años 2006, 2007, 2008, estimando así la tasa crecimiento poblacional; además se obtuvo datos de extracción de los pozos que abastecen al Cantón El Borbollón y parte del Cantón El Brazo, con lo que se busca cuantificar la posible extracción actual.

**Tabla N° 4.7.7.1:** Censo de la comunidad del Cantón El Borbollón.

Año	2006	2007	2008
Población del Cantón (hab).	2483	2519	2572

Para el cálculo del consumo domiciliario, se estimó la población para los años 1998 a 2008 (Tasa de crecimiento según modelo geométrico:  $i = 1.78\%$ ) y para una dotación de 200 lt/persona/día se encontró el volumen total consumido.

**Tabla N° 4.7.7.2:** Consumo de agua anual para el Cantón El Borbollón.

Años	Población $P_i = P_f / (1 + 0.0178)^n$	Consumo (Mm <sup>3</sup> )
1998	2156	0.157
1999	2194	0.160
2000	2233	0.163
2001	2273	0.166
2002	2314	0.169
2003	2355	0.172
2004	2397	0.175
2005	2439	0.178
2006	2483*	0.181
2007	2519*	0.184
2008	2572*	0.188

\*Datos obtenidos directamente por la promotora de salud de la comunidad.

#### 4.7.8 RETORNOS.

Para tener en cuenta los retornos del agua que se extrae como demanda dentro de la cuenca, se aplicó un factor de 50% a esa demanda. Las importaciones y las exportaciones no se toman en cuenta, ya que el resto de los cantones se abastecen en algunos de los casos con sistemas propios y en los que no se tiene una red lo hacen de forma artesanal.

#### 4.7.9 RESULTADOS.

Finalmente teniendo todas las variables calculadas, se aplica la ecuación de balance hídrico para encontrar el cambio de almacenamiento, el cual se traduce en una variación del nivel freático ya sea en aumento si el cambio es positivo o en descenso si el cambio es negativo.

### **ENTRADAS - SALIDAS = CAMBIO DE ALMACENAMIENTO**

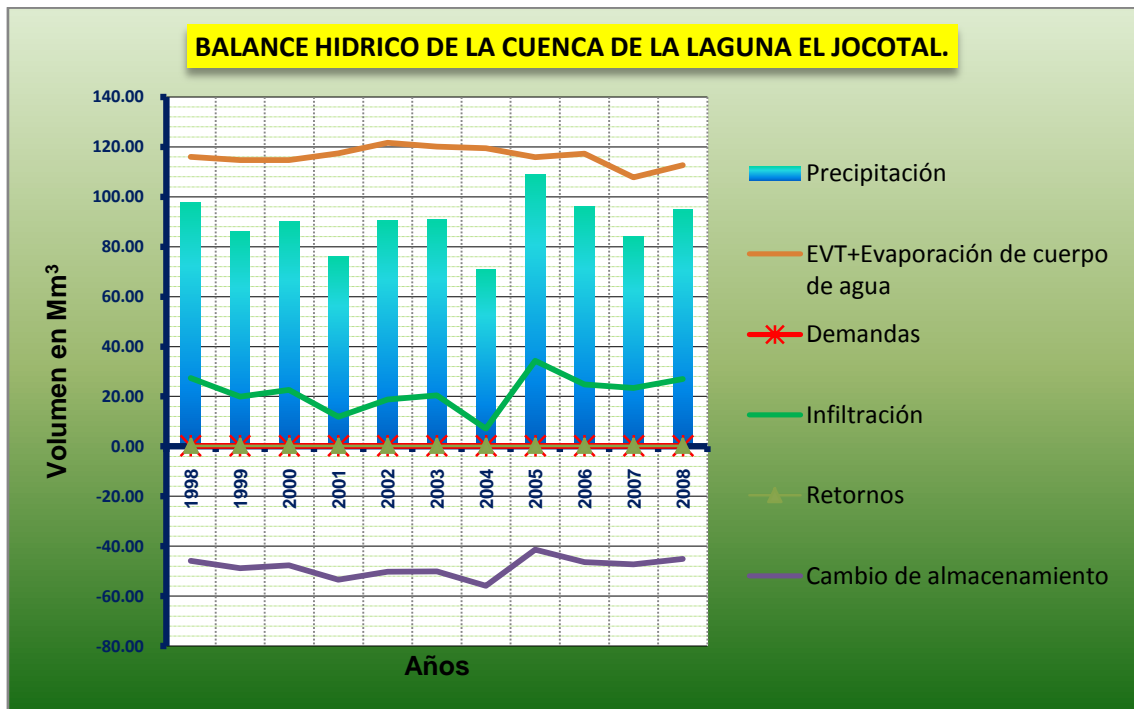
$$P - ET - Ev. \text{ Cuerpo de agua} - D - R - I = \Delta V$$

El Balance Hídrico para el área de estudio se resume en la tabla 4.6.8.1. y en la figura 4.6.8.1 se representa gráficamente, se observa que las salidas son mayores que las entradas esto se puede entender que la época seca resulta mayor que la época lluviosa, mas sin embargo si se analizara un año con sus meses correspondiente se apreciaran valores positivos en el invierno y valores negativos en el verano.

Tabla N° 4.7.9.1: Resultado del Balance Hídrico.

Año	Precipitación (Mm3)	ET. (Mm3)	EV. de cuerpo de agua (Mm3)	Demanda (Mm <sup>3</sup> )	Retornos (Mm <sup>3</sup> )	Infiltración (Mm <sup>3</sup> )	Cambio de almacenamiento (Mm <sup>3</sup> )
1998	97.77	56.22	59.79	0.157	0.079	27.42	-45.89
1999	86.03	55.83	58.90	0.160	0.080	19.93	-48.87
2000	89.84	55.66	59.08	0.163	0.082	22.56	-47.70
2001	76.00	58.11	59.30	0.166	0.083	11.81	-53.47
2002	90.36	62.01	59.62	0.169	0.084	18.72	-50.23
2003	90.67	59.77	60.31	0.172	0.086	20.39	-50.06
2004	70.97	60.21	59.28	0.175	0.088	7.10	-55.89
2005	109.04	57.10	58.78	0.178	0.089	34.29	-41.39
2006	95.90	58.38	58.86	0.181	0.091	24.76	-46.37
2007	84.18	48.70	59.09	0.184	0.092	23.42	-47.31
2008	94.76	53.93	58.74	0.188	0.094	26.95	-45.14

Grafico N° 4.7.9.1: Gráfico del Balance Hídrico para la zona de estudio.





**CAPITULO V  
“PROPUESTA  
TECNICA”**

Una vez que se ha realizado el análisis Hidrológico y habiendo determinado los puntos críticos donde ocurren las inundaciones más frecuentes, procedemos a estimar las posibles alternativas de solución que se pudiesen llegar a implantar.

Con base a los resultados obtenidos en el estudio Hidrológico e Hidráulico podemos afirmar que la problemática que afronta la comunidad baja del Cantón El Borbollón no es nada fácil de resolver, “la proximidad de las viviendas a la Laguna El Jocotal y las malas prácticas agrícolas” son dos aspectos no controlados hasta la fecha que resume la vulnerabilidad de la zona; a pesar que se encuentra dentro de una área natural protegida.

Hay que hacer notar, que tal como se expresó en los alcances de este trabajo de investigación, el objetivo final es realizar un estudio hidrológico y una propuesta técnica de solución al problema de inundación que causa la Laguna. Para la cual, pretendemos presentar una propuesta que técnicamente sea viable, y para que esto se lleve a cabo de la mejor manera presentamos en primer lugar un diseño de una estructura de contención en el canal artificial que abrieron los ganaderos de la zona; en segundo lugar se presenta una reubicación de las viviendas que resultan afectadas en la época lluviosa, y en tercer lugar se plantea una inserción de la comunidad El Borbollón a la ordenanza municipal de El Tránsito.

### **5.1 ESTRUCTURAS DE CONTENCION.**

Las estructuras de contención o protección son obras civiles construidas con la finalidad de proveer estabilidad contra la rotura de macizos de tierra o de agua. Son estructuras que proveen soporte a estos macizos y evitan el deslizamiento causado por su peso propio o por cargas externas. Ejemplos típicos de estructuras de contención son los muros de contención, Estructura de Suelo Reforzado y las estructuras ancladas. Aunque la geometría, el proceso constructivo y los materiales utilizados en las estructuras citadas sean muy diferentes entre sí, todas ellas son construidas para contener la posible rotura del macizo, soportando las presiones laterales ejercidas por este.



### 5.1.1 TIPOS DE MUROS DE CONTENCION.

Existe una gran variedad de muros de contención, mas sin embargo nosotros describiremos los mas comunes aplicables a situaciones similares a las que tenemos en nuestra investigación.

**1. Muros de mampostería de piedras:** generalmente son de geometría (forma) trapezoidal truncada. Se utilizan para alturas menores de seis metros. El material de construcción es piedra reventada con aristas pronunciadas cuyos tamaños deben ser mayores de unos treinta centímetros, efectuándose la unión entre ellas por medio de mortero de cemento y arena.

Este tipo de muros es el mas usado en nuestro medio, su ejecución puede requerir mas tiempo que los de otro tipo; tiene dificultades con el manejo del material ya que se extrae directamente de canteras y además ocupa gran espacio en el punto ejecución.

**Figura N° 5.1.1.1:** Muros de mampostería de piedra.



**2. Muros de concreto ciclópeo:** Son estructuras donde se vacía fluido de baja resistencia y posteriormente se colocan piedras brutas dentro de la misma, estas piedras son cubiertas con una nueva capa de concreto fluido, que da como resultado una estructura de gran resistencia. Este tipo de muro contiene un 40 % de piedra más el 60 %

de concreto, y son altamente sensibles a los asentamientos del suelo y a cambios de presiones laterales tal como se muestra en la siguiente figura.

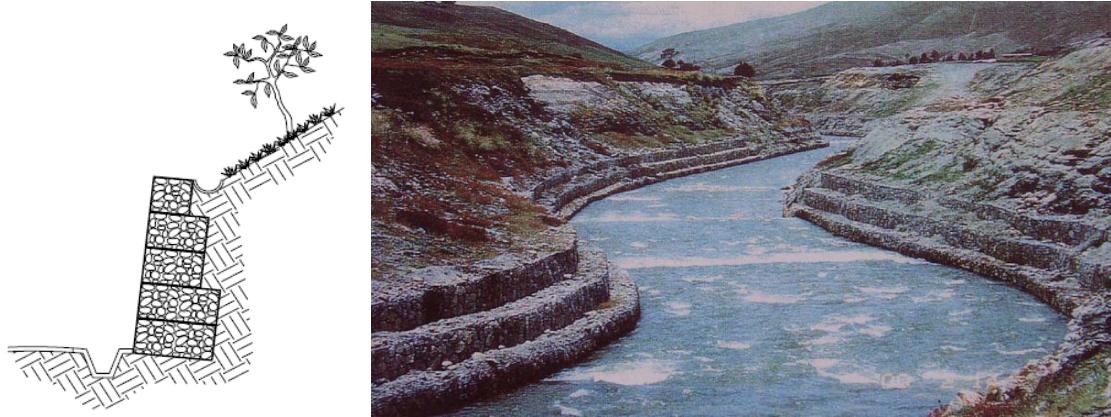
**Figura N° 5.1.1.2:** Muros de concreto ciclópeo.



**4. Muros gaviones:** Los Gaviones, es una técnica sencilla para hacer estructuras hidráulicas de bajo costo y larga duración en los países en desarrollo. Desde el siglo XVI, los Ingenieros utilizaban en Europa unas cestas de mimbre rellenas de tierra denominadas por sus inventores Italianos Gabbioni, o "Jaulas Grandes" para fortificar los emplazamientos militares y reforzar las orillas de los Ríos. Hoy, el Servicio de Recursos, Fomento y Aprovechamiento de Aguas (AGLW) del Departamento de Agricultura de la FAO está promoviendo la misma tecnología sencilla los "Gaviones" para utilizarlos como bloques de construcción en las estructuras hidráulicas de bajo costo y larga duración en los países en desarrollo.

Este tipo de muros es altamente flexible sin perder la funcionalidad, y la permeabilidad que poseen impide que se formen altas presiones hidrostática. Se recomienda usar alambre de bajo contenido de carbono, revestido con GALMAC (aleación Zin /Aluminio) y de ser necesario que este recubierto con PVC.

Figura N° 5.1.1.3: Muros tipo gavión.



El proyecto de los Muros de Contención contempla:

- ◆ Seleccionar el tipo de Muro y sus dimensiones.
- ◆ Análisis de la estabilidad del Muro.
- ◆ Diseño de los elementos o partes de Muro.

## 5.2 DISEÑO DEL MURO DE CONTENCIÓN EN EL CANAL ARTIFICIAL.

### 1. Definiendo parámetros de diseño para el muro y el relleno<sup>21</sup>.

Datos:

Peso volumétrico del suelo ( $\gamma_s$ )= 1.92 ton/mt<sup>3</sup>.

Peso volumétrico de la piedra ( $\gamma_p$ )= 2.2 ton/mt<sup>3</sup>.

Peso específico del agua ( $\gamma_{\text{agua}}$ )= 9771 N/m<sup>3</sup>; a temperatura ambiente.

Angulo de fricción interna ( $\emptyset$ )= 28.69<sup>0</sup>.

Cohesión del suelo (C)= 0

Angulo de rozamiento entre el muro-suelo ( $\delta$ )= (2/3)  $\emptyset$ = 19.13<sup>0</sup>.

Capacidad de carga (q)= 3.5 kg/cm<sup>2</sup>.

<sup>21</sup> Los parámetros correspondientes al estudio de suelo fueron tomados de la Tesis viviendas sobre plataforma, una solución al problema de inundación de la laguna El Jocotal, UES.



- Determinando el empuje activo, equivalente al empuje del agua del Rio Grande de San Miguel.

El empuje ejercido por el agua, es igual al producto del área por la presión relativa al centro de gravedad.

$$F_E = \gamma_a h A$$

Donde:

$\gamma_a$  = Peso específico del agua a temperatura ambiente.

h: Profundidad del centro de gravedad.

A: Área del muro, para un metro lineal.

$$F_E = \gamma_a h A$$

$$F_E = (1 \text{ ton/m}^3) (2.75 \text{ mt}) (5.5 \text{ mt})$$

$$F_E = 15.13 \text{ ton.}$$

Determinando el centro de presión ( $Y_p$ ):

$$Y_p = h + (I_O / Ah)$$

Donde:

$Y_p$ : Centro de presión.

h: Profundidad del centro de gravedad.

A: Área del muro, para un metro lineal.

$I_O$ : Momento de inercia relativo al eje que pasa por el centro de gravedad,  $I_O = 1/12 bd^3$ .

$$Y_p = 2.75 + (1/12 (1 \text{ mt}) (5.5 \text{ mt})^3) / (5.5 \text{ m}^2 * 2.75)$$

$$Y_p = 3.67 \text{ mt.}$$

Empujes laterales por efecto sísmico.

El Salvador sísmicamente se divide en dos zonas sísmicas zona I y zona II, en la cual nuestra área de estudio se encuentra en la zona I, y según la “Norma Técnica para

Diseño de Cimentaciones y Estabilidad de Taludes”, pág. 10, Art. 5.3.3, el coeficiente sísmico horizontal se toma igual a **0.16**, y el coeficiente sísmico vertical es igual a 0, dicho lo anterior procedemos a calcular el empuje dinámico horizontal.

$$E_{DH} = (3/8) \gamma_s h A_{h \max}$$

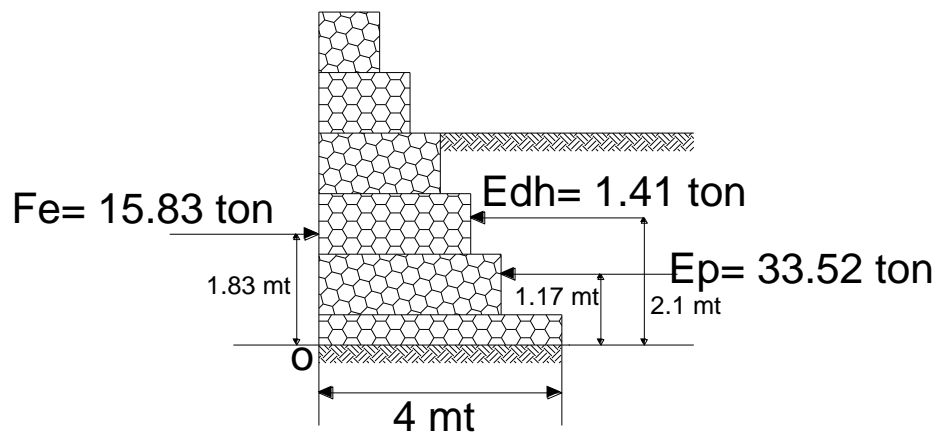
$$E_{DH} = (3/8) (1.92 \text{ ton/m}) (3.5 \text{ m}) (0.16)$$

$$E_{DH} = 1.41 \text{ ton}, \quad \text{actuando a } 3.5 (0.6) = 2.1 \text{ m de la base.}$$

El empuje dinámico vertical es igual a 0.

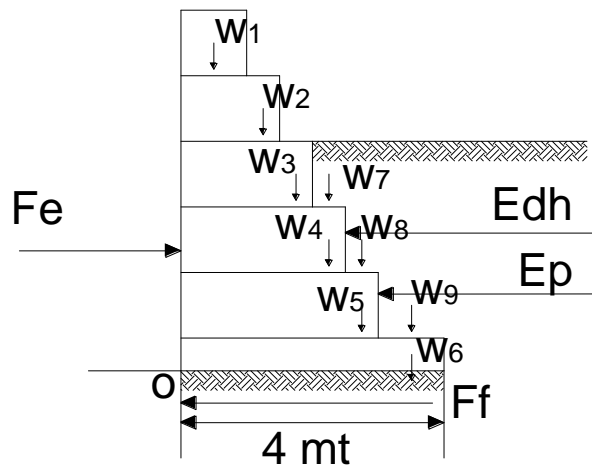
Los empujes a considerar quedan aplicados de la siguiente manera:

**Figura N° 5.2.2:** Distribución de empujes laterales.



**4. Calculando el peso y las fuerzas verticales del suelo que actúan en el muro para un metro de longitud.**

**Figura N° 5.2.3:** Fuerzas gravitatorias actuantes en el muro.



$$W_1 = (2.2 \text{ ton}) (1 \text{ mt}) (5.5 \text{ m} \times 1 \text{ m}) = 12.10 \text{ ton.}$$

$$W_2 = (2.2 \text{ ton}) (1 \text{ mt}) (4.5 \text{ m} \times 1 \text{ m}) = 9.90 \text{ ton.}$$

$$W_4 = (2.2 \text{ ton}) (1 \text{ mt}) (3.5 \text{ m} \times 1 \text{ m}) = 7.70 \text{ ton.}$$

$$W_4 = (2.2 \text{ ton}) (1 \text{ mt}) (2.5 \text{ m} \times 1 \text{ m}) = 5.50 \text{ ton.}$$

$$W_5 = (2.2 \text{ ton}) (1 \text{ mt}) (1.5 \text{ m} \times 1 \text{ m}) = 3.50 \text{ ton.}$$

$$W_6 = (2.2 \text{ ton}) (1 \text{ mt}) (0.5 \text{ m} \times 1 \text{ m}) = 1.10 \text{ ton.}$$

$$W_7 = (1.92 \text{ ton}) (1 \text{ mt}) (0.5 \text{ m} \times 1 \text{ m}) = 0.96 \text{ ton.}$$

$$W_8 = (1.92 \text{ ton}) (1 \text{ mt}) (0.5 \text{ m} \times 2 \text{ m}) = 1.92 \text{ ton.}$$

$$W_9 = (1.92 \text{ ton}) (1 \text{ mt}) (3 \text{ m} \times 1 \text{ m}) = 12.10 \text{ ton.}$$

La fuerza de fricción se calcula multiplicando la normal por un coeficiente de fricción.

$$F_f = \sum F_v \times \tan \delta$$

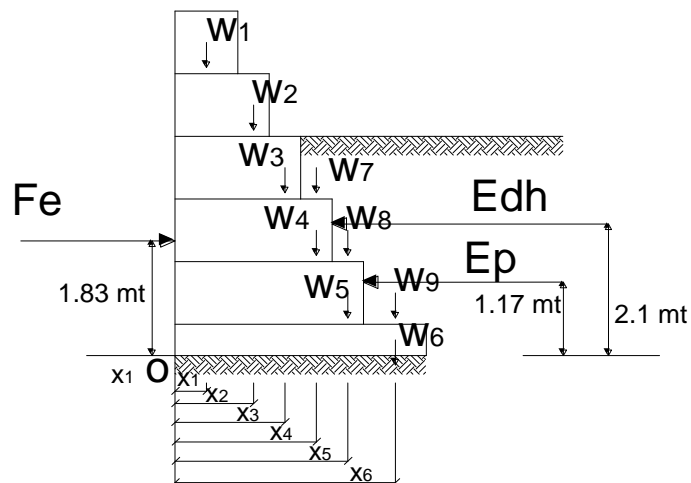
$$F_f = 45.56 \text{ ton} \times \tan 19.13$$

$$F_f = 15.80 \text{ ton}$$

**5. Calculando momento resistente y momento actuante con respecto a “o”.**

Para calcular el momento resistente ( $M_R$ ), se prepara una tabla, considerando la geometría del muro y el suelo que ejerce momento con respecto a “o”.

**Figura N° 5.2.4:** Punto de aplicación del sistema de fuerzas.



**Tabla N° 5.2.1:** Procedimiento para el cálculo del momento resistente ( $M_R$ ).

ELEMENTO	PESO (ton)	BRAZO (mt)	MOMENTO
$W_1$	12.10	0.50	6.05
$W_2$	9.90	1.25	12.38
$W_3$	7.70	1.75	13.48
$W_4$	5.50	2.25	12.38
$W_5$	3.50	2.75	9.63
$W_6$	1.10	3.50	3.85
$W_7$	0.96	2.25	2.16
$W_8$	1.92	2.75	5.28
$W_9$	2.88	3.50	10.08
$E_p$	35.52	1.17	41.56
$E_{DH}$	1.41	2.10	2.96
$\Sigma =$			<b>119.79</b>



Calculo del momento actuante, es decir considerando las fuerzas que tienden a voltear el muro en el punto “o”.

$$M_A = F_E \times (H - Y_p)$$

$$M_A = 15.13 \text{ ton} \times (5.5 - 3.67) \text{ mt}$$

$$M_A = 27.69 \text{ ton} - \text{mt.}$$

### 6. Seguridad al volteo.

$$FS (\text{volteo}) = M_R / M_A$$

Según la Norma Técnica Para Diseño de Cimentaciones y Estabilidad, pág. 11, tabla 5.1, establece los factores de seguridad para volteo 1.2, y para deslizamiento 1.2.

$$FS (\text{volteo}) = 119.79 / 27.69$$

$FS (\text{volteo}) = 4.33 > 1.2$ ; O.K, (el muro no voltea y se mantiene estable).

### 7. Seguridad al deslizamiento.

$$FS (\text{deslizamiento}) = F_{\text{RESISTENTE}} / F_{\text{ACTUANTE}}$$

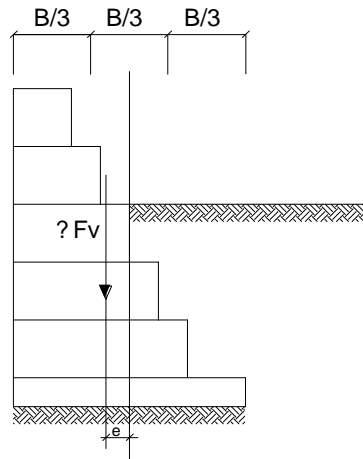
$$FS (\text{deslizamiento}) = (E_p + F_f + E_{DH}) / (E_a)$$

$$FS (\text{deslizamiento}) = (33.52 + 15.80 + 1.41) / (15.13)$$

$FS (\text{deslizamiento}) = 3.35 > 1.2$ ; O.K, (el muro no desliza).

### 8. Revisando la capacidad de carga portante del suelo en el punto de emplazamiento.

**Figura N° 5.2.5:** Determinando la excentricidad de las fuerzas verticales.



◆ Calculando la excentricidad.

$$X_A = (\sum M_R - \sum M_R) / N$$

$$X_A = (119.79 - 27.69) / 45.56$$

$$X_A = 2.02 \text{ mt.}$$

$$e = B/2 - X_A$$

$$e = 4/2 - 2.02$$

$$e = -0.02 \text{ mt.}$$

La resultante, según el signo (-) se encuentra pasando por el lado izquierdo.

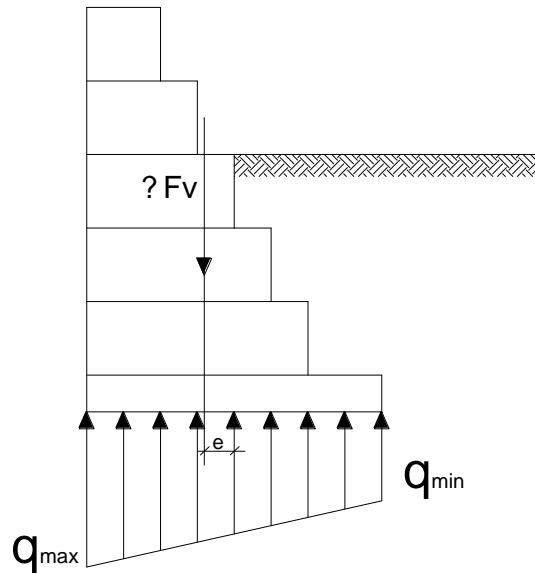
Verificando la excentricidad con el tercio medio.

$$B/6 = 4/6 = 0.67 \text{ mt.}$$

$0.02 < 0.67$  -----  $e < B/6$  , esto nos dice que la resultante de las fuerzas verticales cae en el tercio medio de la base, y en nuestro caso cae aproximadamente a la mitad, a tan solo 2 cm a la izquierda del eje central, con esta información se tiene la distribución de esfuerzos máximos y mínimos.

◆ Esfuerzos máximos y mínimos.

Figura N° 5.2.6: Distribución de esfuerzos máximos y mínimos.



$$q_{\text{máx./mín}} = \sum F_v / B (1 \pm 6 e / B)$$

$$q_{\text{máx.}} = 45.56 / 4 (1 + 6 * 0.02 / 4)$$

$$q_{\text{máx.}} = 11.73 \text{ ton/mt}^2.$$

$$q_{\text{mín}} = 11.05 \text{ ton/mt}^2.$$

La capacidad de carga última que se tiene en la zona de estudio es de 35 ton/mt<sup>2</sup>, por lo tanto la capacidad de carga admisible es:

$$q_{\text{admisible}} = q_{\text{ultima}} / F_s.$$

La Norma Técnica Para Diseño de Cimentaciones y Estabilidad de Taludes, no especifica sobre el factor de seguridad por capacidad de carga, mas sin embargo BRAJA M. DAS, en su libro titulado “Principios de Ingeniería de Cimentaciones”, establece que es conveniente usar un factor de seguridad de 3, para muros con altura menor de 6 mt.

$$q_{\text{admisible}} = 35 / 3.$$

$$q_{\text{admisible}} = 11.67 \text{ ton/mt}^2.$$

$$q_{\text{máx.}} > q_{\text{admisible}} \rightarrow 11.73 \text{ ton/mt}^2. > 11.67 \text{ ton/mt}^2.$$

Se llega a la conclusión de que el suelo necesita un pequeño mejoramiento, ya sea con una ligera capa de grava antes de plantar el primer escalón del muro, o usar piedra mas liviana, ya que como se pudo observar en las revisiones por desplazamiento y por volteo, el muro esta sobredimensionado.

### 5.3 ELABORACION DEL MAPA DE RIESGO.

Los datos calculados hasta este momento por si solos no son suficientes para el objetivo que se persigue, que es el de conocer las consecuencias que tendría la avenida sobre las zonas de riesgo (poblaciones, servicios esenciales, etc).

Un estudio hidráulico de este tipo debe concluir qué zonas son realmente peligrosas: por ejemplo un pueblo puede quedar totalmente inundado con un calado de 20 cm y una velocidad mínima o puede quedar solo parcialmente inundado pero con calados mayores de 1 metro y velocidades altas. En el primer caso estaríamos en el caso de una inundación sin riesgo grave y en el segundo con riesgo grave. Para alguien que no tenga unos mínimos conocimientos hidráulicos podría parecer viendo el plano de inundación que el primer caso es más peligroso.

Estos motivos nos llevan a elaborar mapas de riesgo con el objetivo de que sean realmente útiles para la elaboración por ejemplo de planes de emergencia de presas que a su vez serán utilizados por las autoridades de Protección Civil.

- ◆ Calado (altura de la lamina de agua).
- ◆ Velocidad del agua
- ◆ Importancia del elemento en riesgo (en el aspecto de vidas humanas, aspecto económico, etc).

Con estos tres parámetros se puede llegar a varias soluciones para el análisis del riesgo, según la importancia que quiera darse a cada uno de ellos.

Según el nivel de agua alcanzado en las viviendas situadas en las riberas de la Laguna (h= 1.5 mt, información proporcionada por los habitantes) se considera que el Rio Grande de San Miguel se desborda en un 75 % de su caudal, con esta aproximación se analiza en condiciones de flujo normal para la sección del brazo de la Laguna El Jocotal en el sector bajo del Cantón El Borbollón, para ello se cuenta con la siguiente información.

$$Q = 0.75 (3772.47 \text{ m}^3/\text{seg}) = 2829.35 \text{ m}^3/\text{seg}.$$

S = 0.23 %; pendiente desde el punto de interés hasta el canal de desagüe.

n = 0.1

**Tabla N° 5.3.1:** Resumen del calculo del tirante normal (altura de calados).

Tirante Y (mt)	Área Hidráulica $A_h$ (mt <sup>2</sup> )	Perímetro Mojado $P_m$ (mt)	Radio Hidráulico $A_h/P_m$ $R_h$ (m)	Factor Geométrico $FG = A_h R^{2/3}$	Factor Hidráulico $FH = Qn/S^{1/2}$	Caudal (m <sup>3</sup> /seg) $Q = (1/n)S^{1/2}FG$
0.50	247.12	202.04	1.22	282.63	5899.60	135.55
1.00	992.54	244.90	4.05	2523.02	5899.60	1210.00
1.50	1636.26	287.76	5.69	5212.75	5899.60	2499.95
<b>1.628</b>	1805.38	298.05	6.06	5999.13	5899.60	2877.08

La elevación de la Laguna El Jocotal es de 23.36 msnm, a partir de esta altura se procedió a calcular las zonas inundables que presentan mayor riesgo, el cual ha sido clasificado en base a un análisis cualitativo, que permite establecer un orden de prioridad.

Tabla N° 5.3.2: Niveles de Riesgos.

RANGO	NIVEL DE RIESGO	EQUIVALENCIA DE COLOR
0 a 0.5	Muy Bajo	
0.5 a 1	Bajo	
1 a 1.5	Alto	
> 1.5	Muy Alto	

En resumen con este mapa podremos saber:

1. Qué zonas quedan inundadas en algún momento.
2. Qué zonas quedan inundadas con calado >0.5 metros, por lo tanto estarán en zonas de riesgo moderado.
3. Qué zonas quedan inundadas con calado >1 metro, por tanto es zona de riesgo alto.

#### 5.4 REUBICACION DEFINITIVA.

La solución mas adecuada a la problemática que afrontan los habitantes del sector bajo del Cantón El Borbollón es la Reubicación Definitiva, ya que solventaría definitivamente el estado de vulnerabilidad que actualmente presentan.

Si bien es cierto como grupo de investigación se ha propuesto el diseño de un muro de contención en dos puntos estratégicos por donde ocurre el desbordamiento del Rio Grande de San Miguel, esto no es solución definitiva, ya que antes de que estos canales existieran el Rio se desbordaba en menor escala, debido al bajo nivel de pendiente entre el Rio y Laguna (0.14 %).

A continuación se presenta una propuesta de Ordenamiento para una futura reubicación para los habitantes del sector bajo del Cantón El Borbollón.

#### **5.4.1 PROPUESTA DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL PARA EL SECTOR BAJO DEL CANTÓN EL BORBOLLÓN.**

Para el plan de ordenamiento presentado, hemos tomado como referencia y punto de partida el análisis del nivel de riesgos asociados a amenazas naturales en relación a la vulnerabilidad física, para ello fue elaborado el mapa de riesgo por inundación.

Es importante considerar la existencia de los servicios básicos, porque estos contribuyen al crecimiento integral y sostenible de las comunidades. El cantón El Borbollón, por su cercanía a centros urbanos importantes como la ciudad de Usulután y la accesibilidad a través de la carretera El Litoral, la comunidad solventa muchas de sus necesidades básicas de educación, salud, empleo y recreación fuera de la comunidad misma. Sin embargo requerimientos imprescindibles para asegurar la habitabilidad del asentamiento, como son los servicios básicos (agua potable, aguas servidas) y equipamiento de salud y educación, están actualmente en condiciones deficitarias, si se considera la demanda de la comunidad.

Las propuestas de ordenamiento se llevan a cabo con el apoyo de instituciones como Naciones Unidas, ONGs, Cruz Roja Internacional, Gobierno Central, Alcaldía Municipal, entre otras.

Los Escenarios Tendenciales de Desarrollo son zonas identificadas y seleccionadas por especialistas, ya sean Geólogos, Hidrólogos, o Ingenieros Civiles con alguna especialidad en el área. En dichos escenarios se proyecta la expansión habitacional de la Comunidad o la reubicación de habitantes hacia áreas seguras.

**Para la selección de los Escenarios Tendenciales de Desarrollo se consideran (ETD):**

1. Los Mapas de Multiamenazas, Intensidades de Mercalli y de Pendientes del Terreno.
2. Aspectos generales importantes para el desarrollo integral de las poblaciones, como el acceso a servicios básicos e infraestructura entre otros.

Resulta conveniente contar con varias alternativas de posibles ETD y al final se elige el que presenta el menor grado de amenaza y el que resulta mejor evaluado con los aspectos generales, es decir el acceso a servicios básicos e infraestructura en general.

En la siguiente tabla se muestra como se debe seleccionar el sitio adecuado considerando: Los Mapas de Multiamenazas, Intensidades de Mercalli y Pendientes del Terreno.

**Tabla N° 5.4.1.1:** Considerando mapas, Intensidades y pendientes.

N°	Escenarios	Ubicación	Multi_amenazas			Intensidad de Mercalli Modificada						Suscep_tibilidad a Desliza_mientos			Pendientes del Terreno		
			M	A	MA	VIII 1/2	IX	IX 1/2	X	X 1/2	XI	XI 1/2	A	M	B	0° - 10°	10° - 30°
1	ETD (1)																
2	ETD (2)																
3	ETD (3)																



Considerando factores generales (Servicios Básicos), para la selección de los ETD, el formato que se recomienda utilizar es el siguiente.

**Tabla N° 5.4.1.2:** Considerando aspectos generales.

N°	Escenarios	Ubicación	Servicios Básicos						Infraestructura				Económico		
			Agua Potable	Energía Eléctrica	Aguas Negras	Aguas Pluviales	Eliminación de Basura	Telefonía	Transporte Público	Red Vial	Parques	Canchas	Salud	Educación	Fuentes de Empleo
1	ETD (1)														
2	ETD (2)														
3	ETD (3)														

Los nuevos asentamientos poblacionales deben ser regulados y controlados a través de Ordenanzas Municipales que eviten la expansión habitacional hacia zonas de amenaza y contar con un diseño urbano que se adapte a las condiciones del terreno.

Los proyectos que se deben ejecutar para reducir la pérdida de vidas y bienes si se da un evento adverso y que además contribuyan a mejorar el desarrollo deben de tomar en cuenta el grado de amenaza con la perspectiva de frenar, evitar la construcción y/o reconstrucción de viviendas en zonas de riesgo. Por lo que se dan las siguientes recomendaciones para la elaboración de ordenanzas que respalden los proyectos priorizados en el Plan de Mitigación:

**ORDENANZA DE USO DE TIERRA MUNICIPAL.**

La propuesta de zonificación de uso de tierra debe contar con un respaldo jurídico local que lo haga efectivo, por lo que se plantea la creación de una Ordenanza Municipal que considere las amenazas y las pendientes del terreno. Dicha Ordenanza tendría una cobertura tanto urbana como rural, y en ella se deben de incorporar los siguientes lineamientos:

1. No permitir la construcción de asentamientos humanos en zonas de alto grado de amenaza con pendientes mayores de 30°.
2. Permitir la reconstrucción de viviendas con restricciones (de densidad, sistemas constructivos, ubicación de viviendas, dimensiones de parcela, estudios de suelos, etc.) donde el grado de amenaza es alto y las pendientes son menores de 30°.
3. Permitir los asentamientos humanos donde el grado de amenaza es moderado, las pendientes del terreno son entre el 0 y 10° y las viviendas cuenten con un diseño sismo resistente.
4. Restringir la ubicación de viviendas en laderas, considerando las zonas de retiro necesarias previamente determinadas por un estudio de estabilidad de taludes y cumplir con las disposiciones de zonas de retiro en ladera especificadas en los artículos 50 y 51 del Reglamento a la Ley de Urbanismo y Construcción en lo Relativo a Parcelaciones y Urbanizaciones Habitacionales.
5. Establecer zonas de protección en ríos y quebradas, por medio de:

- Franjas de bosques de galería para proteger las laderas de la erosión y los causes del asolvamiento.
- Dejar una zona de amortiguamiento de 10 metros para quebradas de invierno y de 25 metros para ríos; a excepción para el Río Lempa donde se debe de respetar el área de inundación demarcada.

### **ORDENANZA DE CÓDIGO DE CONSTRUCCIÓN LOCAL.**

Considerando las amenazas geológicas y el nivel de intensidad de acuerdo a la escala de Mercalli Modificada, se plantean los siguientes lineamientos que ayudaran a mitigar la vulnerabilidad de las edificaciones a través de la construcción de viviendas sismo resistente que estén normadas por medio de una Ordenanza de Códigos de Construcción Local, basado en la caracterización de la vulnerabilidad.

Lineamientos para una Ordenanza de Códigos de Construcción.

**1. La calidad de los materiales:** los materiales deben ser lo más uniformemente posibles; hay que evitar las combinaciones sin la dosificación preestablecida por un Laboratorio que haya certificado la resistencia de estos.

**Figura N° 5.4.1.1:** Materiales de construcción en buen estado.



**2. La calidad del diseño estructural:** las infraestructuras por muy sencillas que sean deben de contar con un diseño estructural previo. Durante el proceso constructivo, se debe de respetar el diseño. Los edificios deben estar contruidos sobre buenas fundaciones y las paredes de cada piso deben estar coronadas por una solera reforzada.

**Figura N° 5.4.1.2:** Calidad del diseño estructural.



**3. Control de calidad:** durante el desarrollo de la construcción, se debe de contar con la supervisión de los propietarios y con la supervisión técnica de un profesional responsable que garantice el buen proceso constructivo.

**4. Mano de obra:** las personas que se dediquen a construir deben ser capacitadas adecuadamente en el manejo, dosificación de los materiales, en el proceso de utilización de los mismos; deben conocer las limitantes y las posibilidades de uso de cada uno de ellos.

**5. Separación entre viviendas:** es recomendable que entre las viviendas exista una separación mínima de 1 metro o por lo menos una junta de dilatación, que al momento de un sismo permita que estas se muevan independientes evitando choques entre ambas.

**6. La forma del edificio:** las formas construidas deben ser lo más regulares, simétricas, monolíticas posibles (parecidas a un cuadrado) para simplificar el diseño estructural.

**Figura N° 5.4.1.3:** Viviendas de forma regular.



**7. Previsión de las ampliaciones:** El prever una ampliación a futuro disminuye costos y sobre todo la vulnerabilidad; si se construyen edificios que puedan ser ampliados, hay que pensar en un sistema que permita que la construcción nueva y la antigua queden unidas monolíticamente.

**Figura N° 5.4.1.4:** Previsión de ampliaciones futuras.



**8. Abatimiento de puertas:** En la infraestructura comunal, este debe ser hacia fuera para permitir una rápida evacuación en momentos de un evento adverso.

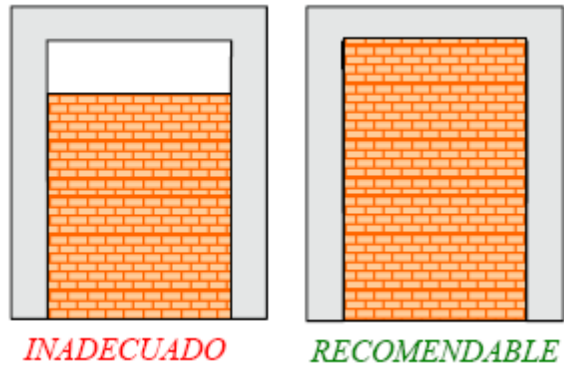
**9. El ancho de las aberturas:** El ancho de las aberturas (puertas, ventanas, etc) cuanto mas estrecho sea mejor. La distancia entre aberturas con las esquinas no debe ser menor de 0.60 m.

**Figura N° 5.4.1.5:** Control en el ancho de aberturas.



**10. Muro o Pared:** No se deben de dejar espacios en la parte superior de los muros o paredes ya que esto puede hacer fallar fácilmente la columna, la fuerza sísmica se concentra en el tramo de columna que no tiene muro o pared.

**Figura N° 5.4.1.6:** Condiciones de estabilidad para los muros de relleno.





**CAPITULO VI**  
**“CONCLUSIONES Y**  
**RECOMENDACIONES”**



## 6.1 CONCLUSIONES

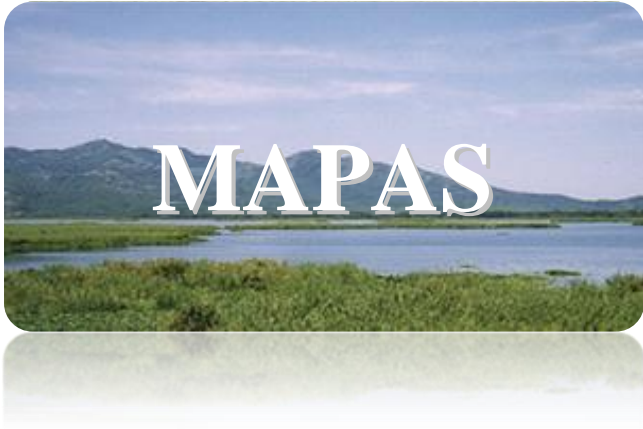
- ✿ Con el estudio Hidrológico realizado en la cuenca de la “Laguna El Jocotal” se pudo determinar que el escurrimiento proveniente de la falda sur del volcán Chaparrastique no es capaz de generar inundación por si solo, si no que el efecto que surge con las primeras lluvias es el alto nivel de asolvamiento al aproximarse ala planicie de inundación.
- ✿ Con el Balance Hídrico realizado se observa que los niveles del déficit de agua se han mantenido constantes desde el año 1998 hasta el 2008 con una escases anual promedio de 713.06 mm por año, excepto el año 2007 que se elevó a 862.21 mm, mientras que los resultados negativos obtenidos en el cambio de almacenamiento nos indica que las épocas secas son mayores que las épocas lluviosas.
- ✿ Con la propuesta del muro de contención se logra reducir el caudal de entrada en un 0.85 % para condiciones actuales, mas sin embargo con el estudio hidráulico que sirvió de base para elaborar el mapa de riesgo por inundación se determino que en crecidas máximas el Rio Grande de San Miguel se desborda en un 75 % alcanzando una altura de 1.63 mt sobre el nivel de la Laguna (23.36 msnm).
- ✿ En el levantamiento de campo para ubicar el mojonamiento elaborado por el Ministerio de Agricultura y Ganadería, se pudo constatar de primera mano el nivel de usurpación de las tierras por parte de los ganaderos y la población colindante, quienes han hecho uso inadecuado del cuerpo de agua, donde los primeros construyen canales para llevar agua a sus pastizales y los segundos construyendo sus viviendas dentro del área natural protegida.

- ⊕ La construcción de nuevas viviendas, cuyo fin es mejorar el nivel de vida de la población actual, se hace sin un dimensionamiento acorde con las características torrenciales del Cantón, por lo que su situación se refleja en la alta vulnerabilidad que hoy en día afrontan los habitantes del Cantón El Borbollón.
  
- ⊕ La Reubicación de las viviendas del sector bajo del Cantón El Borbollón, es una solución definitiva con la que se estaría alcanzando dos grandes objetivos; el garantizar la estabilidad física - material de las personas y la devolución del área estatal a la Laguna.

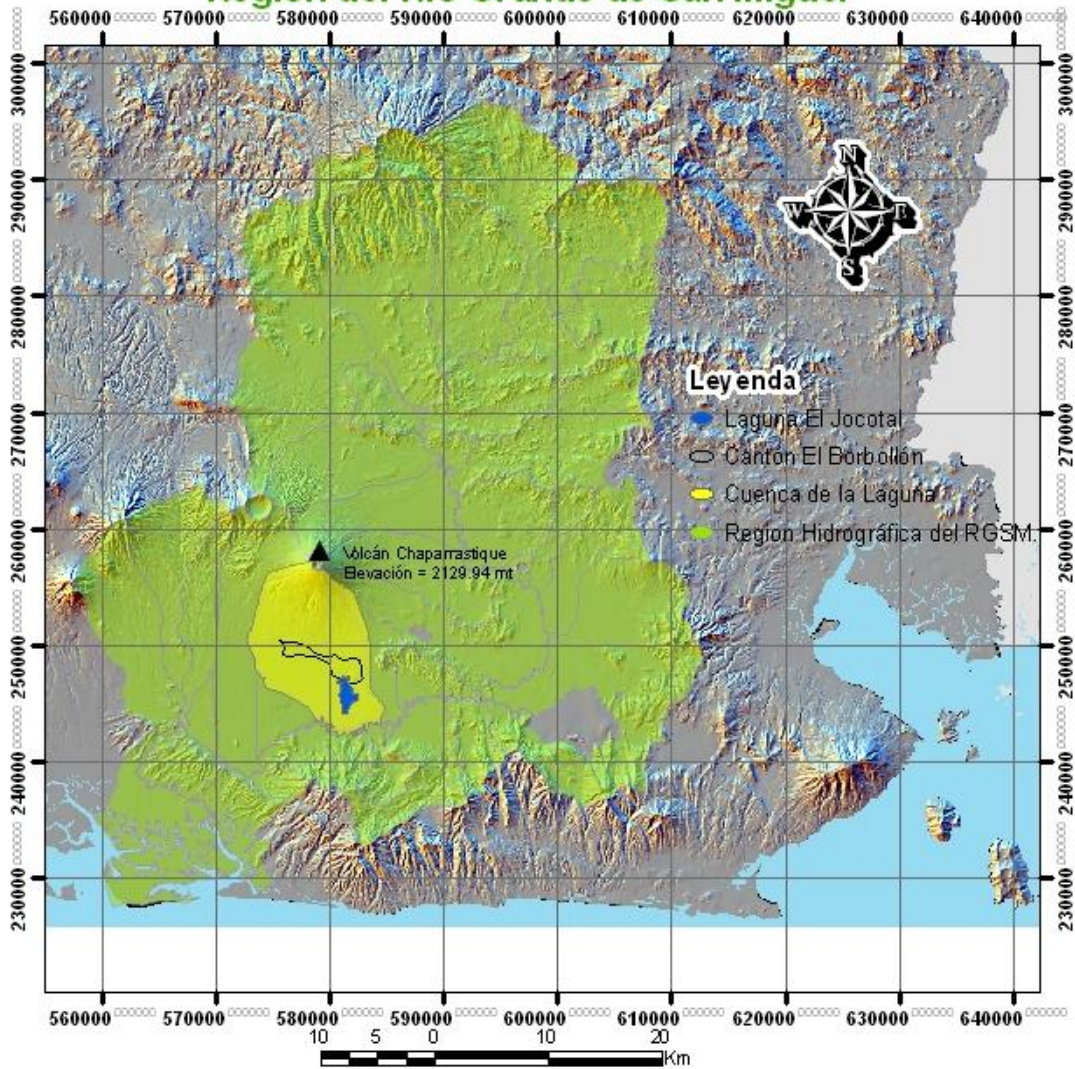
## 6.2 RECOMENDACIONES.

- ✿ Que la Alcaldía Municipal de El Transito establezca dentro de su ordenanza municipal el uso sostenible del humedal, estableciendo criterios de ordenación claros y viables para los usuarios directos e indirectos del cuerpo de agua.
  
- ✿ Que el Gobierno Central, por medio del MARN dote de equipo básico la oficina de control ubicada en el Cantón El Borbollón para garantizar el uso adecuado del área natural protegida.
  
- ✿ Instalar medidores de nivel de observación directa (limnímetros) por lo menos en la zona colindante al Cantón El Borbollón, con el objeto de medir las fluctuaciones y facilitar los registros hidrométricos históricos a futuras investigaciones.
  
- ✿ El muro al momento de construirse se debe de realizar en base a esta investigación, con la supervisión de un técnico para garantizar las especificaciones técnicas y causar el más mínimo efecto negativo al medio ambiente.
  
- ✿ Tener en cuenta las características torrenciales de la Comunidad El Borbollón a la hora de dimensionar las nuevas viviendas. Esto implica tener en cuenta eventos excepcionales como el Mitch, que se suelen presentarse espaciados en el tiempo pero con una contundencia muy alta.
  
- ✿ Por medio del Promotor de Salud, AMS (ONG) y el Ministerio del Medio Ambiente (MARN), promover una campaña de limpieza en el tramo del Rio Grande de San Miguel desde el punto donde comienza el canal artificial hasta la desembocadura del canal El Desague.

- ✚ En el momento que se tenga la cooperación nacional o internacional para llevar a cabo el proyecto de reubicación, es necesario conformar una Comitiva de Gestión y Seguimiento (CGS) involucrando el promotor de salud del MSPAS, representante de la Alcaldía Municipal de el Transito, representante de la ADESCO del Cantón El Borbollón, representante departamental del Comité de Emergencia Nacional (COEN), un representante de Catastro de la Alcaldía Municipal de El Transito, y además no debe faltar la asistencia técnica de un Hidrólogo, un Geólogo y un Ingeniero Civil.
  
- ✚ Se recomienda clausurar la extracción de material de la cantera ubicada al norte de la comunidad El Borbollón, ya que con la extracción excesiva de piedra y balasto se reduce la infiltración en la cuenca y por ende se genera mayor escorrentía superficial en la zona.
  
- ✚ Se sugiere a las autoridades universitarias incentivar a los estudiantes a realizar investigaciones en estas áreas, ya que de esta manera se estará contribuyendo al mejoramiento de las comunidades, más que todo aquellas que se encuentran en las riberas de ríos, lagos y lagunas.



# MAPA DE REGION HIDROGRAFICA Región del Rio Grande de San Miguel



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL  
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA



FUENTE:

SERVICIO NACIONAL DE ESTUDIOS TERRITORIALES



CENTRO NACIONAL DE REGISTROS (CNR)

**TEMA.**  
"ESTUDIO HIDROLOGICO Y PROPUESTA TECNICA PARA LA REDUCCION DE LA VULNERABILIDAD POR INUNDACION EN EL CANTON EL BORBOLLON CAUSADO POR EL DESBORMIENTO DE LA LAGUNA EL JOCOTAL"

SISTEMA DE PROYECCIÓN CÓNICO CONFORMAL DE LAMBERT.  
DATUM: D\_NORTH\_AMERICAN\_1927

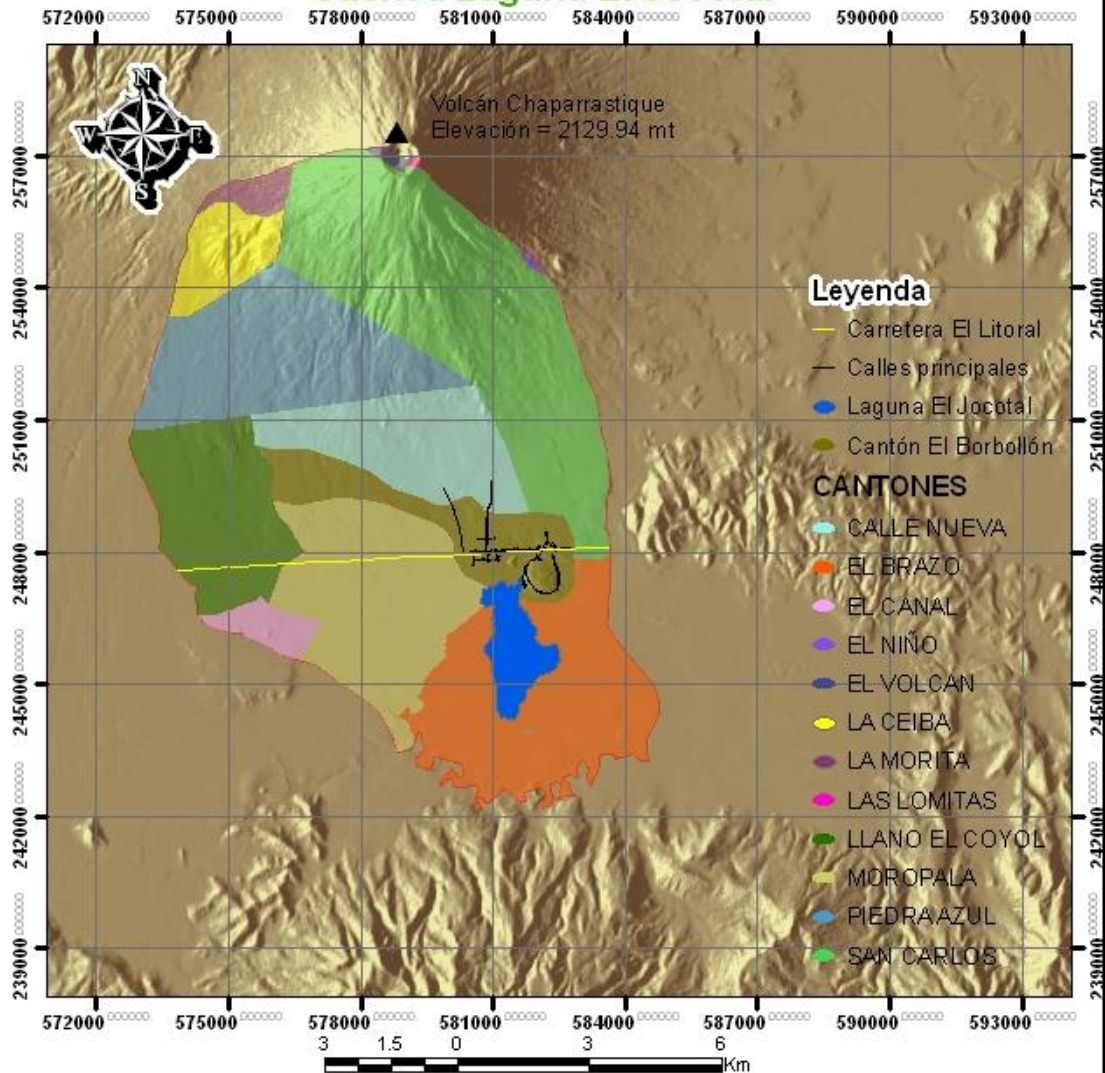
ESCALA:  
1:580,000

**PRESENTAN.**  
BR. SALVADOR PINEDA MELGAR  
BR. LUIS ALONSO RUBIO ORELLANA

NOVIEMBRE 2009

HOJA 1/10

## MAPA DE UBICACION DEL CANTON EL BORBOLLON Cuenca Laguna El Jocotal



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL  
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA



FUENTE:

SERVICIO NACIONAL DE ESTUDIOS TERRITORIALES



CENTRO NACIONAL DE REGISTROS (CNR)

**TEMA.**  
"ESTUDIO HIDROLOGICO Y PROPUESTA TECNICA PARA LA REDUCCION DE LA VULNERABILIDAD POR INUNDACION EN EL CANTON EL BORBOLLON CAUSADO POR EL DESBORMIENTO DE LA LAGUNA EL JOCOTAL"

SISTEMA DE PROYECCIÓN CÓNICO CONFORMAL DE LAMBERT.  
DATUM: D\_NORTH\_AMERICAN\_1927

**PRESENTAN.**

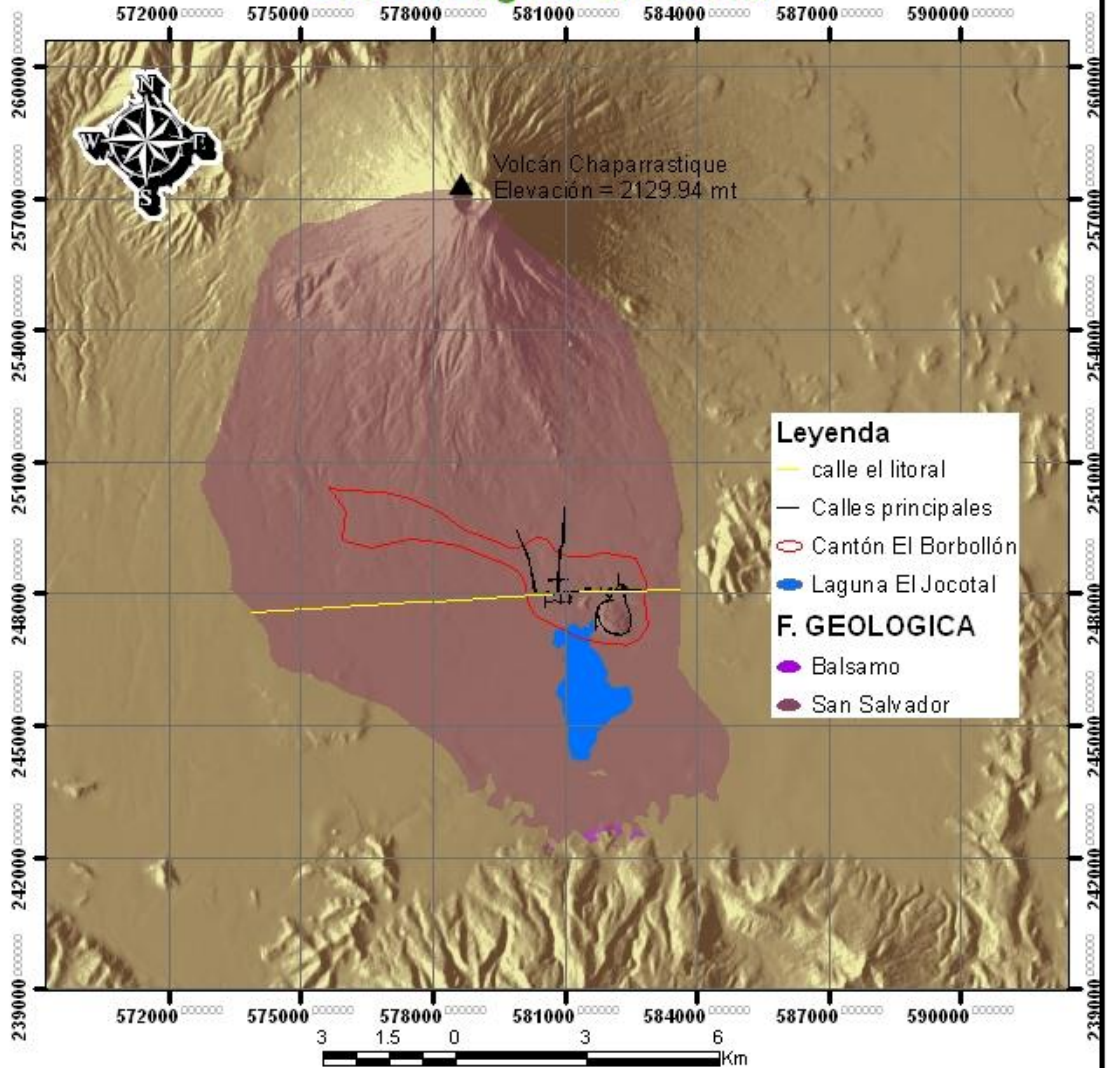
BR. SALVADOR PINEDA MELGAR  
BR. LUIS ALONSO RUBIO ORELLANA

ESCALA:  
1:150,000

NOVIEMBRE 2009

HOJA 2/10

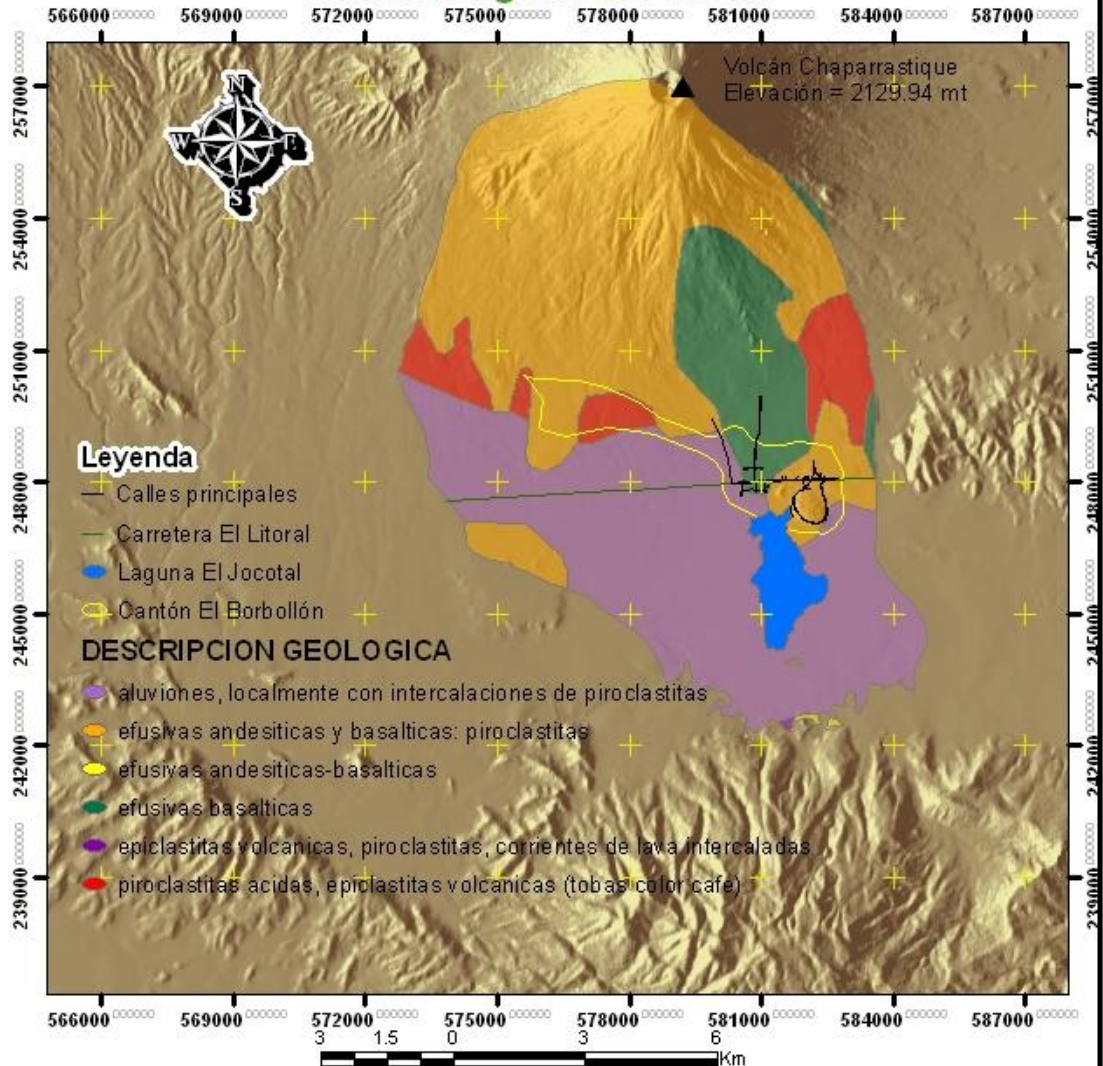
## MAPA DE FORMACIONES GEOLOGICAS Cuenca Laguna El Jocotal



<p><b>UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR</b> FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA</p>	<p><b>FUENTE:</b> SERVICIO NACIONAL DE ESTUDIOS TERRITORIALES CENTRO NACIONAL DE REGISTROS (CNR)</p>		
<p><b>TEMA.</b> "ESTUDIO HIDROLOGICO Y PROPUESTA TECNICA PARA LA REDUCCION DE LA VULNERABILIDAD POR INUNDACION EN EL CANTON EL BORBOLLON CAUSADO POR EL DESBORMIENTO DE LA LAGUNA EL JOCOTAL"</p>	<p>SISTEMA DE PROYECCIÓN CÓNICO CONFORMAL DE LAMBERT. DATUM: D_NORTH_AMERICAN_1927</p>		
<p><b>PRESENTAN.</b> BR. SALVADOR PINEDA MELGAR BR. LUIS ALONSO RUBIO ORELLANA</p>	<p>ESCALA: 1:150,000</p>		
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center;"><b>NOVIEMBRE 2009</b></td> <td style="width: 50%; text-align: center;"><b>HOJA 3/10</b></td> </tr> </table>	<b>NOVIEMBRE 2009</b>	<b>HOJA 3/10</b>
<b>NOVIEMBRE 2009</b>	<b>HOJA 3/10</b>		



## MAPA GEOLOGICO Cuenca Laguna El Jocotal



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL  
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA



FUENTE:

SERVICIO NACIONAL DE ESTUDIOS TERRITORIALES



CENTRO NACIONAL DE REGISTROS (CNR)

**TEMA.**  
"ESTUDIO HIDROLOGICO Y PROPUESTA TECNICA PARA LA REDUCCION DE LA VULNERABILIDAD POR INUNDACION EN EL CANTON EL BORBOLLON CAUSADO POR EL DESBORMIENTO DE LA LAGUNA EL JOCOTAL"

SISTEMA DE PROYECCIÓN CÓNICO CONFORMAL DE LAMBERT.  
DATUM: D\_NORTH\_AMERICAN\_1927

**PRESENTAN.**

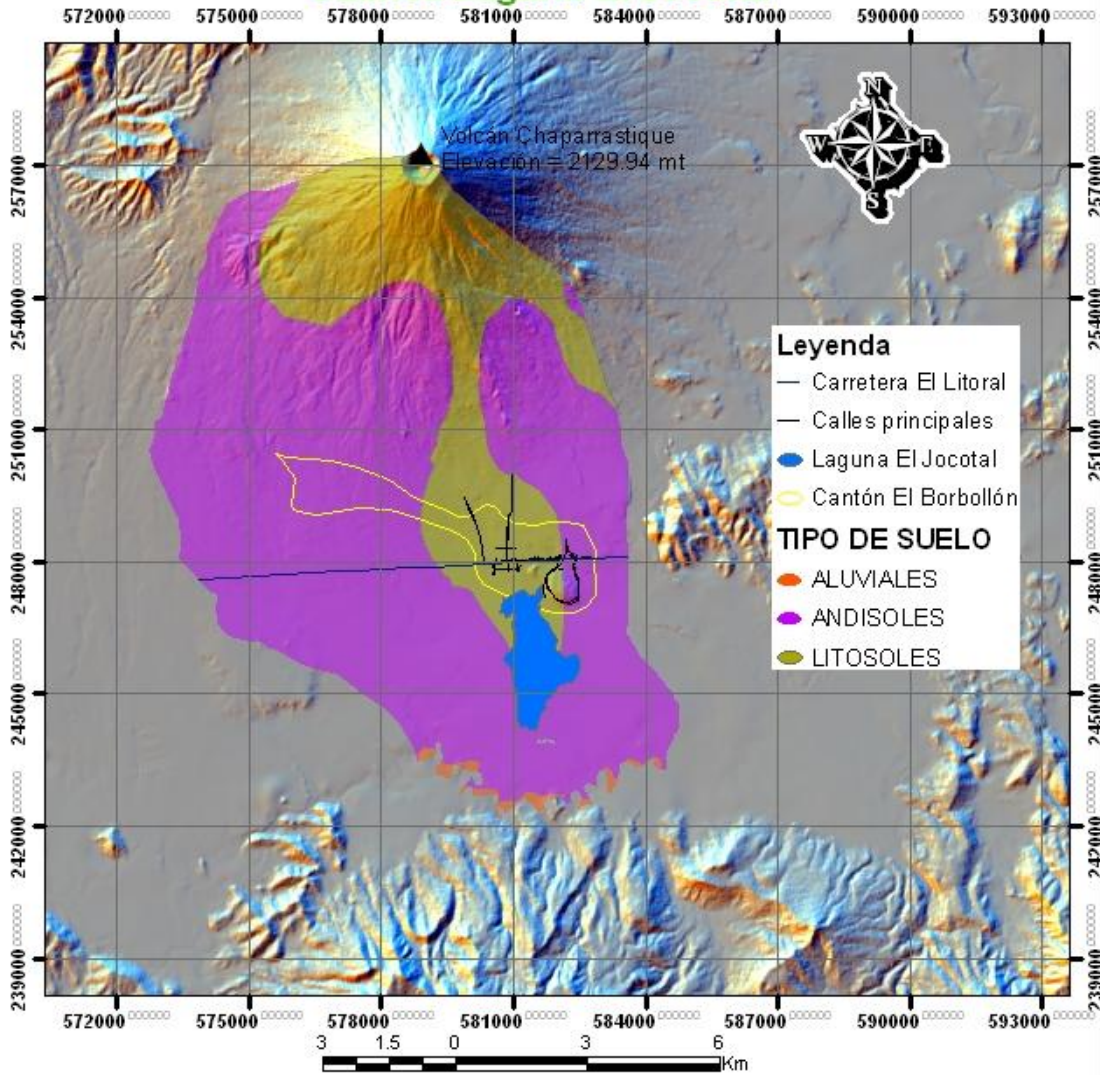
BR. SALVADOR PINEDA MELGAR  
BR. LUIS ALONSO RUBIO ORELLANA

ESCALA:  
1:150,000

NOVIEMBRE 2009

HOJA 4/10

## MAPA PEDOLOGICO Cuenca Laguna El Jocotal



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL  
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA



FUENTE:

SERVICIO NACIONAL DE ESTUDIOS TERRITORIALES



CENTRO NACIONAL DE REGISTROS (CNR)

**TEMA.**  
"ESTUDIO HIDROLOGICO Y PROPUESTA TECNICA PARA LA REDUCCION DE LA VULNERABILIDAD POR INUNDACION EN EL CANTON EL BORBOLLON CAUSADO POR EL DESBORMIENTO DE LA LAGUNA EL JOCOTAL"

SISTEMA DE PROYECCIÓN CÓNICO CONFORMAL DE LAMBERT.  
DATUM: D\_NORTH\_AMERICAN\_1927

**PRESENTAN.**

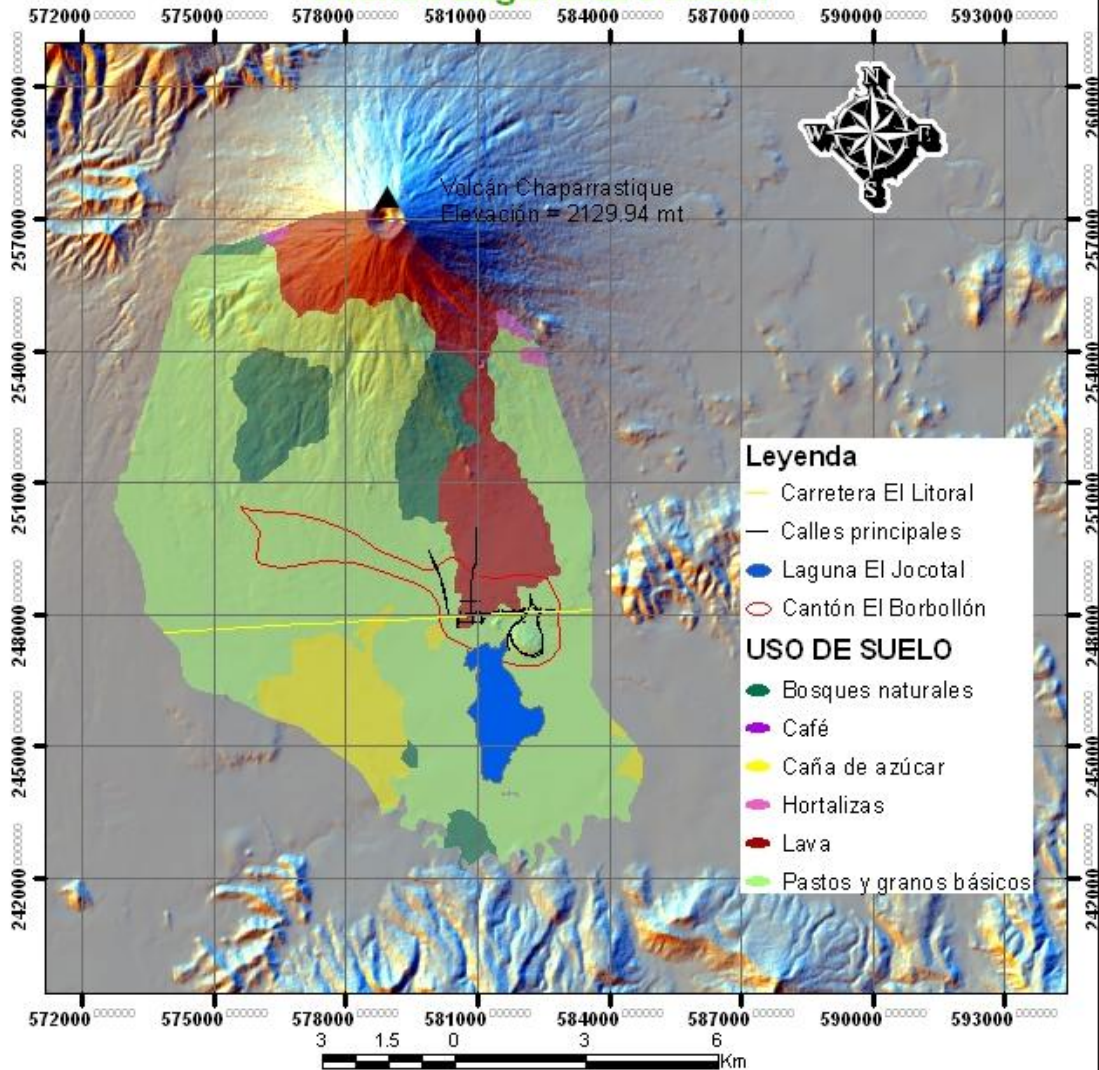
BR. SALVADOR PINEDA MELGAR  
BR. LUIS ALONSO RUBIO ORELLANA

ESCALA:  
1:150,000

NOVIEMBRE 2009

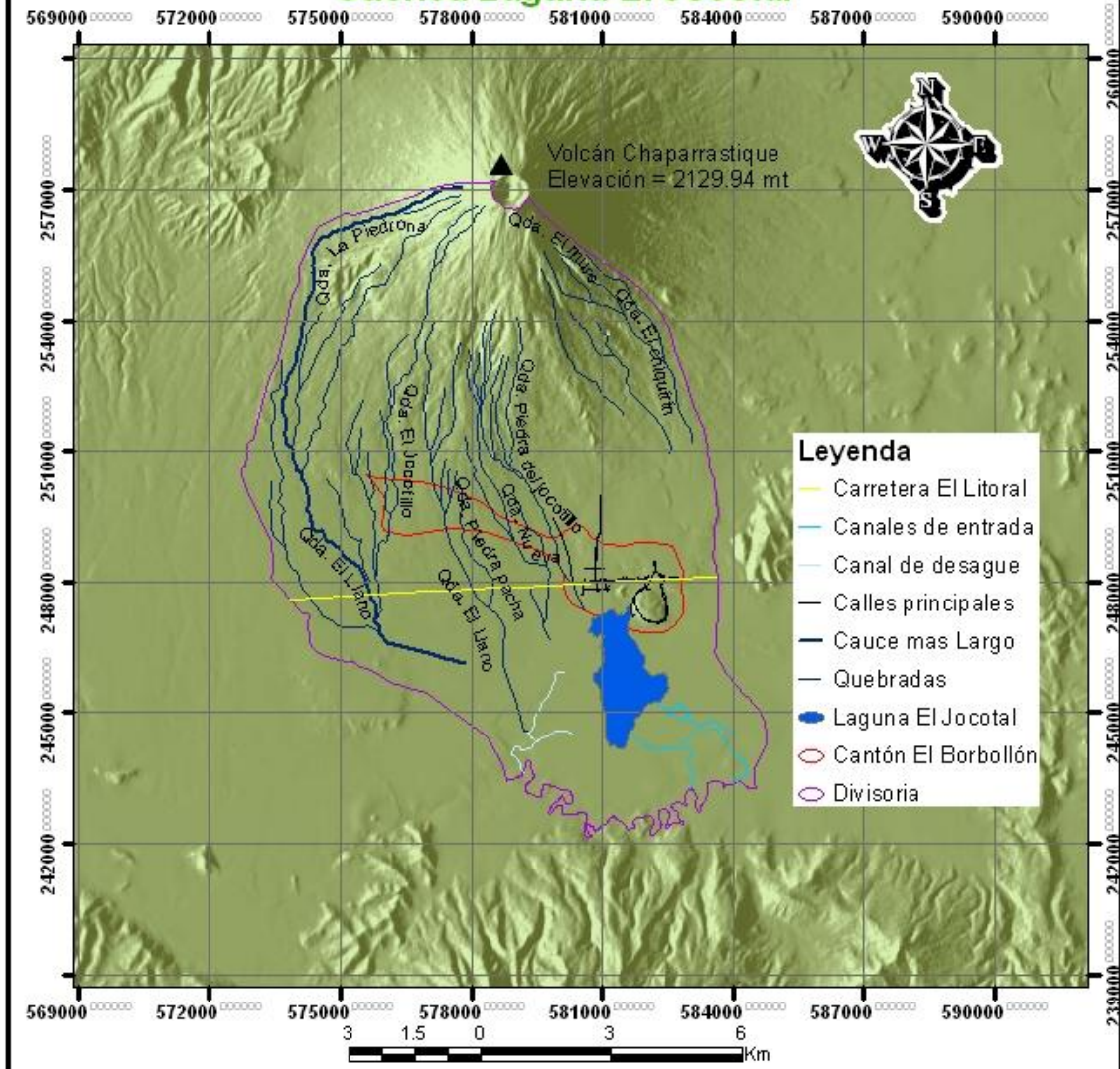
HOJA 5/10

## MAPA DE USO DE SUELO Cuenca Laguna El Jocotal



<p><b>UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR</b> FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA</p>	<p><b>FUENTE:</b> SERVICIO NACIONAL DE ESTUDIOS TERRITORIALES CENTRO NACIONAL DE REGISTROS (CNR)</p>		
<p><b>TEMA.</b> "ESTUDIO HIDROLOGICO Y PROPUESTA TECNICA PARA LA REDUCCION DE LA VULNERABILIDAD POR INUNDACION EN EL CANTON EL BORBOLLON CAUSADO POR EL DESBORMIENTO DE LA LAGUNA EL JOCOTAL"</p>	<p>SISTEMA DE PROYECCIÓN CÓNICO CONFORMAL DE LAMBERT. DATUM: D_NORTH_AMERICAN_1927</p>		
<p><b>PRESENTAN.</b> BR. SALVADOR PINEDA MELGAR BR. LUIS ALONSO RUBIO ORELLANA</p>	<p>ESCALA: 1:150,000</p>		
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center;"><b>NOVIEMBRE 2009</b></td> <td style="width: 50%; text-align: center;"><b>HOJA 6/10</b></td> </tr> </table>	<b>NOVIEMBRE 2009</b>	<b>HOJA 6/10</b>
<b>NOVIEMBRE 2009</b>	<b>HOJA 6/10</b>		

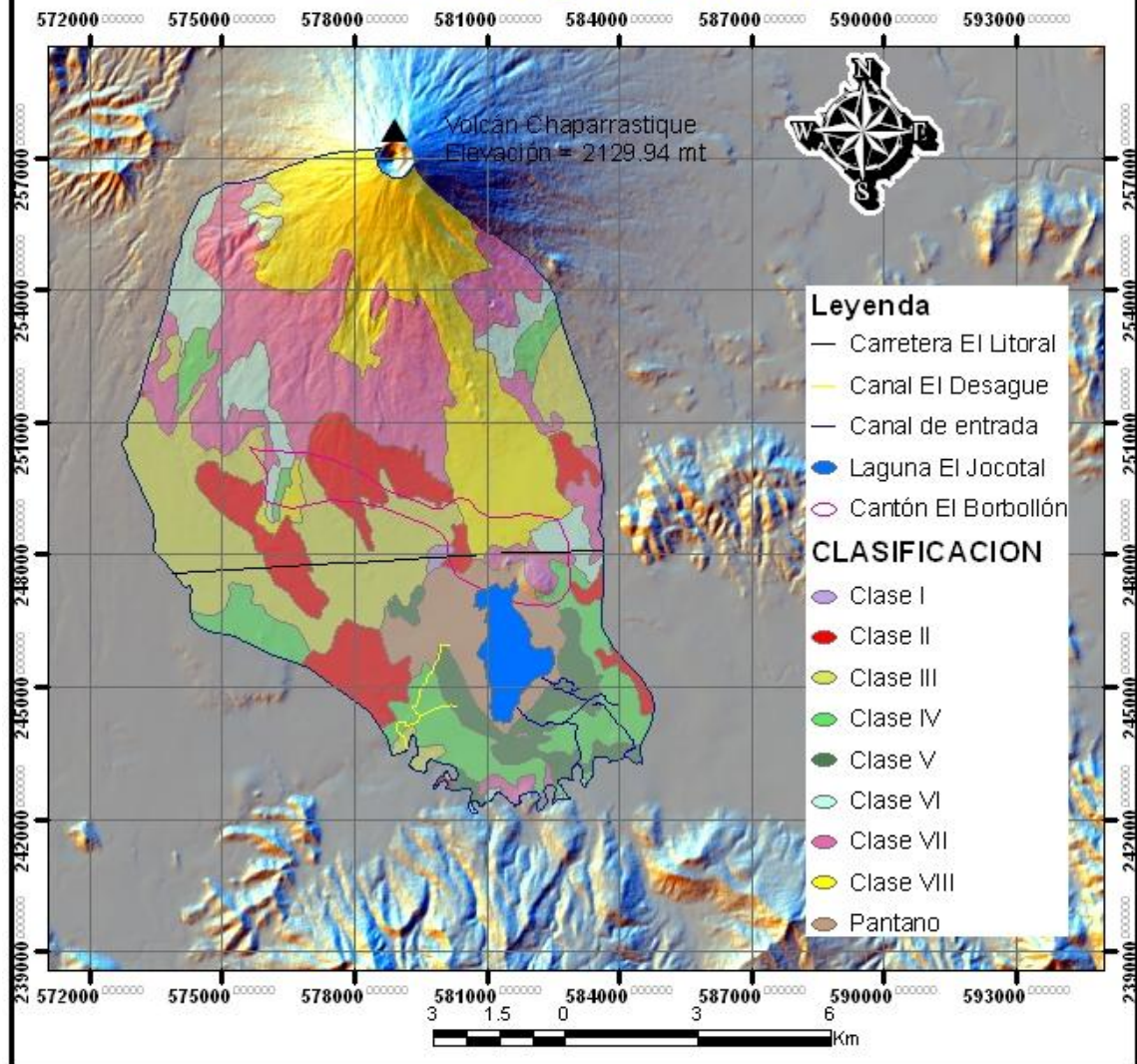
## MAPA HIDROLOGICO Cuenca Laguna El Jocotal



- Leyenda**
- Carretera El Litoral
  - Canales de entrada
  - Canal de desagüe
  - Calles principales
  - Cauce mas Largo
  - Quebradas
  - Laguna El Jocotal
  - Cantón El Borbollón
  - Divisoria

<p><b>UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR</b> FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA</p>	<p><b>FUENTE:</b> SERVICIO NACIONAL DE ESTUDIOS TERRITORIALES CENTRO NACIONAL DE REGISTROS (CNR)</p>		
<p><b>TEMA.</b> "ESTUDIO HIDROLOGICO Y PROPUESTA TECNICA PARA LA REDUCCION DE LA VULNERABILIDAD POR INUNDACION EN EL CANTON EL BORBOLLON CAUSADO POR EL DESBORMIENTO DE LA LAGUNA EL JOCOTAL"</p>	<p>SISTEMA DE PROYECCIÓN CÓNICO CONFORMAL DE LAMBERT. DATUM: D_NORTH_AMERICAN_1927</p>		
<p><b>PRESENTAN.</b> BR. SALVADOR PINEDA MELGAR BR. LUIS ALONSO RUBIO ORELLANA</p>	<p>ESCALA: 1:150,000</p>		
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center;"><b>NOVIEMBRE 2009</b></td> <td style="width: 50%; text-align: center;"><b>HOJA 7/10</b></td> </tr> </table>	<b>NOVIEMBRE 2009</b>	<b>HOJA 7/10</b>
<b>NOVIEMBRE 2009</b>	<b>HOJA 7/10</b>		

## MAPA AGROLOGICO Cuenca Laguna El Jocotal



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL  
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA



FUENTE:



SERVICIO NACIONAL DE ESTUDIOS  
TERRITORIALES

**TEMA.**

"ESTUDIO HIDROLOGICO Y PROPUESTA TECNICA PARA  
LA REDUCCION DE LA VULNERABILIDAD POR INUNDACION  
EN EL CANTON EL BORBOLLON CAUSADO POR EL  
DESBORMIENTO DE LA LAGUNA EL JOCOTAL"

CENTRO NACIONAL DE REGISTROS (CNR)

SISTEMA DE PROYECCIÓN CÓNICO  
CONFORMAL DE LAMBERT.  
DATUM: D\_NORTH\_AMERICAN\_1927

**PRESENTAN.**

BR. SALVADOR PINEDA MELGAR  
BR. LUIS ALONSO RUBIO ORELLANA

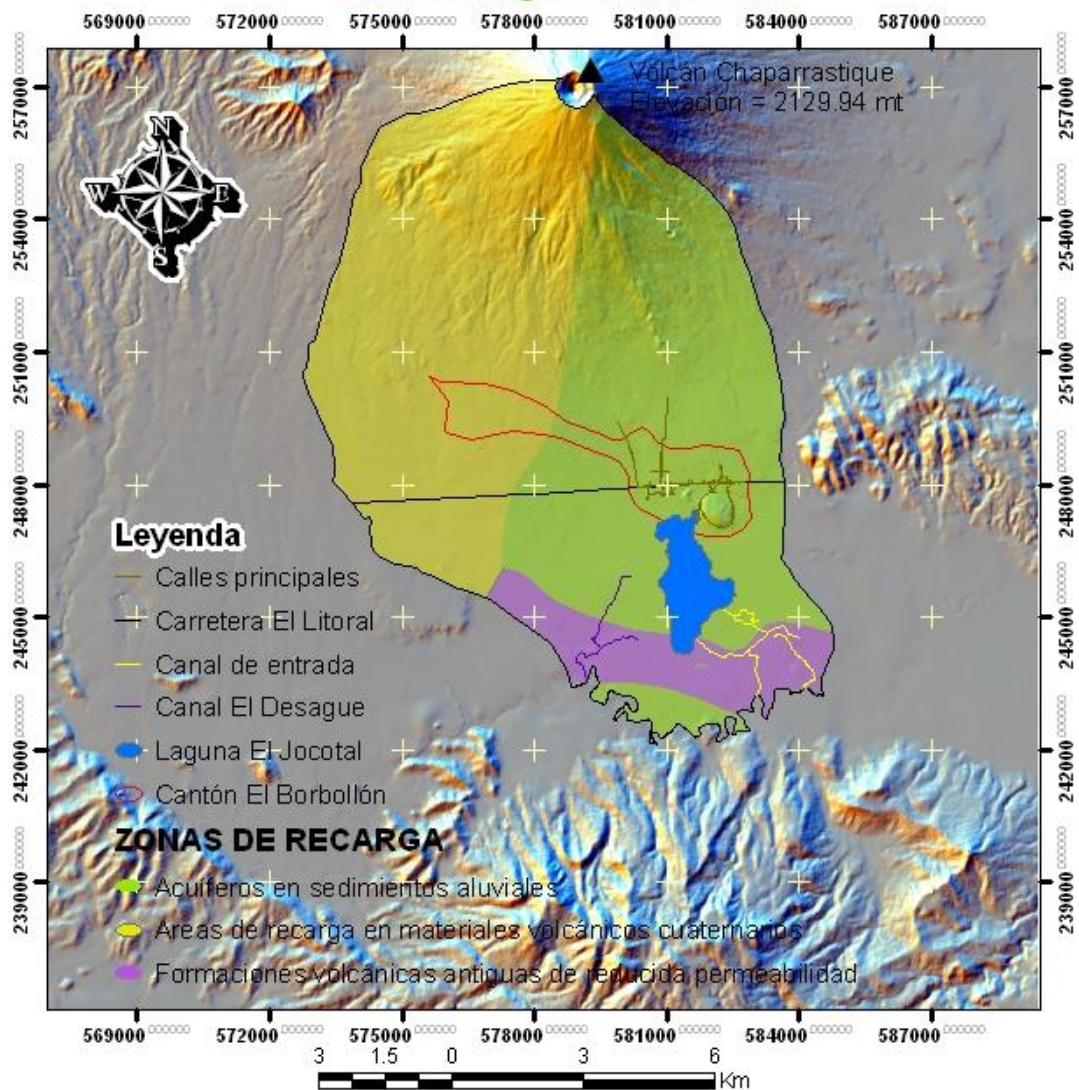
ESCALA:

1:150,000

NOVIEMBRE 2009

HOJA 8/10

## MAPA HDROGEOLOGICO Cuenca Laguna El Jocotal



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL  
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA



FUENTE:  
SERVICIO NACIONAL DE ESTUDIOS  
TERRITORIALES



**TEMA.**  
"ESTUDIO HIDROLOGICO Y PROPUESTA TECNICA PARA  
LA REDUCCION DE LA VULNERABILIDAD POR INUNDACION  
EN EL CANTON EL BORBOLLON CAUSADO POR EL  
DESBORMIENTO DE LA LAGUNA EL JOCOTAL"

CENTRO NACIONAL DE REGISTROS (CNR)  
SISTEMA DE PROYECCIÓN CÓNICO  
CONFORMAL DE LAMBERT.  
DATUM: D\_NORTH\_AMERICAN\_1927

**PRESENTAN.**  
BR. SALVADOR PINEDA MELGAR  
BR. LUIS ALONSO RUBIO ORELLANA

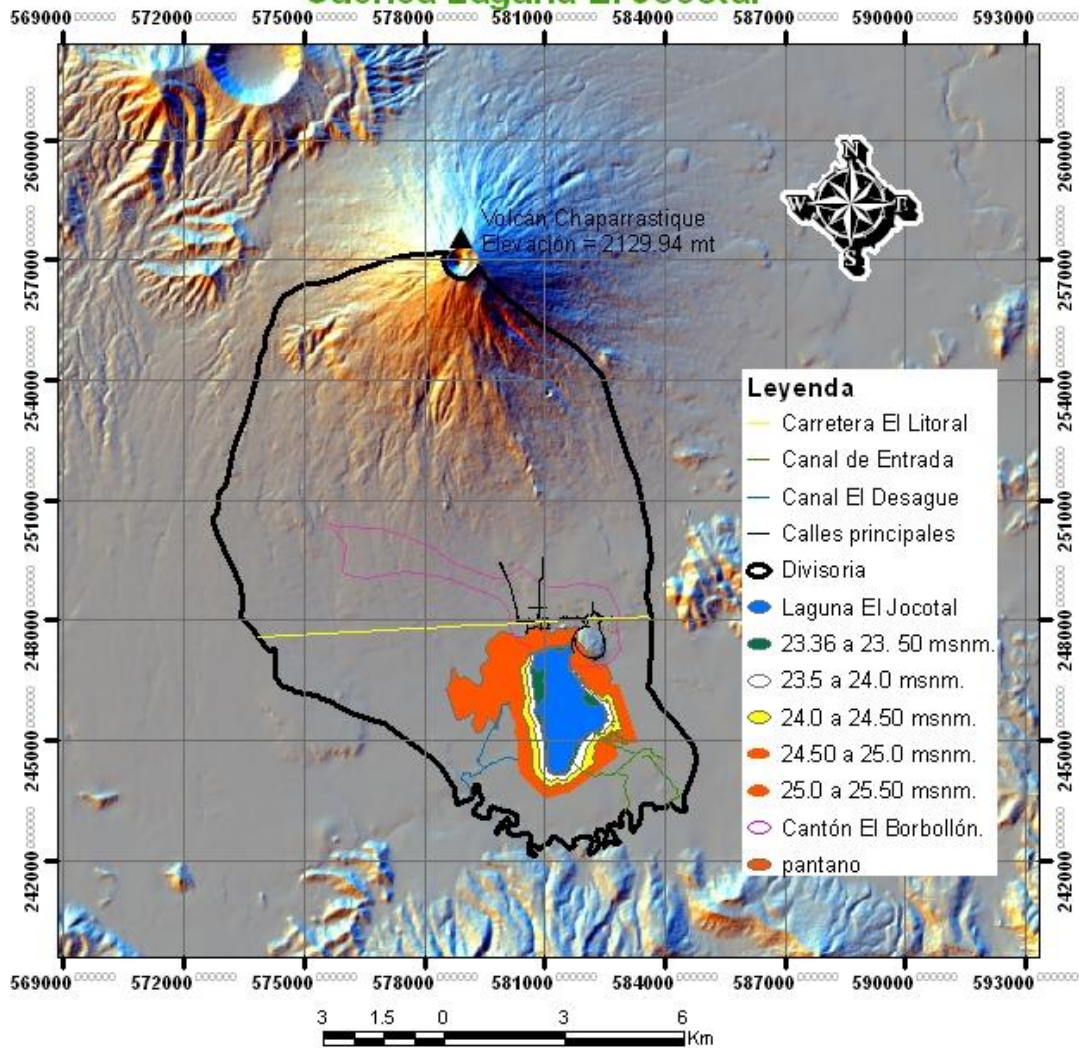
ESCALA:  
1:150,000

NOVIEMBRE 2009

HOJA

9/10

## MAPA DE RIESGO POR INUNDACION Cuenca Laguna El Jocotal



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL  
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA



FUENTE:



SERVICIO NACIONAL DE ESTUDIOS  
TERRITORIALES  
CENTRO NACIONAL DE REGISTROS (CNR)

**TEMA.**

"ESTUDIO HIDROLOGICO Y PROPUESTA TECNICA PARA  
LA REDUCCION DE LA VULNERABILIDAD POR INUNDACION  
EN EL CANTON EL BORBOLLON CAUSADO POR EL  
DESBORMIENTO DE LA LAGUNA EL JOCOTAL"

SISTEMA DE PROYECCION CONICO  
CONFORMAL DE LAMBERT.  
DATUM: D\_NORTH\_AMERICAN\_1927

ESCALA:

1:150,000

**PRESENTAN.**

BR. SALVADOR PINEDA MELGAR  
BR. LUIS ALONSO RUBIO ORELLANA

NOVIEMBRE 2009

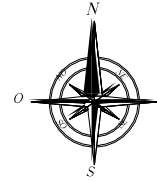
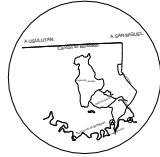
HOJA 10/10



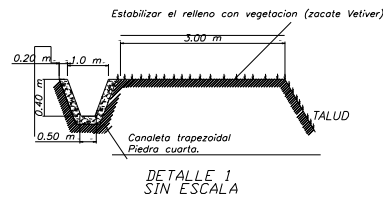
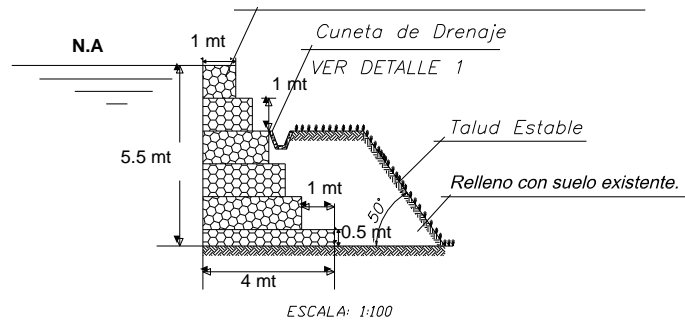




CROQUIS DE UBICACION SIN ESCALA.



Malla hexagonal a doble torsion, en alambre galvanizado revestido con PVC, con una tension de rotura de 48 kg/mm<sup>2</sup>



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR.**

FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL.  
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA.



DOCENTE DIRECTOR: <b>ING. FRANCISCO ANTONIO AGUIRRE GALLO.</b>	AREA:	CONTENIDO: DETALLES DE CONSTRUCCION DEL MURO DE CONTENCION EN LOS CANALES DE ENTRADA A LA LAGUNA EL JOCOTAL.	ESCALA: 1:100	TEMA: ESTUDIO HIDROLOGICO Y PROPUESTA TECNICA PARA LA REDUCCION DE LA VULNERABILIDAD POR INUNDACION EN EL CANTON EL BORBOLLON CAUSADA POR EL DESBORDAMIENTO DE LA LAGUNA EL JOCOTAL.
PRESENTAN: <b>SALVADOR PINEDA MELGAR. LUIS ALONSO RUBIO ORELLANA.</b>				
UBICACION: <b>CUENCA DE LA LAGUNA EL JOCOTAL.</b>		NOVIEMBRE DE 2009	HOJA: 2/3	





ANEXOS

**ANEXO 1: COEFICIENTES DE ESCORRENTIA PARA DIFERENTES  
PERIODOS DE RETORNO.**

Características de la superficie	Periodo de Retorno (años)						
	2	5	10	25	50	100	500
<b>Áreas desarrolladas</b>							
Asfáltico	0.73	0.77	0.81	0.86	0.90	0.95	1.00
Concreto/techo	0.75	0.80	0.83	0.88	0.92	0.97	1.00
<b>Zonas verdes (jardines, parques, etc.)</b>							
<b>Condición pobre (cubierta de pasto menor del 50% del área)</b>							
Plano, 0-2%	0.32	0.34	0.37	0.40	0.44	0.47	0.58
Promedio, 2-7%	0.37	0.40	0.43	0.46	0.49	0.53	0.61
Pendiente, superior a 7%	0.4	0.43	0.45	0.49	0.52	0.55	0.62
<b>Condición promedio (cubierta de pasto del 50 al 75%)</b>							
Plano, 0-2%	0.25	0.28	0.30	0.34	0.37	0.41	0.53
Promedio, 2-7%	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49	0.58
Pendiente, superior a 7%	0.37	0.40	0.42	0.46	0.49	0.53	0.60
<b>Condición buena (cubierta de pasto mayor del 75%)</b>							
Plano, 0-2%	0.21	0.23	0.25	0.29	0.32	0.36	0.49
Promedio, 2-7%	0.29	0.32	0.35	0.39	0.42	0.46	0.56
Pendiente, superior a 7%	0.34	0.37	0.40	0.44	0.47	0.51	0.58
<b>Áreas no desarrolladas</b>							
<b>Área de cultivos</b>							
Plano, 0-2%	0.31	0.34	0.36	0.40	0.43	0.47	0.57
Promedio, 2-7%	0.35	0.38	0.41	0.44	0.48	0.51	0.60
Pendiente, superior a 7%	0.39	0.42	0.44	0.48	0.51	0.54	0.61
<b>Pastizales</b>							
Plano, 0-2%	0.25	0.28	0.30	0.34	0.37	0.41	0.53
Promedio, 2-7%	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49	0.58
Pendiente, superior a 7%	0.37	0.40	0.42	0.46	0.49	0.53	0.60
<b>Bosques</b>							
Plano, 0-2%	0.22	0.25	0.28	0.31	0.35	0.39	0.48
Promedio, 2-7%	0.31	0.34	0.36	0.40	0.43	0.47	0.56
Pendiente, superior a 7%	0.35	0.39	0.41	0.45	0.48	0.52	0.58

## ANEXO 2: INTENSIDADES MAXIMAS ANUALES

SERVICIO NACIONAL DE ESTUDIOS TERRITORIALES



### INTENSIDADES DE PRECIPITACION MAXIMA ANUAL (ABSOLUTA)

En mm/minuto para diferentes períodos.

ESTACION: EL PAPALON

INDICE: M- 1- 6

LATITUD: 13° 26.6'

LONGITUD: 88° 07.4'

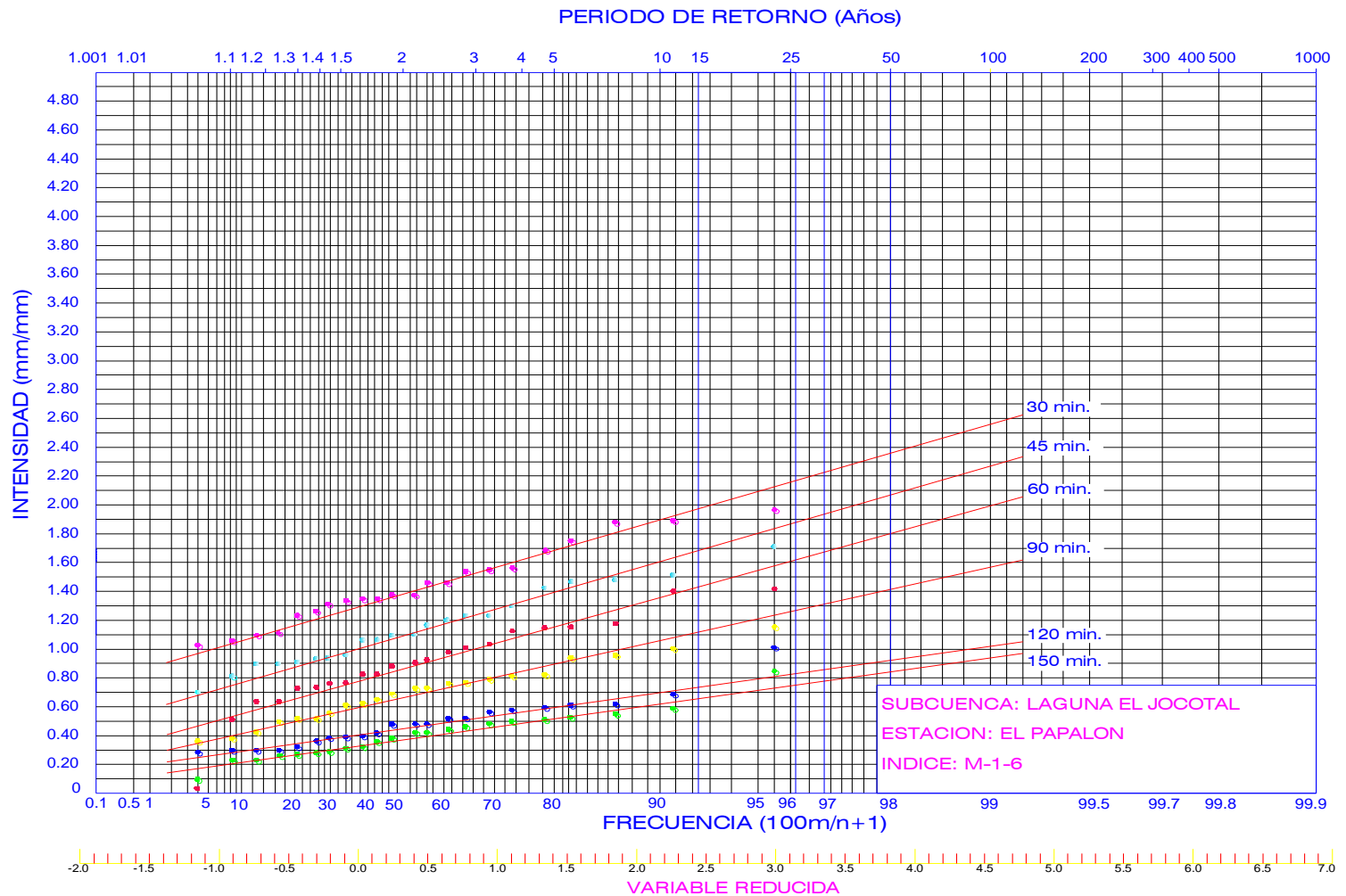
ELEVACION: 80 m.s.n.m.

AÑO	5	10	15	20	30	45	60	90	120	150	180	240	360
1961	4.08	2.66	2.30	2.15	1.87	1.48	1.17	0.81	0.61	0.52	0.40	0.17	0.14
1962	2.04	1.58	1.35	1.30	1.09	0.89	0.72	0.49	0.37	0.30	0.25	0.21	0.11
1963	2.40	2.11	1.92	1.58	1.33	1.19	1.01	0.93	0.35	0.28	0.24	0.23	0.12
1964	2.04	1.92	1.81	1.74	1.68	1.42	1.14	0.80	0.68	0.58	0.44	0.34	0.27
1965	2.10	2.03	1.92	1.67	1.30	0.92	0.76	0.51	0.39	0.32	0.28	0.23	0.18
1966	2.44	2.21	2.13	1.96	1.53	1.17	0.92	0.72	0.29	0.09	0.08	0.07	0.06
1967	5.44	3.78	3.17	2.71	1.88	1.50	1.15	0.99	0.52	0.50	0.36	0.27	0.19
1968	2.54	2.04	1.74	1.71	1.23	0.93	0.75	0.64	0.31	0.26	0.22	0.17	0.13
1969	3.72	2.82	2.45	1.87	1.26	0.90	0.63	0.43	0.29	0.27	0.26	0.17	0.07
1970	2.78	2.56	2.33	2.12	1.54	1.07	0.82	0.72	0.56	0.45	0.39	0.31	0.15
1971	2.08	2.05	1.88	1.67	1.33	1.22	0.02	0.75	0.59	0.22	0.18	0.18	0.09
1972	4.00	3.00	2.67	2.50	1.96	1.70	1.38	0.95	0.47	0.38	0.26	0.20	0.18
1973	2.80	2.30	1.94	1.66	1.32	0.96	0.82	0.56	0.38	0.35	0.27	0.21	0.19
*1974	2.94	2.37	2.18	1.92	1.45	1.05	0.89	0.62	0.47	0.49	0.47	0.39	0.29
1975	2.54	2.04	1.51	1.28	1.06	0.80	0.63	0.37	0.29	0.25	0.22	0.15	0.13
1976	2.60	1.80	1.54	1.34	1.10	0.89	0.71	0.51	0.41	0.41	0.40	0.35	0.27
1977	2.70	1.71	1.52	1.42	1.01	0.69	0.52	0.35	0.27	0.22	0.19	0.15	0.11
1978	2.80	2.20	1.94	1.75	1.74	1.45	1.41	1.17	1.03	0.84	0.74	0.59	0.41
1979	2.96	2.45	2.10	1.86	1.37	1.09	1.08	0.79	0.60	0.48	0.40	0.19	0.15
1980	2.15	1.98	1.92	1.63	1.37	1.22	0.97	0.68	0.52	0.43	0.36	0.30	0.21
1981	2.00	1.94	1.94	1.66	1.56	1.28	1.12	0.76	0.58	0.54	0.50	0.16	0.09
1983	2.38	1.94	1.55	1.62	1.45	1.09	0.87	0.60	0.47	0.41	0.36	0.29	0.21

**ANEXO 3: PERIODOS DE DURACION TOMADOS PARA EL ANALISIS. En  
mm/min.**

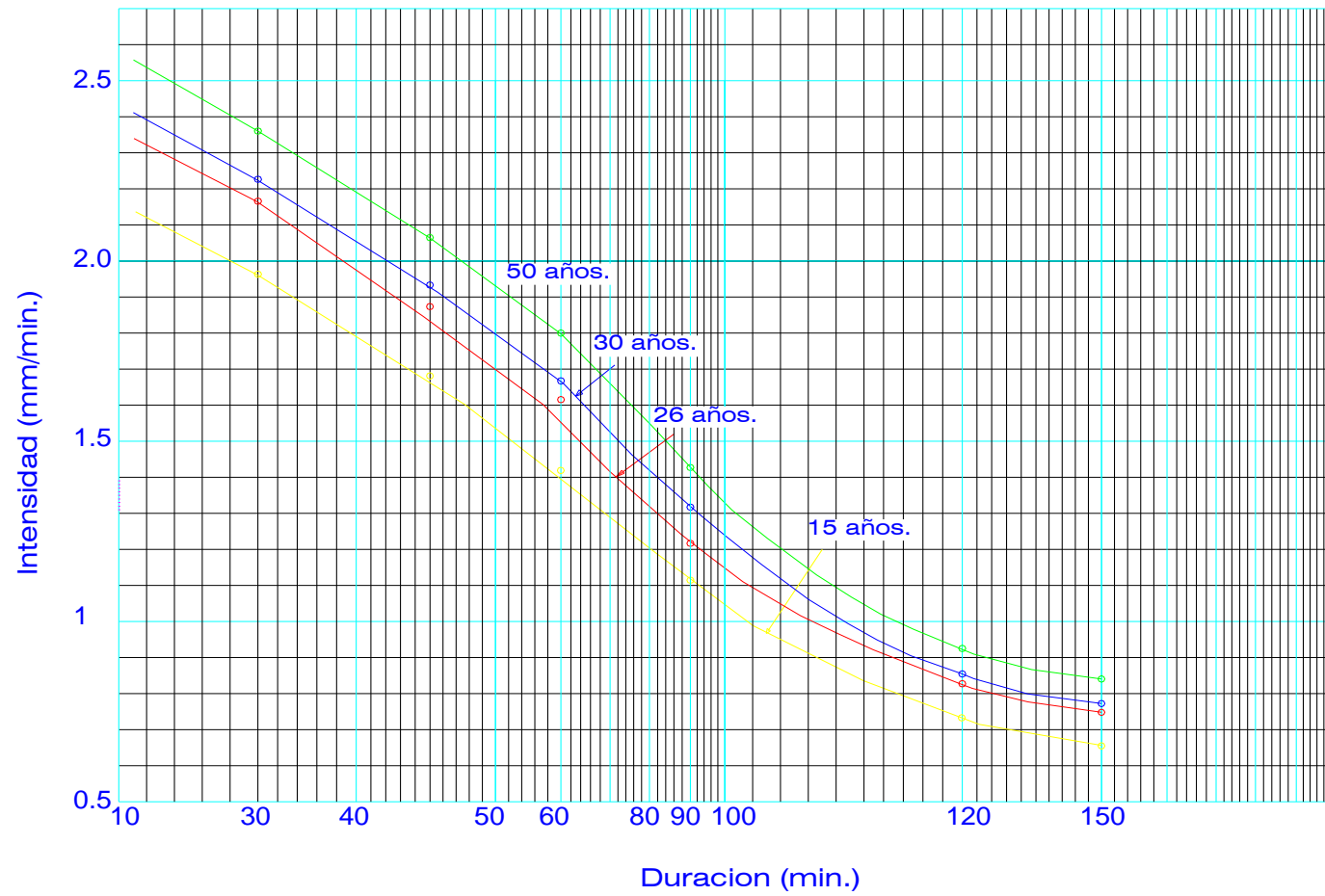
<b>ESTACION: EL PAPALON</b>							<b>INDICE: M-1-6</b>
<b>Posición</b>	<b>Intensidades</b>						<b>f = (m/n + 1)x100</b>
	<b>30 min</b>	<b>45 min</b>	<b>60 min</b>	<b>90 min</b>	<b>120 min</b>	<b>150 min</b>	
<b>1</b>	1.01	0.69	0.02	0.35	0.27	0.09	4.35
<b>2</b>	1.06	0.80	0.52	0.37	0.29	0.22	8.70
<b>3</b>	1.09	0.89	0.63	0.43	0.29	0.22	13.04
<b>4</b>	1.10	0.89	0.63	0.49	0.29	0.25	17.39
<b>5</b>	1.23	0.90	0.71	0.51	0.31	0.26	21.74
<b>6</b>	1.26	0.92	0.72	0.51	0.35	0.27	26.09
<b>7</b>	1.30	0.93	0.75	0.56	0.37	0.28	30.43
<b>8</b>	1.32	0.96	0.76	0.60	0.38	0.30	34.78
<b>9</b>	1.33	1.05	0.82	0.62	0.39	0.32	39.13
<b>10</b>	1.33	1.07	0.82	0.64	0.41	0.35	43.48
<b>11</b>	1.37	1.09	0.87	0.68	0.47	0.38	47.83
<b>12</b>	1.37	1.09	0.89	0.72	0.47	0.41	52.17
<b>13</b>	1.45	1.17	0.92	0.72	0.47	0.41	56.52
<b>14</b>	1.45	1.19	0.97	0.75	0.52	0.43	60.87
<b>15</b>	1.53	1.22	1.01	0.76	0.52	0.45	65.22
<b>16</b>	1.54	1.22	1.08	0.79	0.56	0.48	69.57
<b>17</b>	1.56	1.28	1.12	0.80	0.58	0.49	73.91
<b>18</b>	1.68	1.42	1.14	0.81	0.59	0.50	78.26
<b>19</b>	1.74	1.45	1.15	0.93	0.60	0.52	82.61
<b>20</b>	1.87	1.48	1.17	0.95	0.61	0.54	86.96
<b>21</b>	1.88	1.50	1.38	0.99	0.68	0.58	91.30
<b>22</b>	1.96	1.70	1.41	1.17	1.03	0.84	95.65

### ANEXO 4: INTENSIDAD DE PRECIPITACION MAXIMA ANUAL, PARA SEIS PERIODOS DE DURACION.





**ANEXO 5: CURVAS DE INTENSIDAD – DURACION – FRECUENCIA (I-D-F), PARA CUATRO PERIODOS DE RETORNO.**



## ANEXO 6: INTENSIDADES MAXIMAS ANUALES

SERVICIO NACIONAL DE ESTUDIOS TERRITORIALES



**INTENSIDAD DE PRECIPITACION MAXIMA ANUAL (ABSOLUTA)** En mm/minuto

ESTACION: SANTIAGO DE MARIA

INDICE: U- 6

LATITUD: 13° 29.1'

LONGITUD: 88° 28.3'

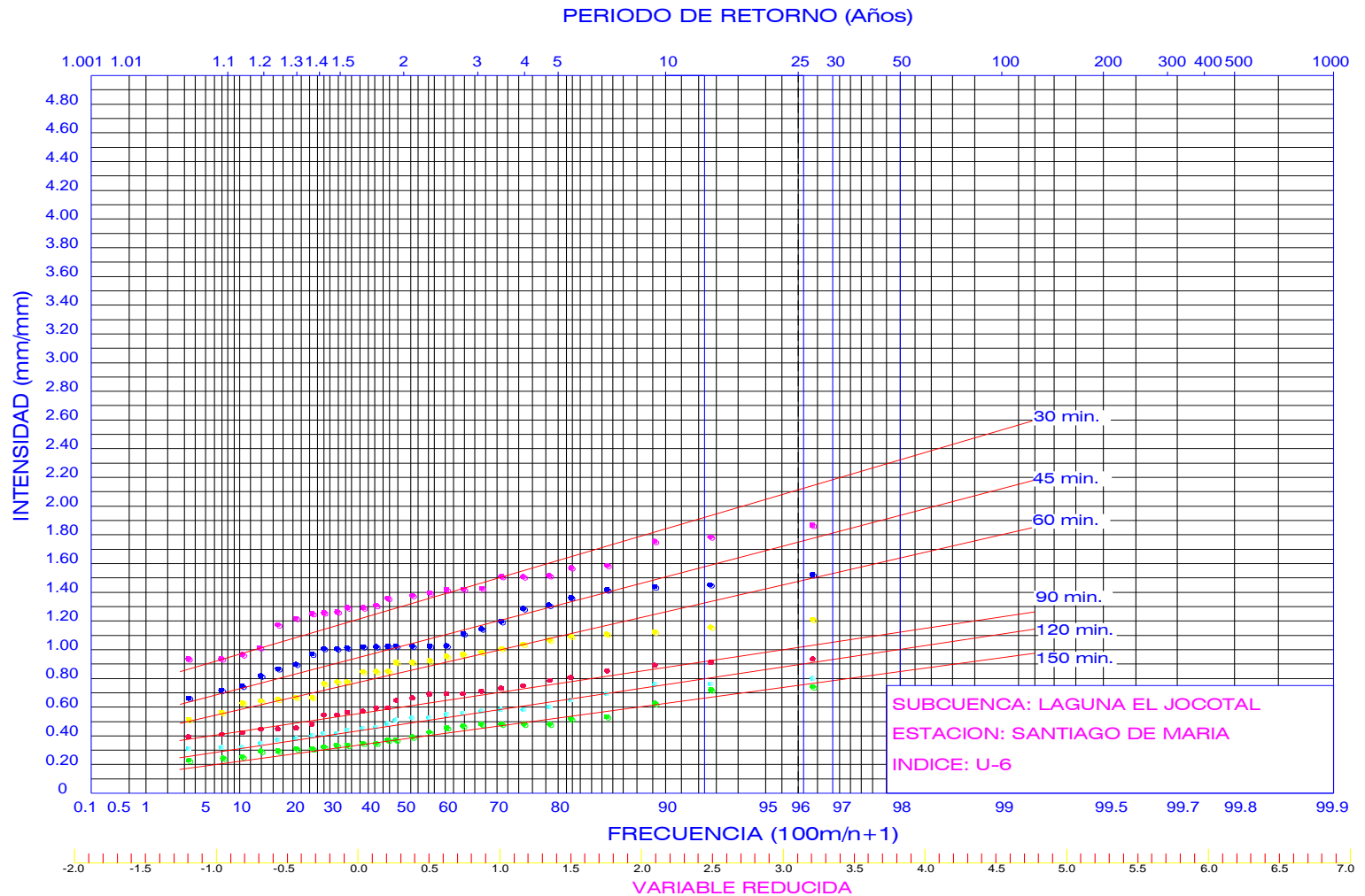
ELEVACION: 920 m.s.n.m.

AÑO	5	10	15	20	30	45	60	90	120	150	180	240	360
1957	2.02	1.65	1.65	1.56	1.24	0.86	0.66	0.48	0.37	0.31	0.27	0.21	0.14
1958	2.54	2.23	2.05	2.01	1.78	1.30	1.10	0.80	0.69	0.53	0.48	0.38	0.24
1959	2.46	2.35	2.05	1.69	1.29	1.00	0.92	0.64	0.48	0.39	0.33	0.26	0.18
1960	2.58	2.06	2.00	1.70	1.30	1.00	0.91	0.73	0.56	0.46	0.34	0.30	
1961	3.28	2.27	1.87	1.75	1.25	0.89	0.67	0.44	0.31	0.22	0.22	0.17	0.18
1962	2.56	2.00	1.62	1.30	0.93	0.81	0.63	0.44	0.39	0.32	0.21	0.18	
1963	2.00	1.60	1.41	1.33	1.06	0.73	0.56	0.40	0.31	0.25	0.21	0.14	
1964	2.52	1.96	1.66	1.49	1.43	1.08	0.67	0.38	0.30	0.24	0.20	0.10	
1965	2.76	2.36	1.99	1.72	1.26	1.14	1.07	0.90	0.79	0.71	0.62	0.52	
1966	2.10	2.05	1.94	1.88	1.75	1.41	0.77	0.56	0.44	0.37	0.31	0.23	0.08
1967	2.06	1.77	1.56	1.34	0.96	0.68	0.51	0.41	0.34	0.29	0.26	0.20	
1968	4.40	3.32	2.61	2.11	1.57	1.36	1.12	0.84	0.64	0.51	0.27	0.21	0.03
1969	2.50	1.96	1.77	1.60	1.37	1.45	1.20	0.70	0.58	0.47	0.41	0.18	0.09
1970	4.00	2.79	2.20	1.88	1.51	1.05	0.97	0.68	0.55	0.29	0.24	0.19	0.14
1971	3.88	2.54	1.95	1.56	1.29	1.06	0.91	0.74	0.58	0.47	0.40	0.31	
1972	2.76	2.36	1.81	1.62	1.39	1.07	0.84	0.57	0.43	0.30	0.25	0.20	
1973	1.96	1.96	1.96	1.74	1.41	1.05	0.84	0.59	0.54	0.34	0.31	0.17	
1974	1.78	1.64	1.35	1.19	0.93	0.71	0.62	0.45	0.38	0.34	0.31	0.30	0.24
1975	2.68	2.02	1.75	1.54	1.39	1.07	0.84	0.59	0.45	0.37	0.34	0.28	0.23
1976	3.84	3.52	2.88	2.41	1.86	1.43	1.15	0.78	0.59	0.47	0.39	0.29	0.25
1977	2.44	1.67	1.53	1.56	1.18	1.07	0.98	0.68	0.52	0.45	0.39	0.30	0.25
1978	3.88	2.73	2.22	1.79	1.42	1.27	1.00	0.68	0.52	0.42	0.35	0.26	0.18
1979	3.94	2.74	2.15	1.90	1.58	1.51	1.09	0.89	0.75	0.75	0.76	0.59	0.41
1980	3.54	2.37	1.89	1.50	1.21	0.97	0.78	0.54	0.41	0.33	0.28	0.20	0.10
1981	5.62	2.59	1.93	1.84	1.50	1.10	1.03	0.93	0.75	0.62	0.53	0.40	0.28
1982	3.08	2.31	2.04	1.86	1.50	1.19	0.95	0.66	0.50	0.47	0.38	0.29	0.22
1983	2.94	2.22	1.81	1.61	1.35	1.02	0.78	0.54	0.41	0.33	0.27	0.21	0.05

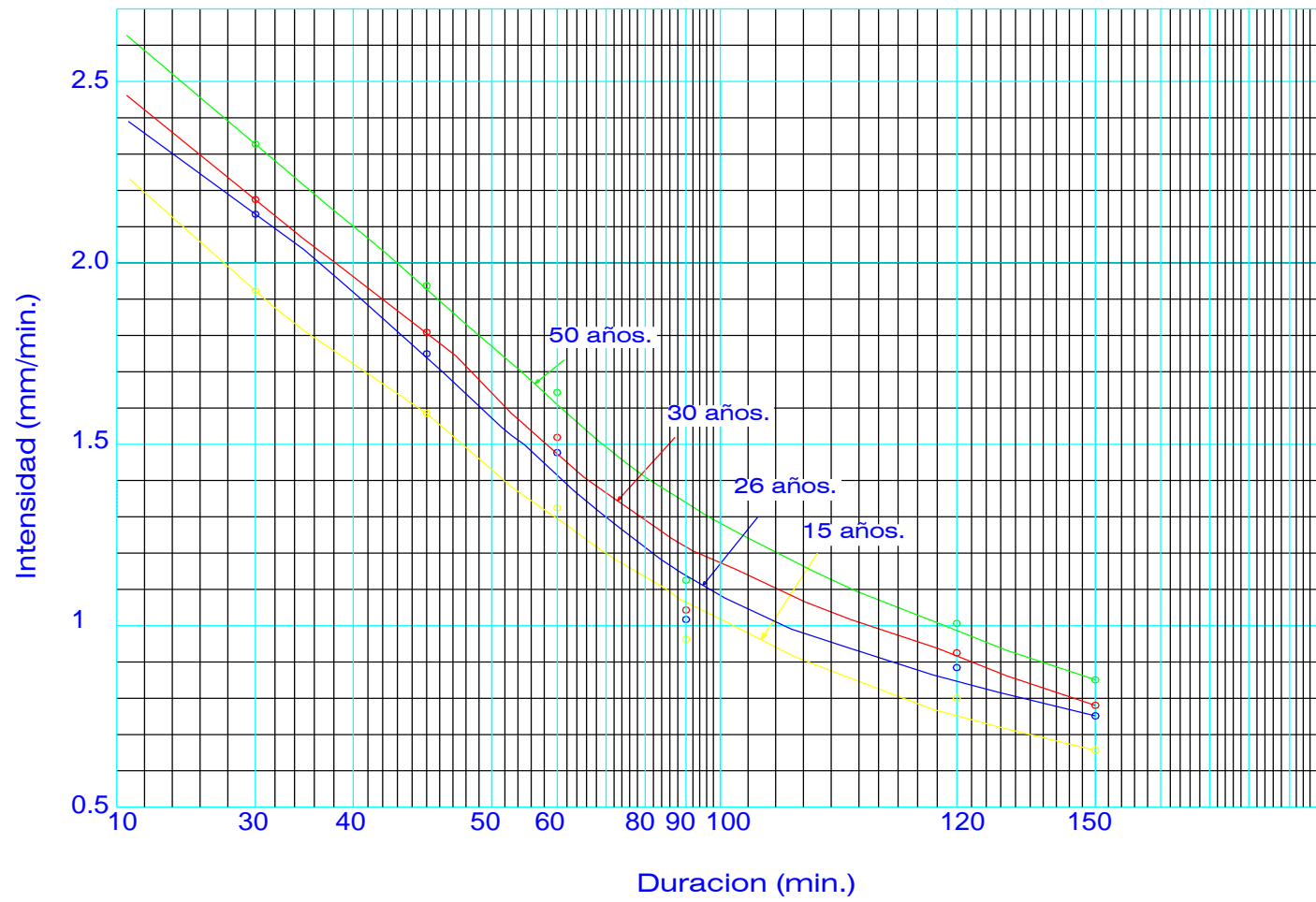
**ANEXO 7: PERIODOS DE DURACION TOMADOS PARA EL ANALISIS. En  
mm/min.**

<b>ESTACION: SANTIAGO DE MARIA</b>							<b>INDICE: U-6</b>
<b>Posición</b>	<b>Intensidades</b>						<b>f = (m/n + 1)x100</b>
	<b>30 min</b>	<b>45 min</b>	<b>60 min</b>	<b>90 min</b>	<b>120 min</b>	<b>150 min</b>	
<b>1</b>	0.93	0.68	0.51	0.38	0.30	0.22	3.57
<b>2</b>	0.93	0.71	0.56	0.40	0.31	0.24	7.14
<b>3</b>	0.96	0.73	0.62	0.41	0.31	0.25	10.71
<b>4</b>	1.06	0.81	0.63	0.44	0.34	0.29	14.29
<b>5</b>	1.18	0.86	0.66	0.44	0.37	0.29	17.86
<b>6</b>	1.21	0.89	0.67	0.45	0.38	0.30	21.43
<b>7</b>	1.24	0.97	0.67	0.48	0.39	0.31	25.00
<b>8</b>	1.25	1.00	0.77	0.54	0.41	0.32	28.57
<b>9</b>	1.26	1.00	0.78	0.54	0.41	0.33	32.14
<b>10</b>	1.29	1.02	0.78	0.56	0.43	0.33	35.71
<b>11</b>	1.29	1.05	0.84	0.57	0.44	0.34	39.29
<b>12</b>	1.30	1.05	0.84	0.59	0.45	0.34	42.86
<b>13</b>	1.35	1.06	0.84	0.59	0.48	0.37	46.43
<b>14</b>	1.37	1.07	0.91	0.64	0.50	0.37	50.00
<b>15</b>	1.39	1.07	0.91	0.66	0.52	0.39	53.57
<b>16</b>	1.39	1.07	0.92	0.68	0.52	0.42	57.14
<b>17</b>	1.41	1.08	0.95	0.68	0.54	0.45	60.71
<b>18</b>	1.42	1.10	0.97	0.68	0.55	0.46	64.29
<b>19</b>	1.43	1.14	0.98	0.70	0.56	0.47	67.86
<b>20</b>	1.50	1.19	1.00	0.73	0.58	0.47	71.43
<b>21</b>	1.50	1.27	1.03	0.74	0.58	0.47	75.00
<b>22</b>	1.51	1.30	1.07	0.78	0.59	0.47	78.57
<b>23</b>	1.57	1.36	1.09	0.80	0.64	0.51	82.14
<b>24</b>	1.58	1.41	1.10	0.84	0.69	0.53	85.71
<b>25</b>	1.75	1.43	1.12	0.89	0.75	0.62	89.29
<b>26</b>	1.78	1.45	1.15	0.90	0.75	0.71	92.86
<b>27</b>	1.86	1.51	1.20	0.93	0.79	0.75	96.43

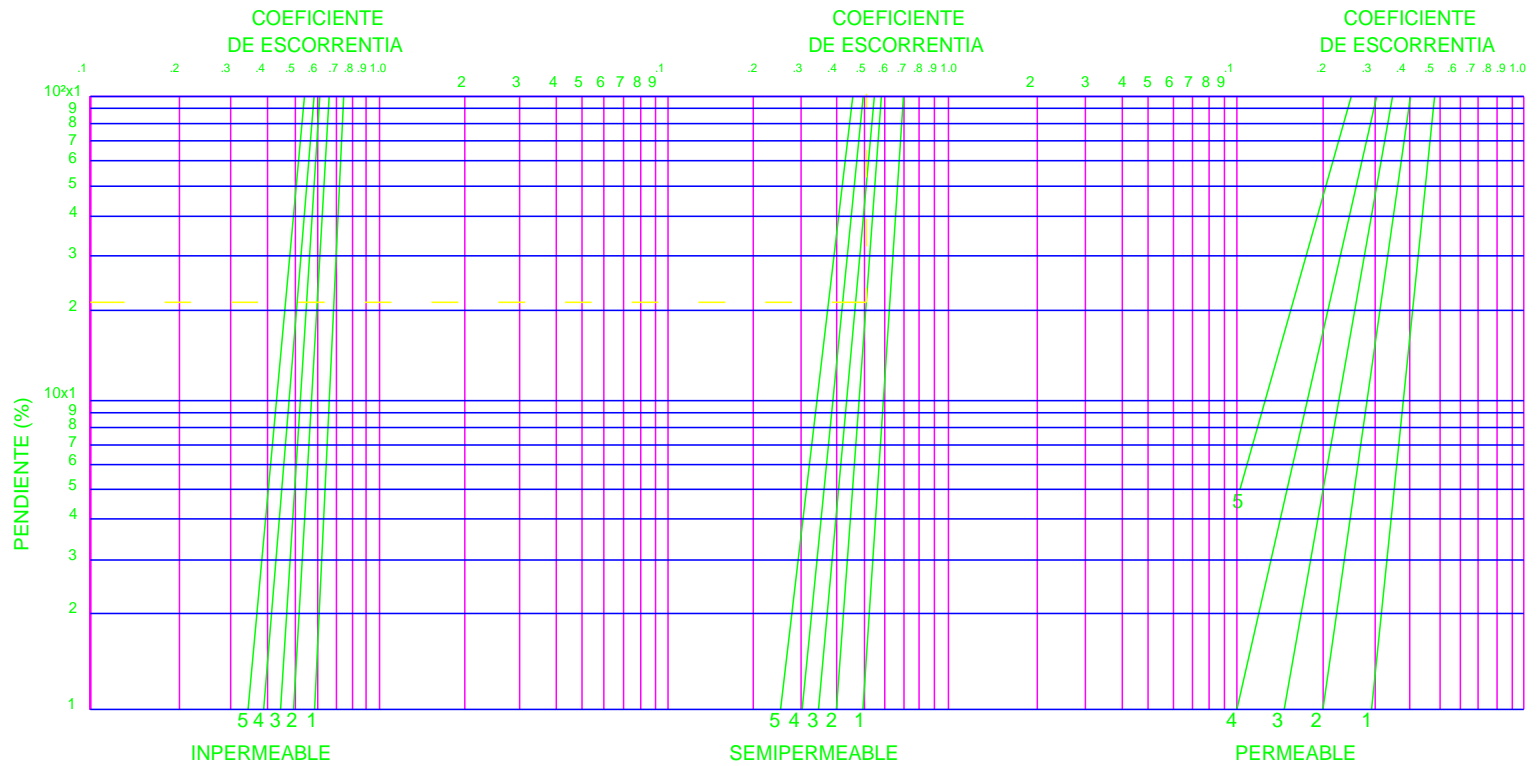
## ANEXO 8: INTENSIDAD DE PRECIPITACION MAXIMA ANUAL, PARA SEIS PERIODOS DE DURACION.



**ANEXO 9: CURVAS DE INTENSIDAD – DURACION – FRECUENCIA (I-D-F), PARA CUATRO PERIODOS DE RETORNO.**



## ANEXO 10: NOMOGRAMA DE VEN – TE – CHOW PARA EL CALCULO DEL COEFICIENTE DE ESCORRENTIA.



- SIMBOLOGIA**
- |                               |                              |
|-------------------------------|------------------------------|
| 1- SIN VEGETACION             | 4 - HIERBA CORTA (GRAMA)     |
| 2 - CULTIVOS                  | 5- VEGETACION DENSA (BOSQUE) |
| 3 - VEGETACION LIGERA (PASTO) |                              |







## ANEXO 12: PRUEBAS DE INFILTRACION.

### Metodología de la prueba de Infiltración a través del Infiltrómetro de Doble Anillo.

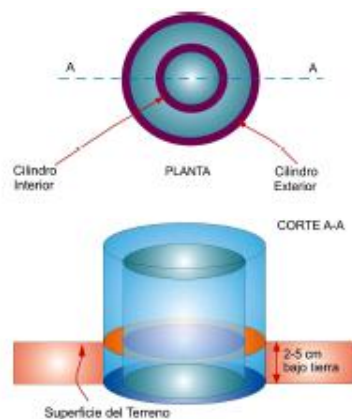
El propósito de esta prueba es determinar la proporción en que el agua penetra en el suelo, en función del tiempo. La infiltración mide cuán fácilmente el agua se mueve verticalmente a través del suelo.

#### Materiales y Herramientas.

- ◆ Dos anillos de metal, siendo el más pequeño de un diámetro de 10-20 cm y el otro de un diámetro de 5-10 cm. más que el anterior.
- ◆ Baldes u otros recipientes para transportar un total de por lo menos 8 litros de agua por prueba hacia el lugar.
- ◆ Regla.
- ◆ Bloque de madera.
- ◆ Marcador a prueba de agua.
- ◆ Cronómetro o reloj con segundero.
- ◆ Machete.
- ◆ Martillo o Almádana.

#### Pasos necesarios para llevar a cabo la prueba de infiltración.

#### Preparación de equipo: Construcción de un Infiltrómetro de Doble Anillo.



1. Se corta la base de las latas que servirán como anillos.
2. Con un marcador indeleble, a prueba de agua, se pinta parcialmente un anillo o banda en el interior de la lata más pequeña, que se utiliza como marca de referencia para la medición del tiempo. El ancho de la banda o anillo debe corresponder a 20-40 mm y centrarse aproximadamente 9 cm. del fondo de la lata.

### **Selección del lugar de la prueba.**

La selección de la prueba se procura en un lugar libre de intervención humana, de tal manera que el suelo no haya sido alterado de su estado natural de humedad, compacidad, integridad, etc., de preferencia que posea vegetación, con el objeto de emular con la prueba, la infiltración natural del terreno.

### **Tiempo.**

Se utiliza un cronómetro para tomar el tiempo en el que el flujo de agua penetra en el suelo. La activación del cronómetro se inicia al momento en que se vierte el agua en el anillo interno y se lee el tiempo que transcurre desde cada inicio y finalización.

### **Medición de la Infiltración.**

1. Se remueve cualquier vegetación (hierba) a nivel de la superficie y se retira toda la cubierta orgánica suelta dentro de un área un poco más grande que la del anillo externo que se utiliza. Es necesario tener el cuidado de no alterar el suelo.



2. Se hacen girar las latas hasta enterrar el borde inferior de 2 a 5 cm. en el suelo, comenzando con la lata más pequeña. Se utiliza un martillo para empotrar la lata en la tierra junto con una tabla de madera encima de la lata para distribuir la fuerza de los martillazos, procurando no martillar tan fuerte para evitar que la lata se tuerza o deforme. Seguidamente se hinca el anillo externo procurando dejarlo de manera concéntrica al anillo externo.



3. Se mide la altura sobre el nivel del piso y al tope de la marca hecha dentro de la lata más pequeña.

4. Tan pronto como es posible, se hace lo siguiente:

4.1 Se vierte agua en ambos anillos y se mantiene el anillo externo a un nivel aproximadamente igual al nivel en el anillo interior, debido a que el nivel del agua en el anillo externo tiende a disminuir más rápidamente que el agua del anillo interno.

4.2 Al verter agua en el anillo interior, se debe llegar apenas por sobre la marca de referencia (1 cm.).

4.3 Se inicia el cronometraje y los datos se registran en el formato de medición de infiltración de la Tabla que se presenta en el análisis e interpretación de los datos.



5. A medida que el nivel del agua en el anillo interior alcanza la marca de referencia superior, se registra el tiempo que transcurre desde que comenzó el ensayo.

6. Durante el transcurso de la prueba, se mantiene el nivel de agua en el anillo exterior aproximadamente igual al nivel del anillo interior, este procedimiento se realiza con

cuidado para que no se derrame agua en el anillo interior (el uso de un embudo puede ayudar a evitarlo), procurando no permitir que ninguno de los dos anillos se seque.



7. Al alcanzar el nivel de agua de la lata interna, la marca de referencia inferior:

7.1 Se registra el tiempo al terminar la operación.

7.2 Se calcula el intervalo tomando la diferencia entre el tiempo de inicio y final.

7.3 Se vierte agua en el anillo interior justo por sobre la marca de referencia superior.

Al mismo tiempo se eleva también el nivel de agua del anillo exterior de manera que se encuentren aproximadamente iguales.

8. Se continúa repitiendo los pasos 5-7 durante 45 minutos o hasta cuando los dos intervalos consecutivos de tiempo correspondan a 10 segundos entre uno y otro.

9. Se realizan mediciones adicionales de infiltración dentro de un área de 5 m de diámetro, ya sea al mismo tiempo, o a lo largo de varios días (si es que no llueve y cambia la capa superficial y su contenido de agua).

**Análisis y Presentación de Datos.**

La tasa de infiltración corresponde a la distancia que disminuyó el nivel del agua dividida por el tiempo requerido para que esta disminución se dé. Para el caso, esto es igual al ancho de la banda de referencia dividida por la diferencia entre los tiempos de inicio y finalización, para obtener un intervalo. Se utiliza el formato de la siguiente Tabla para registrar y posteriormente calcular los valores que se precisan para obtener los resultados.

Tiempo.					Tasa de Infiltración mm/min.
Inicio min: seg	Final min: seg	Intervalo min.	Punto medio min.	Acumulado min.	
<b>Tasa de infiltración=</b>					

Para llevar a cabo el registro de la tabla anterior se debe realizar el siguiente procedimiento:

**Columna 1:** Se toma el tiempo en el cual el nivel del agua llega a la marca de referencia superior.

**Columna 2:** Cuando el nivel del agua llega a la marca de referencia inferior se registra el tiempo en el cual ocurrió.

**Columna 3:** El registro de esta columna se determina mediante la diferencia entre la columna 2 (Final) y la columna 1 (Inicio), debe expresarse en minutos.

**Columna 4:** Esta columna se determina de la siguiente manera:

$$\frac{\textit{Inicio} + \textit{Final}}{2}$$

**Columna 5:** El proceso para su registro consiste en restar de la columna 4, el primer dato correspondiente a la columna 1.

**Tasa de infiltración:** Esta se determina dividiendo la columna 3 por el cambio en el nivel del agua (ancho de la banda de referencia).

La infiltración media será el promedio de los tres valores menores de cada prueba.

La tasa de infiltración se determina midiendo el tiempo que toma el nivel del agua que se vierte en los anillos en disminuir cierta distancia. Esta tasa cambia con el tiempo, a medida que los poros de la tierra se llenan con agua y alcanza una tasa fija, característica del flujo de agua a través de un suelo cuando está saturado.

## **RESULTADOS OBTENIDOS.**

A continuación se presentan los resultados obtenidos, de las pruebas de infiltración que se realizaron en distintos puntos de la Comunidad El Borbollón; seleccionando los lugares de cuerdo al área de estudio y en base al cambio de textura del suelo.

La cuenca de la Laguna El Jocotal es bastante extensa, por lo que fue necesario seleccionar los puntos claves más próximo a la Laguna y a la comunidad del Borbollón, de esta forma quedarían definidos los sitios donde se realizarían las pruebas de infiltración. En las riberas de la Laguna se escogió un predio que se encuentra al costado norte, en sector medio del área de estudio se eligió la Loma de Merlos y en la parte alta se seleccionó el sector del Amate. Estos resultados nos darán una idea de cómo se encuentran las condiciones actuales del terreno.

### **Prueba de infiltración 1:**



Cantón: El Borbollón

Sector: Ribera de la Laguna El Jocotal, costado norte.



**Datos específicos de la prueba.**

Fecha de realización del ensayo: 31/08/2009

Ancho de banda referencial: 20 mm.

Altura de referencia: 11 cm.

Diámetro: Anillo interno = 12.8 cm. Anillo externo = 20 cm.

Coordenadas: X= 581623

Y= 247604

Elevación: 27 m.s.n.m.

Este lugar posee abundante vegetación, en la mayor parte arboles de Ipacina, Conacaste Negro, Carretos y Mangollano.

Después de mantener un periodo de observación de 50 min, no se registro una variación del nivel del agua en el anillo interno, uno de los aspectos que se destaca es la abundante humedad que presenta el suelo, ya a unos pocos metros se encuentra el nacimiento conocido como La poza de los abuelos, sin dejar de lado las esporádicas precipitaciones que se habían dado en la zona.



**Prueba de infiltración 2:**



Cantón: El Borbollón

Sector: Loma de Merlos, costado noreste.

### **Datos específicos de la prueba.**

Fecha de realización del ensayo: 31/08/2009

Ancho de banda referencial: 20 mm.

Altura de referencia: 9 cm.

Diámetro: Anillo interno = 12.8 cm. Anillo externo = 20 cm.

Coordenadas: X= 581604

Y= 247900

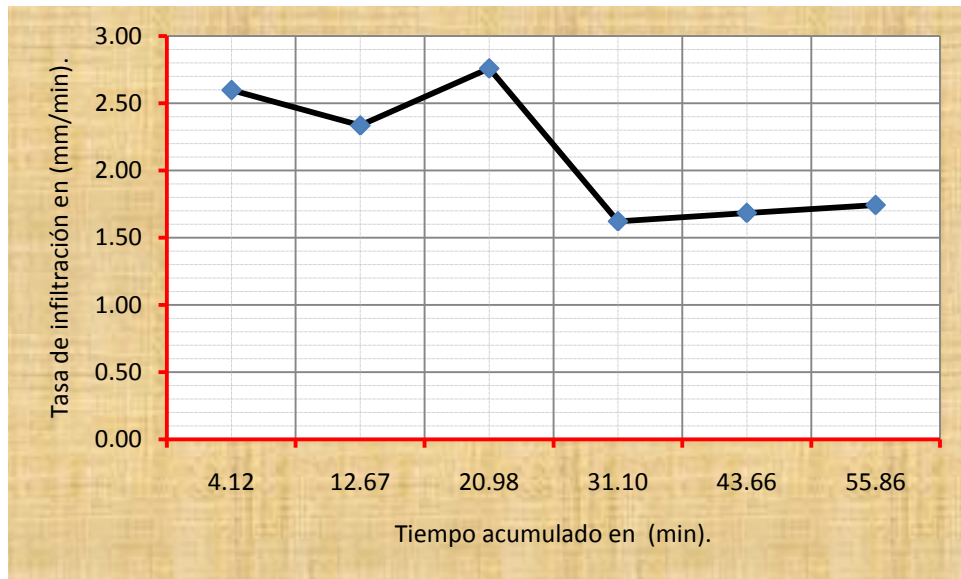
Elevación: 35 m.s.n.m.



Este sector se encuentra cubierto con vegetación tipo matorral, con abundante grama y con una cobertura orgánica muy pobre.

A continuación se presentan los datos de esta prueba que tuvo una duración de 1 hr.

Tiempo.					Tasa de Infiltración mm/min.
Inicio min: seg	Final min: seg	Intervalo min.	Punto medio min.	Acumulado min.	
0:40	8:22	7.70	4.52	4.12	2.60
8:47	17:21	8.57	13.07	12.67	2.33
17:45	25:00	7.25	21.38	20.98	2.76
25:20	37:40	12.34	31.50	31.10	1.62
38:07	50:00	11.88	44.06	43.66	1.68
50:31	62:00	11.48	56.26	55.86	1.74
<b>Tasa de infiltración=</b>					<b>1.68</b>



Curva de infiltración.

### **Prueba de infiltración 3:**



Cantón: El Borbollón

Sector: El Amate.

### **Datos específicos de la prueba.**

Fecha de realización del ensayo: 31/08/2009

Ancho de banda referencial: 20 mm.

Altura de referencia: 9 cm.

Diámetro: Anillo interno = 12.8 cm. Anillo externo = 20 cm.

Coordenadas: X= 582156

Y= 248428

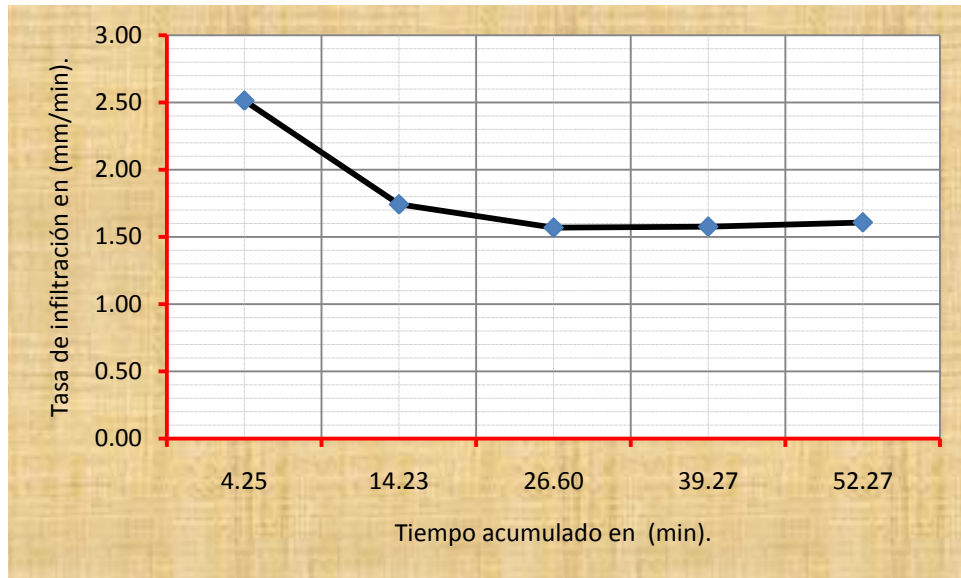
Elevación: 59 m.s.n.m.



En este sector se encontró un suelo con un contenido orgánico más alto en comparación al sitio anterior, el tipo de arboles que se encuentra en mayor abundancia es el mango, el limón, jocote y matorrales en predios claros, el cultivo del maíz es una técnica agrícola que se practica con mayor intensidad ya que el terreno presenta buenas condiciones.

A continuación se presentan los datos de esta prueba que tuvo una duración de 59 min.

Tiempo.					Tasa de Infiltración mm/min.
Inicio min:seg	Final min:seg	Intervalo min.	Punto medio min.	Acumulado min.	
0:40	8:38	7.96	4.65	4.25	2.51
8:53	20:22	11.49	14.63	14.23	1.74
20:37	33:23	12.76	27.00	26.60	1.57
33:38	45:42	12.70	39.67	39.27	1.57
46:05	58:32	12.45	52.67	52.27	1.61
<b>Tasa de infiltración=</b>					<b>1.58</b>



Curva de infiltración.

## ANEXO 13: ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DE AGUAS Y PH.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD MULTIDISPLINARIA ORIENTAL  
FACULTAD DE CC NN Y MATEMÁTICAS  
SECCIÓN: QUÍMICA

### ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DE AGUAS Y pH

Propietario: Br. Salvador Penado Melgar  
Procedencia de la muestra: Comunidad El Borbollón, Municipio El Transito.  
Muestra: I  
Lugar: Canal de entrada a Laguna el Jocotal  
Muestreador: Br. Salvador Penado Melgar  
Fecha toma 26/10/09 Hora toma de muestra: 9:15am  
Fecha ingreso al laboratorio: 26/10/09 Fecha de entrega: 13/11/09

PARÁMETRO	DILUCIONES (24 HRS)		
	10/10	1/10	0.1/10
COLIFORMES TOTALES	5	5	5
COLIFORMES FECALES	5	5	5
E. COLI	+	+	+

### RESULTADOS FINALES

CONIFORMES TOTALES: >1600 NMP/100 ml


CONIFORMES FECALES: >1600 NMP/100 ml


E. COLI: POSITIVO

pH =7. 592

CONCLUSION:

El agua no es apta para consumo humano, el pH está entre los valores normales que establece la Norma Salvadoreña 6.0-8.5.

  
LIC. WILLIAN REYES  
ANALISTA QUÍMICO

  
LIC. PEDRO ULISES NAVARRO  
COORDINADOR DE LA SECCIÓN

  
LIC. ABEL MARTÍNEZ LÓPEZ  
JEFE DPTO. CC. NN Y MATEMÁTICA







**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD MULTIDISPLINARIA ORIENTAL  
FACULTAD DE CC NN Y MATEMÁTICAS  
SECCIÓN: QUÍMICA**

**ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DE AGUAS y pH**

Propietario: Br. Salvador Penado Melgar  
Procedencia de la muestra: Comunidad El Borbollón, Municipio El Transito  
Muestra: III  
Lugar: Laguna El Jocotal  
Muestreador: Br. Salvador Penado Melgar  
Fecha toma: 26/10/09                      Hora toma de muestra: 1:24pm  
Fecha ingreso al laboratorio: 14/10/09      Fecha de entrega: 22/10/09

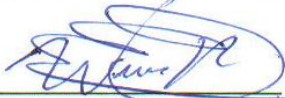
PARÁMETRO	DILUCIONES (24 HRS)		
	10/10	1/10	0.1/10
COLIFORMES TOTALES	5	5	5
COLIFORMES FECALES	3	0	0
E. COLI	+	+	+


**RESULTADOS FINALES**

CONIFORMES TOTALES: >1600 NMP/100 ml  
CONIFORMES FECALES: 8 NMP/100 ml  
E. COLI: POSITIVO  
pH = 9.176

**CONCLUSION:**

El agua no es apta para consumo humano y el pH es muy alcalino ya que sobre pasa la Norma salvadoreña la establece que el pH tiene que ser 6.0-8.5.

  
LIC. WILLIAN REYES  
ANALISTA QUÍMICO

  
LIC. PEDRO ULISES NAVARRO  
COORDINADOR DE LA SECCIÓN



  
LIC. ABEL MARTÍNEZ LÓPEZ  
JEFE DPTO. CC. NN Y MATEMÁTICA

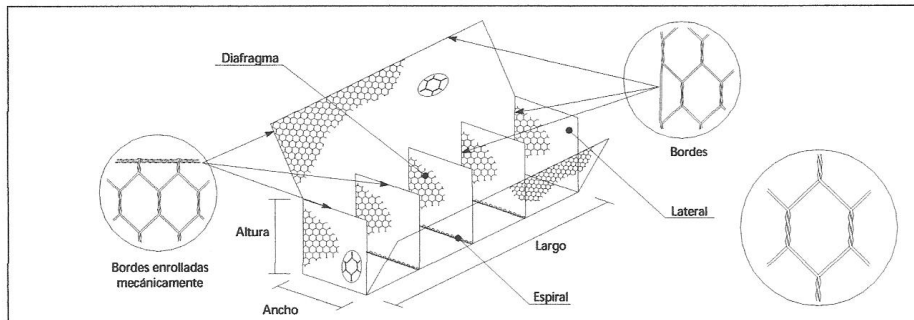


# ANEXO 14: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA EL DISEÑO DE MUROS GAVIONADOS.

## Gavión Caja

## Especificaciones Técnicas

en malla hexagonal de doble torsión tipo 10x12  $\phi$  2,4 mm plastificado



### 1) ALAMBRE

Todo el alambre utilizado en la fabricación del gavión caja y en las operaciones de amarre y atirantamiento durante su construcción, debe ser de acero dulce recoado de acuerdo con las especificaciones NBR 8964, ASTM A641M-98 y NB 709-00, esto es, el alambre deberá tener una tensión de ruptura media de 38 a 48 kg/mm<sup>2</sup>.

### REVESTIMIENTO DEL ALAMBRE

Todo el alambre utilizado en la fabricación del gavión caja y en las operaciones de amarre y atirantamiento durante su construcción, debe ser revestido con aleación zinc-5% aluminio (Zn 5 Al MM) de acuerdo con las especificaciones de la ASTM A856M-98, clase 80, esto es: la cantidad mínima de revestimiento Galfan® en la superficie de los alambres es de 244 g/m<sup>2</sup>

El revestimiento de zinc debe adherir al alambre de tal forma que, después del alambre haber sido enrollado 15 veces por minuto alrededor de un mandril, cuyo diámetro sea igual a 3 veces el del alambre, no pueda ser escamado o quebrado o removido con el pasar del dedo, de acuerdo con la especificación de la ASTM A641M-98.

Los ensayos deben ser hechos antes de la fabricación de la red.

### ELONGACIÓN DEL ALAMBRE

La elongación no deberá ser menor que 12%, de acuerdo con las especificaciones de la NBR 8964 y de la ASTM A641M-98.

Los ensayos deben ser hechos antes de la fabricación de la red, sobre una muestra de alambre de 30 cm de largo.

### 2) RED

La red debe ser en malla hexagonal de doble torsión, obtenida entrelazando los alambres por tres veces media vuelta, de acuerdo con las especificaciones de la NBR 10514, NB 710-00 y NP 17 055 00.

Las dimensiones de la red serán del tipo 10x12.

El diámetro del alambre utilizado en la fabricación de la red debe ser de 2,4mm y de 3,0 mm para los bordes.

### BORDES ENROLLADOS MECÁNICAMENTE

Todos los bordes libres del gavión caja, incluso el lado superior de las laterales y de los diafragmas, deben ser enrollados mecánicamente en vuelta de un alambre de diámetro mayor, en este caso de 3,0 mm, para que la red no se desarme y adquiera mayor resistencia.

La conexión entre el alambre del borde enrollado mecánicamente y la red debe tener una resistencia mínima de 9,9 kN/m.

### 3) CARACTERÍSTICAS DEL GAVIÓN CAJA

Cada gavión caja con largo mayor que 1,50 m debe ser dividido en celdas por diafragmas colocados a cada metro.

El lado inferior de las laterales debe ser fijado al paño de base, durante la fabricación, a través del entrelazamiento de sus puntas libres alrededor del alambre de borde.

El lado inferior de los diafragmas debe ser cosido al paño de base, durante la fabricación, con una espiral de alambre de diámetro de 2,2 mm.

Dimensiones estándar:  
Largo 1,50 m 2,00 m 3,00 m 4,00 m  
Ancho 1,00 m  
Altura 0,50 m 1,00 m

### 4) AMARRE Y ATRANTAMIENTO

Con los gaviones caja debe ser provista una cantidad suficiente de alambre para amarre y atirantamiento.

Este alambre debe tener diámetro 2,2 mm y su cantidad, en relación al peso de los gaviones caja provistos, es de 8% para los de 1,00 m de altura y de 6% para los de 0,50 m.

### 5) TOLERANCIAS

Se admite una tolerancia en el diámetro del alambre zincado de  $\pm$  2,5%.

Se admite una tolerancia en el largo del gavión caja de  $\pm$  3% y, en la altura y ancho, de  $\pm$  5%.

### 6) RECUBRIMIENTO PLÁSTICO

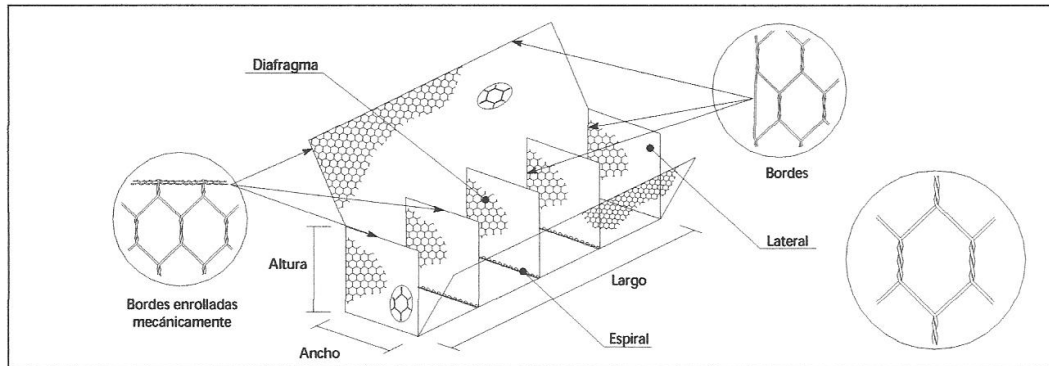
El alambre zincado deberá ser recubierto con una camada de compuesto termoplástico a base de PVC, con características iniciales de acuerdo con las especificaciones de la NBR 10514 y de la ASTM 975, esto es:

Espesor mínimo: 0,40 mm;  
Masa específica: 1,30 a 1,35 kg/dm<sup>3</sup>;  
Dureza: 50 a 60 Shore D;  
Resistencia a tracción: mayor que 210 kg/cm<sup>2</sup>;  
Elongación de ruptura: mayor que 250%;  
Temp. de fragilidad: menor que -9°C.

# Gavión Caja

## Especificaciones Técnicas

en malla hexagonal de doble torsión tipo 8x10  $\phi$  2,7 mm Galfan®



### 1) ALAMBRE

Todo el alambre utilizado en la fabricación del gavión caja y en las operaciones de amarre y atirantamiento durante su construcción, debe ser de acero dulce recocido de acuerdo con las especificaciones NBR 8964, ASTM A641M-98 y NB 709-00, esto es, el alambre deberá tener una tensión de ruptura media de 38 a 48 kg/mm<sup>2</sup>.

#### REVESTIMIENTO DEL ALAMBRE

Todo el alambre utilizado en la fabricación del gavión caja y en las operaciones de amarre y atirantamiento durante su construcción, debe ser revestido con aleación zinc-5% aluminio (Zn 5 Al MM) de acuerdo con las especificaciones de la ASTM A856M-98, clase 80, esto es: la cantidad mínima de revestimiento Galfan® en la superficie de los alambres es de 244 g/m<sup>2</sup>.

El revestimiento de zinc debe adherir al alambre de tal forma que, después del alambre haber sido enrollado 15 veces por minuto alrededor de un mandril, cuyo diámetro sea igual a 3 veces el del alambre, no pueda ser escamado o quebrado o removido con el pasar del dedo, de acuerdo con la especificación de la ASTM A641M-98.

Los ensayos deben ser hechos antes de la fabricación de la red.

#### ELONGACIÓN DEL ALAMBRE

La elongación no deberá ser menor que 12%, de acuerdo con las especificaciones de la NBR 8964 y de la ASTM A641M-98.

Los ensayos deben ser hechos antes de la fabricación de la red, sobre una muestra de alambre de 30 cm de largo.

### 2) RED

La red debe ser en malla hexagonal de doble torsión, obtenida entrelazando los alambres por tres veces media vuelta, de acuerdo con las especificaciones de la NBR 10514, NB 710-00 y NP 17 055 00.

Las dimensiones de la red serán del tipo 8x10.

El diámetro del alambre utilizado en la fabricación de la red debe ser de 2,7mm y de 3,4 mm para los bordes.

#### BORDES ENROLLADOS MECÁNICAMENTE

Todos los bordes libres del gavión caja, incluso el lado superior de las laterales y de los diafragmas, deben ser enrollados mecánicamente en vuelta de un alambre de diámetro mayor, en este caso de 3,4 mm, para que la red no se desarme y adquiera mayor resistencia.

La conexión entre el alambre del borde enrollado mecánicamente y la red debe tener una resistencia mínima de 17,5 kN/m de acuerdo con las especificaciones de la ASTM 975.

### 3) CARACTERÍSTICAS DEL GAVIÓN CAJA

Cada gavión caja con largo mayor que 1,50 m debe ser dividido en celdas por diafragmas colocados a cada metro.

El lado inferior de las laterales debe ser fijado al paño de base, durante la fabricación, a través del entrelazamiento de sus puntas libres alrededor del alambre de borde.

El lado inferior de los diafragmas debe ser cosido al paño de base, durante la fabricación, con una espiral de alambre de diámetro de 2,2 mm.

#### Dimensiones estándar:

Largo 1,50 m 2,00 m 3,00 m 4,00 m  
Ancho 1,00 m  
Alto 0,50 m 1,00 m

### 4) AMARRE Y ATIRANTAMIENTO

Con los gaviones caja debe ser provista una cantidad suficiente de alambre para amarre y atirantamiento.

Este alambre debe tener diámetro 2,2 mm y su cantidad, en relación al peso de los gaviones caja provistos, es de 8% para los de 1,00 m de altura y de 6% para los de 0,50 m.

### 5) TOLERANCIAS

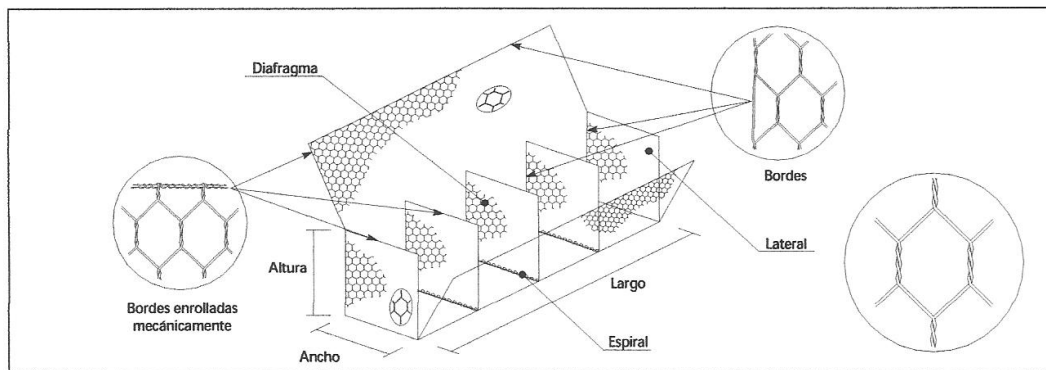
Se admite una tolerancia en el diámetro del alambre zincado de  $\pm$  2,5%.

Se admite una tolerancia en el largo del gavión caja de  $\pm$  3% y, en la altura y ancho, de  $\pm$  5%.

# Gavión Caja

## Especificaciones Técnicas

en malla hexagonal de doble torsión tipo 8x10  $\phi$  2,4 mm plastificado



### 1) ALAMBRE

Todo el alambre utilizado en la fabricación del gavión caja y en las operaciones de amarre y atirantamiento durante su construcción, debe ser de acero dulce recocido de acuerdo con las especificaciones NBR 8964, ASTM A641M-98 y NB 709-00, esto es, el alambre deberá tener una tensión de ruptura media de 38 a 48 kg/mm<sup>2</sup>.

### REVESTIMIENTO DEL ALAMBRE

Todo el alambre utilizado en la fabricación del gavión caja y en las operaciones de amarre y atirantamiento durante su construcción, debe ser revestido con aleación zinc-5% aluminio (Zn 5 Al MM) de acuerdo con las especificaciones de la ASTM A856M-98, clase 80, esto es: la cantidad mínima de revestimiento Galfan® en la superficie de los alambres es de 244 g/m<sup>2</sup>.

El revestimiento de zinc debe adherir al alambre de tal forma que, después del alambre haber sido enrollado 15 veces por minuto alrededor de un mandril, cuyo diámetro sea igual a 3 veces el del alambre, no pueda ser escamado o quebrado o removido con el pasar del dedo, de acuerdo con la especificación de la ASTM A641M-98.

Los ensayos deben ser hechos antes de la fabricación de la red.

### ELONGACIÓN DEL ALAMBRE

La elongación no deberá ser menor que 12%, de acuerdo con las especificaciones de la NBR 8964 y de la ASTM A641M-98.

Los ensayos deben ser hechos antes de la fabricación de la red, sobre una muestra de alambre de 30 cm de largo.

### 2) RED

La red debe ser en malla hexagonal de doble torsión, obtenida entrelazando los alambres por tres veces media vuelta, de acuerdo con las especificaciones de la NBR 10514, NB 710-00 y NP 17 055 00.

Las dimensiones de la red serán del tipo 8x10.

El diámetro del alambre utilizado en la fabricación de la red debe ser de 2,4mm y de 3,0 mm para los bordes.

### BORDES ENROLLADOS MECÁNICAMENTE

Todos los bordes libres del gavión caja, incluso el lado superior de las laterales y de los diafragmas, deben ser enrollados mecánicamente en vuelta de un alambre de diámetro mayor, en este caso de 3,0 mm, para que la red no se desarme y adquiera mayor resistencia.

La conexión entre el alambre del borde enrollado mecánicamente y la red debe tener una resistencia mínima de 11,7 kN/m.

### 3) CARACTERÍSTICAS DEL GAVIÓN CAJA

Cada gavión caja con largo mayor que 1,50 m debe ser dividido en celdas por diafragmas colocados a cada metro.

El lado inferior de las laterales debe ser fijado al paño de base, durante la fabricación, a través del entrelazamiento de sus puntas libres alrededor del alambre de borde.

El lado inferior de los diafragmas debe ser cosido al paño de base, durante la fabricación, con una espiral de alambre de diámetro de 2,2 mm.

Dimensiones estándar:  
Largo 1,50 m 2,00 m 3,00 m 4,00 m  
Ancho 1,00 m  
Altura 0,50 m 1,00 m

### 4) AMARRE Y ATIRANTAMIENTO

Con los gaviónes caja debe ser provista una cantidad suficiente de alambre para amarre y atirantamiento.

Este alambre debe tener diámetro 2,2 mm y su cantidad, en relación al peso de los gaviónes caja provistos, es de 8% para los de 1,00 m de altura y de 6% para los de 0,50 m.

### 5) TOLERANCIAS

Se admite una tolerancia en el diámetro del alambre zincado de  $\pm$  2,5%.

Se admite una tolerancia en el largo del gavión caja de  $\pm$  3% y, en la altura y ancho, de  $\pm$  5%.

### 6) RECUBRIMIENTO PLÁSTICO

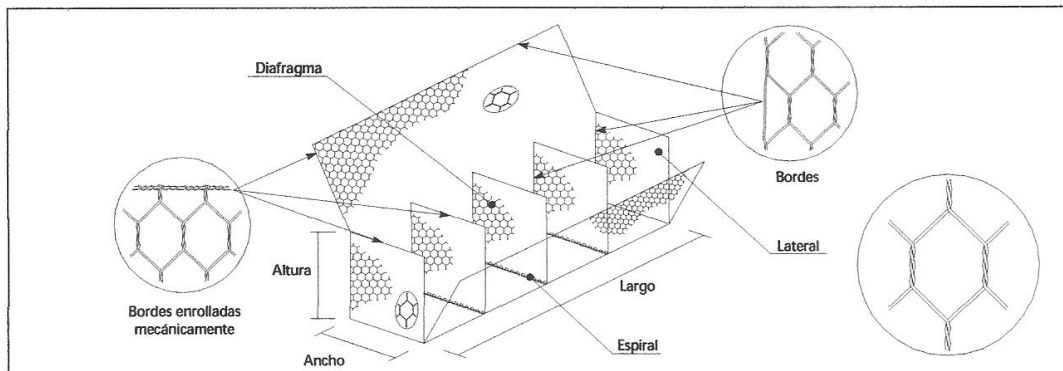
El alambre zincado deberá ser recubierto con una camada de compuesto termoplástico a base de PVC, con características iniciales de acuerdo con las especificaciones de la NBR 10514 y de la ASTM 975, esto es:

Espesor mínimo: 0,40 mm;  
Masa específica: 1,30 a 1,35 kg/dm<sup>3</sup>;  
Dureza: 50 a 60 Shore D;  
Resistencia a tracción: mayor que 210 kg/cm<sup>2</sup>;  
Elongación de ruptura: mayor que 250%;  
Temp. de fragilidad: menor que -9°C.

# Gavión Caja

## Especificaciones Técnicas

en malla hexagonal de doble torsión tipo 6X8  $\phi$  2,4 mm Galfan®



### 1) ALAMBRE

Todo el alambre utilizado en la fabricación del gavión caja y en las operaciones de amarre y atirantamiento durante su construcción, debe ser de acero dulce recocido de acuerdo con las especificaciones NBR 8964, ASTM A641M-98 y NB 709-00, esto es, el alambre deberá tener una tensión de ruptura media de 38 a 48 kg/mm<sup>2</sup>.

### REVESTIMIENTO DEL ALAMBRE

Todo el alambre utilizado en la fabricación del gavión caja y en las operaciones de amarre y atirantamiento durante su construcción, debe ser revestido con aleación zinc-5% aluminio (Zn 5 Al MM) de acuerdo con las especificaciones de la ASTM A856M-98, clase 80, esto es: la cantidad mínima de revestimiento Galfan® en la superficie de los alambres es de 244 g/m<sup>2</sup>.

El revestimiento de zinc debe adherir al alambre de tal forma que, después del alambre haber sido enrollado 15 veces por minuto alrededor de un mandril, cuyo diámetro sea igual a 3 veces el del alambre, no pueda ser escamado o quebrado o removido con el pasar del dedo, de acuerdo con la especificación de la ASTM A641M-98.

Los ensayos deben ser hechos antes de la fabricación de la red.

### ELONGACIÓN DEL ALAMBRE

La elongación no deberá ser menor que 12%, de acuerdo con las especificaciones de la NBR 8964 y de la ASTM A641M-98.

Los ensayos deben ser hechos antes de la fabricación de la red, sobre una muestra de alambre de 30 cm de largo.

### 2) RED

La red debe ser en malla hexagonal de doble torsión, obtenida entrelazando los alambres por tres veces media vuelta, de acuerdo con las especificaciones de la NBR 10514, NB 710-00 y NP 17 055 00.

Las dimensiones de la red serán del tipo 6X8.

El diámetro del alambre utilizado en la fabricación de la red debe ser de 2,4mm y de 3,0 mm para los bordes.

### BORDES ENROLLADOS MECÁNICAMENTE

Todos los bordes libres del gavión caja, incluso el lado superior de las laterales y de los diafragmas, deben ser enrollados mecánicamente en vuelta de un alambre de diámetro mayor, en este caso de 3,0 mm, para que la red no se desarme y adquiera mayor resistencia.

La conexión entre el alambre del borde enrollado mecánicamente y la red debe tener una resistencia mínima de 15,3 kN/m.

### 3) CARACTERÍSTICAS DEL GAVIÓN CAJA

Cada gavión caja con largo mayor que 1,50 m debe ser dividido en celdas por diafragmas colocados a cada metro.

El lado inferior de las laterales y de los diafragmas debe ser cosido al paño de base, durante la fabricación, con una espiral de alambre de diámetro de 2,2 mm.

### Dimensiones estándar:

Largo	1,50 m	2,00 m	3,00 m	4,00 m
Ancho	1,00 m			
Altura	0,50 m	1,00 m		

### 4) AMARRE Y ATRANTAMIENTO

Con los gaviones caja debe ser provista una cantidad suficiente de alambre para amarre y atirantamiento.

Este alambre debe tener diámetro 2,2 mm y su cantidad, en relación al peso de los gaviones caja provistos, es de 8% para los de 1,00 m de altura y de 6% para los de 0,50 m.

### 5) TOLERANCIAS

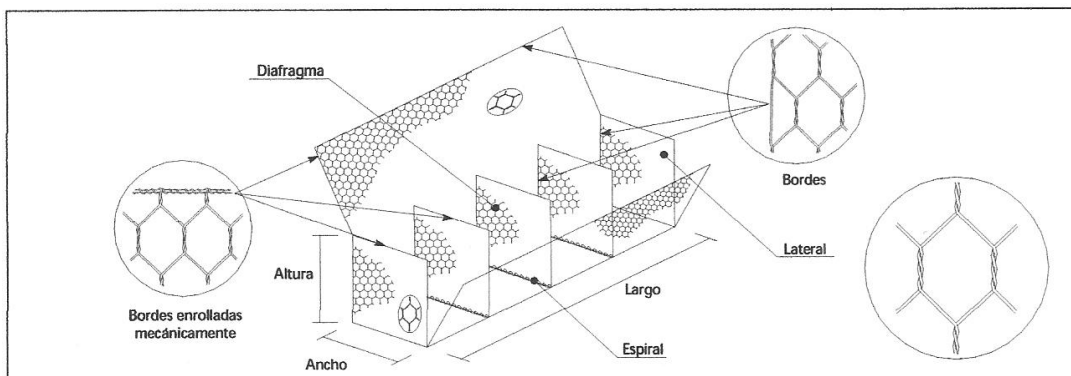
Se admite una tolerancia en el diámetro del alambre zincado de  $\pm$  2,5%.

Se admite una tolerancia en el largo del gavión caja de  $\pm$  3% y, en la altura y ancho, de  $\pm$  5%.

# Gavión Caja

## Especificaciones Técnicas

en malla hexagonal de doble torsión tipo 10x12  $\phi$  2,7 mm Galfan®



### 1) ALAMBRE

Todo el alambre utilizado en la fabricación del gavión caja y en las operaciones de amarre y atirantamiento durante su construcción, debe ser de acero dulce recocido de acuerdo con las especificaciones NBR 8964, ASTM A641M-98 y NB 709-00, esto es, el alambre deberá tener una tensión de ruptura media de 38 a 48 kg/mm<sup>2</sup>.

### REVESTIMIENTO DEL ALAMBRE

Todo el alambre utilizado en la fabricación del gavión caja y en las operaciones de amarre y atirantamiento durante su construcción, debe ser revestido con aleación zinc-5% aluminio (Zn 5 Al MM) de acuerdo con las especificaciones de la ASTM A856M-98, clase 80, esto es: la cantidad mínima de revestimiento Galfan® en la superficie de los alambres es de 244 g/m<sup>2</sup>.

El revestimiento de zinc debe adherir al alambre de tal forma que, después del alambre haber sido enrollado 15 veces por minuto alrededor de un mandril, cuyo diámetro sea igual a 3 veces el del alambre, no pueda ser escamado o quebrado o removido con el pasar del dedo, de acuerdo con la especificación de la ASTM A641M-98.

Los ensayos deben ser hechos antes de la fabricación de la red.

### ELONGACIÓN DEL ALAMBRE

La elongación no deberá ser menor que 12%, de acuerdo con las especificaciones de la NBR 8964 y de la ASTM A641M-98.

Los ensayos deben ser hechos antes de la fabricación de la red, sobre una muestra de alambre de 30 cm de largo.

### 2) RED

La red debe ser en malla hexagonal de doble torsión, obtenida entrelazando los alambres por tres veces media vuelta, de acuerdo con las especificaciones de la NBR 10514, NB 710-00 y NP 17 055 00.

Las dimensiones de la red serán del tipo 10x12.

El diámetro del alambre utilizado en la fabricación de la red debe ser de 2,7mm y de 3,4 mm para los bordes.

### BORDES ENROLLADOS MECÁNICAMENTE

Todos los bordes libres del gavión caja, incluso el lado superior de las laterales y de los diafragmas, deben ser enrollados mecánicamente en vuelta de un alambre de diámetro mayor, en este caso de 3,4 mm, para que la red no se desarme y adquiera mayor resistencia.

La conexión entre el alambre del borde enrollado mecánicamente y la red debe tener una resistencia mínima de 14,8 kN/m.

### 3) CARACTERÍSTICAS DEL GAVIÓN CAJA

Cada gavión caja con largo mayor que 1,50 m debe ser dividido en celdas por diafragmas colocados a cada metro.

El lado inferior de las laterales debe ser fijado al paño de base, durante la fabricación, a través del entrelazamiento de sus puntas libres alrededor del alambre de borde.

El lado inferior de los diafragmas debe ser cosido al paño de base, durante la fabricación, con una espiral de alambre de diámetro de 2,2 mm.

Dimensiones estándar:  
Largo 1,50 m 2,00 m 3,00 m 4,00 m  
Ancho 1,00 m  
Altura 0,50 m 1,00 m

### 4) AMARRE Y ATIRANTAMIENTO

Con los gaviones caja debe ser provista una cantidad suficiente de alambre para amarre y atirantamiento.

Este alambre debe tener diámetro 2,2 mm y su cantidad, en relación al peso de los gaviones caja provistos, es de 8% para los de 1,00 m de altura y de 6% para los de 0,50 m.

### 5) TOLERANCIAS

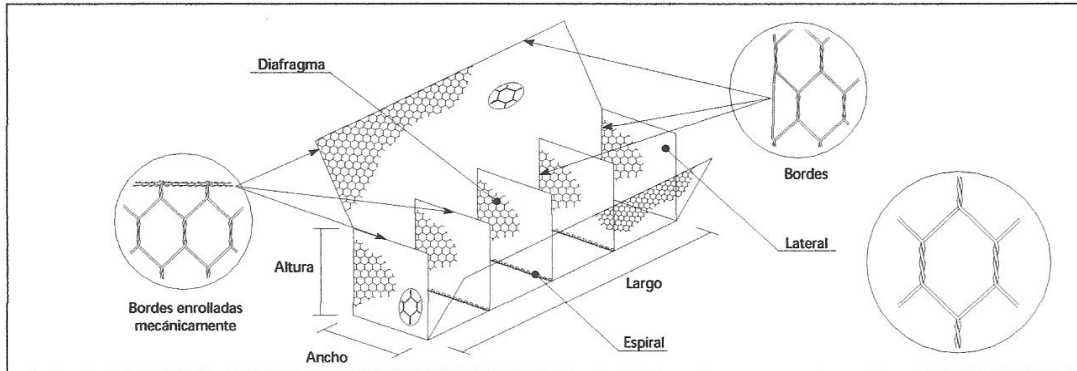
Se admite una tolerancia en el diámetro del alambre zincado de  $\pm 2,5\%$ .

Se admite una tolerancia en el largo del gavión caja de  $\pm 3\%$  y, en la altura y ancho, de  $\pm 5\%$ .

# Gavión Caja

## Especificaciones Técnicas

en malla hexagonal de doble torsión tipo 6X8  $\phi$  2,2 mm plastificado



### 1) ALAMBRE

Todo el alambre utilizado en la fabricación del gavión caja y en las operaciones de amarre y atirantamiento durante su construcción, debe ser de acero dulce recocido de acuerdo con las especificaciones NBR 8964, ASTM A641M-98 y NB 709-00, esto es, el alambre deberá tener una tensión de ruptura media de 38 a 48 kg/mm<sup>2</sup>.

### REVESTIMIENTO DEL ALAMBRE

Todo el alambre utilizado en la fabricación del gavión caja y en las operaciones de amarre y atirantamiento durante su construcción, debe ser revestido con aleación zinc-5% aluminio (Zn 5 Al MM) de acuerdo con las especificaciones de la ASTM A856M-98, clase 80, esto es: la cantidad mínima de revestimiento Galfan® en la superficie de los alambres es de 244 g/m<sup>2</sup>.

El revestimiento de zinc debe adherir al alambre de tal forma que, después del alambre haber sido enrollado 15 veces por minuto alrededor de un mandril, cuyo diámetro sea igual a 3 veces el del alambre, no pueda ser escamado o quebrado o removido con el pasar del dedo, de acuerdo con la especificación de la ASTM A641M-98.

Los ensayos deben ser hechos antes de la fabricación de la red.

### ELONGACIÓN DEL ALAMBRE

La elongación no deberá ser menor que 12%, de acuerdo con las especificaciones de la NBR 8964 y de la ASTM A641M-98.

Los ensayos deben ser hechos antes de la fabricación de la red, sobre una muestra de alambre de 30 cm de largo.

### 2) RED

La red debe ser en malla hexagonal de doble torsión, obtenida entrelazando los alambres por tres veces media vuelta, de acuerdo con las especificaciones de la NBR 10514, NB 710-00 y NP 17 055 00.

Las dimensiones de la red serán del tipo 6X8.

El diámetro del alambre utilizado en la fabricación de la red debe ser de 2,2mm y de 2,7 mm para los bordes.

### BORDES ENROLLADOS MECÁNICAMENTE

Todos los bordes libres del gavión caja, incluso el lado superior de las laterales y de los diafragmas, deben ser enrollados mecánicamente en vuelta de un alambre de diámetro mayor, en este caso de 2,7 mm, para que la red no se desarme y adquiera mayor resistencia.

La conexión entre el alambre del borde enrollado mecánicamente y la red debe tener una resistencia mínima de 10,2 kN/m de acuerdo con las especificaciones de la ASTM 975.

### 3) CARACTERÍSTICAS DEL GAVIÓN CAJA

Cada gavión caja con largo mayor que 1,50 m debe ser dividido en celdas por diafragmas colocados a cada metro.

El lado inferior de las laterales y de los diafragmas debe ser cosido al paño de base, durante la fabricación, con una espiral de alambre de diámetro de 2,2 mm.

### Dimensiones estándar:

Largo	1,50 m	2,00 m	3,00 m	4,00 m
Ancho	1,00 m			
Altura	0,50 m	1,00 m		

### 4) AMARRE Y ATIRANTAMIENTO

Con los gaviones caja debe ser provista una cantidad suficiente de alambre para amarre y atirantamiento.

Este alambre debe tener diámetro 2,2 mm y su cantidad, en relación al peso de los gaviones caja provistos, es de 8% para los de 1,00 m de altura y de 6% para los de 0,50 m.

### 5) TOLERANCIAS

Se admite una tolerancia en el diámetro del alambre zincado de  $\pm$  2,5%.

Se admite una tolerancia en el largo del gavión caja de  $\pm$  3% y, en la altura y ancho, de  $\pm$  5%.

### 6) RECUBRIMIENTO PLÁSTICO

El alambre zincado deberá ser recubierto con una camada de compuesto termoplástico a base de PVC, con características iniciales de acuerdo con las especificaciones de la NBR 10514 y de la ASTM 975, esto es:

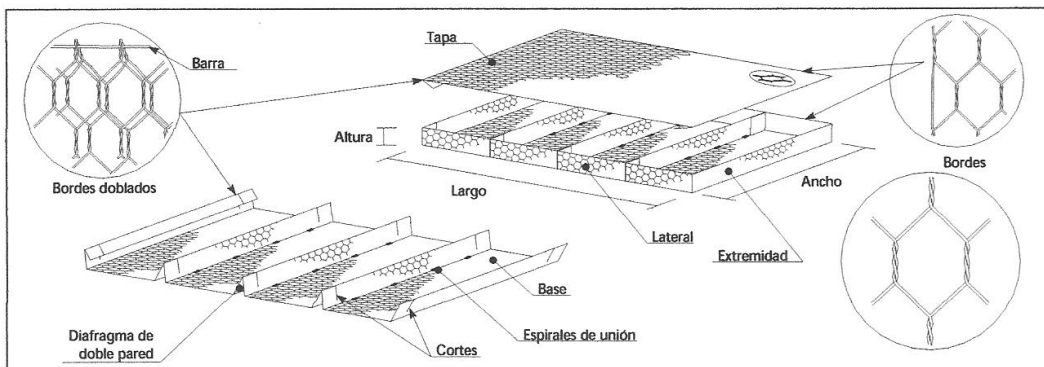
Espesor mínimo: 0,40 mm;  
Masa específica: 1,30 a 1,35 kg/dm<sup>3</sup>;  
Dureza: 50 a 60 Shore D;  
Resistencia a tracción: mayor que 210 kg/cm<sup>2</sup>;  
Elongación de ruptura: mayor que 250%;  
Temp. de fragilidad: menor que -9°C.



# Colchón Reno

## Especificaciones Técnicas

en malla hexagonal de doble torsión tipo 6x8  $\phi$  2,0 mm plastificado



### 1) ALAMBRE

Todo el alambre utilizado en la fabricación del colchón Reno y en las operaciones de amarre y atirantamiento durante su construcción, debe ser de acero dulce recocido de acuerdo con las especificaciones NBR 8964, ASTM A641M-98 y NB 709-00, esto es, el alambre deberá tener una tensión de ruptura media de 38 a 48 kg/mm<sup>2</sup>.

### REVESTIMIENTO DEL ALAMBRE

Todo el alambre utilizado en la fabricación del colchón Reno y en las operaciones de amarre y atirantamiento durante su construcción, debe ser revestido con aleación zinc-5% aluminio (Zn 5 Al MM) de acuerdo con las especificaciones de la ASTM 856-98, clase 80, esto es: la cantidad mínima de revestimiento Galvan® en la superficie de los alambres es de 244g/m<sup>2</sup>.

El revestimiento de zinc debe adherir al alambre de tal forma que, después del alambre haber sido enrollado 15 veces por alrededor de un mandril, cuyo diámetro sea igual a 3 veces el del alambre, no pueda ser escamado o quebrado o removido con el pasar del dedo, de acuerdo con la especificación de la ASTM A641M-98.

Los ensayos deben ser hechos antes de la fabricación de la red.

### ELONGACIÓN DEL ALAMBRE

La elongación no deberá ser menor que 12%, de acuerdo con las especificaciones de la NBR 8964 y de la ASTM A641M-98

Los ensayos deben ser hechos antes de la fabricación de la red, sobre una muestra de alambre de 30 cm de largo.

### 2) RED

La red debe ser en malla hexagonal de doble torsión, obtenida entrelazando los alambres por tres veces media vuelta, de acuerdo con las especificaciones de la NBR 10514, NB 710-00 y NP 17055 00.

Las dimensiones de la malla serán del tipo 6x8.

El diámetro del alambre utilizado en la fabricación de la malla debe ser de 2,0 mm y de 2,4 mm para los bordes.

### 3) CARACTERÍSTICAS DEL COLCHÓN RENO

Base, paredes laterales, diafragmas y paredes de las extremidades del colchón Reno son formadas a partir de un único paño de red.

Cada diafragma de pared doble, formado a partir de dobladuras en el paño de base, debe presentar, en su parte inferior, cuatro espirales de unión en alambre de diámetro 2,0 mm.

Los diafragmas de pared doble deben estar colocados a cada metro del largo del colchón Reno.

Para facilitar el montaje del colchón Reno, la base debe ser cortada, durante el proceso de fabricación, en los diafragmas y en sus laterales.

La tapa también es fabricada en un único paño de red.

Para que las mallas libres de las extremidades de la base y de la tapa del colchón Reno adquieran mayor resistencia, deberá ser insertado un alambre de diámetro 3,0 mm entre todas las torsiones de las terceras mallas a partir de los bordes libres. Las mallas de las extremidades que sobren deben ser dobladas, durante la fabricación, en vuelta de este alambre.

### Dimensiones estándar:

Largo	3,00 m	4,00 m	5,00 m	6,00 m
Ancho	2,00 m			
Altura	0,17 m	0,23 m	0,30 m	

### 4) AMARRE Y ATRANTAMIENTO

Con los colchones Reno debe ser provista una cantidad suficiente de alambre para amarre y atirantamiento.

Este alambre debe tener diámetro 2,2 mm y su cantidad, en relación al peso de los colchones Reno provistos, es de 5%.

### 5) TOLERANCIAS

Se admite una tolerancia en el diámetro del alambre zincado de  $\pm$  2,5%.

Se admite una tolerancia en el largo y en el ancho del colchón Reno de  $\pm$  3%, y en la altura, de  $\pm$  2,5 cm.

### 6) RECUBRIMIENTO PLÁSTICO

El alambre zincado deberá ser recubierto con una camada de compuesto termoplástico a base de PVC, con características iniciales de acuerdo con las especificaciones de la NBR 10514 y de la ASTM 975, esto es:

Espesor mínimo: 0,40 mm;  
Masa específica: 1,30 a 1,35 kg/dm<sup>3</sup>;  
Dureza: 50 a 60 Shore D;  
Resistencia a tracción: mayor que 210 kg/cm<sup>2</sup>;  
Elongación de ruptura: mayor que 250%;  
Temp. de fragilidad: menor que -9°C.

## FUENTES DE CONSULTA.

### BIBLIOGRAFIA.

◆ **Hidrología Aplicada.**

Ven Te Chow, David R. Maidment y Larry W. Mays

Primera Edición, Bogotá 1988

Mc Graw-Hill.

◆ **Reducción de la vulnerabilidad de la población de la subcuenca El Transito  
cuenca baja del río Grande de San Miguel.**

Willian E. Marroquín

Arturo Escalante

San Salvador, El Salvador, 2002

UCA, editores

◆ **Programa de saneamiento ambiental integral para la comunidad El  
Borbollón y la laguna El Jocotal**

Willian E. Marroquín

Arturo Escalante

Lidia Salamanca

San Salvador, El Salvador, 2001

UCA, editores.

◆ **Principios de Ingeniería de Cimentaciones.**

Braja M. Das.

Cuarta Edición, México, D.F, Thomson Editores.

◆ **Historia Natural y Ecológica de El Salvador.**

Ministerio de Educación de la República de El Salvador, San Salvador, 1994,  
Tomo 1

◆ **Apuntes teóricos de la Cátedra Hidrología.**

Universidad de El Salvador, Facultad Multidisciplinaria Oriental.

◆ **Centro de Protección para Desastres (CEPRODE).**

Romano, L.E.

San Salvador, El Salvador.

**TESIS.**

◆ **Guía Básica para realizar Estudios Hidrológicos en El Salvador.  
Universidad de El Salvador. 1997**

Sandra Elizabeth Hernández Díaz

Marisol Svetlana Montoya Alfaro

Oscar Adalberto Rodríguez López

Universidad De El Salvador, 1995

◆ **Propuesta de diseño de obras de mitigación de riesgos causadas por la  
inundación del Río Grande de San Miguel en el sector suburbano.**

Balmore Antonio Contreras Herrera.

Jorge Valentín Montepeque Parada.

Universidad de el Salvador, San Miguel, Agosto de 2007.

◆ **Identificación y Evaluación de Escorrentías Superficiales que generan Sectores de Inundación de alto riesgo en la Zona Urbana de la Ciudad de San Miguel.**

Leivi Margarita Contreras López.

Ronal Antonio Villega Villalobos.

Universidad de El salvador. San Miguel, Junio del 2005.

◆ **Estudio Hidro-Ambiental de las Zonas de Recarga Hídrica de la Ciudad de San Miguel.**

Yolanda Orit Chévez Rivera.

Rubén Antonio Lizama Argueta.

Miguel Angel Yanes Cruz.

Universidad de El salvador. San Miguel, Junio del 2005.

◆ **Propuesta para recargar artificialmente el acuífero San Miguel y mitigar las áreas propensas a inundaciones en la Ciudad de San Miguel.**

Luis Angel Chevez Joya.

Carlos Arturo Maldonado Obando.

José Atilio Vásquez Hernández.

Universidad de El Salvador, San Miguel, Julio de 2007.

◆ **Vivienda sobre plataforma, una solución al problema de inundación de la Laguna El Jocotal Cantón El Borbollón, El Transito.**

José Andrés Cruz Lazo.

Roberto Efraín Melgares Salmerón.

Armando Mauricio Molina.

Universidad de El Salvador, San Salvador, Octubre del 2000.

**RECURSOS ELECTRONICOS.**

Ⓢ Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

[www.marn.gob.sv](http://www.marn.gob.sv)

Ⓢ Servicio Nacional de Estudios Territoriales.

[www.snet.gob.sv](http://www.snet.gob.sv)

Ⓢ Programa Salvadoreño de Investigación sobre Desarrollo y Medio Ambiente (PRISMA)

[www.prisma.org.sv](http://www.prisma.org.sv)

**SOFTWARE.**

Ⓢ **Microsoft Encarta 2008.**

Microsoft Corporation.

Ⓢ **ArcView GIS 3.2**

Environmental Systems Research Institute, Inc. (ESRI), California Corporation, US.

Ⓢ **ArcGIS 9.2**

Environmental Systems Research Institute, Inc. (ESRI), California Corporation, US.