

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



**ESTUDIO HIDROLÓGICO DE LA SUBCUENCA DE LA LAGUNA DE OMEGA
Y ZONIFICACIÓN DE ÁREAS VULNERABLES A INUNDACIONES EN LOS
ALREDEDORES DE LA LAGUNA.**

PRESENTAN

DÍAZ ZELAYA, DAVID OTONIEL

PAIZ DÍAZ, VELIS ALIRIO

SORTO, FÁTIMA ELIZABETH

PARA OPTAR AL TITULO DE:

INGENIERO CIVIL

DOCENTE DIRECTOR

ING. GUILLERMO MOYA TURCIOS

CIUDAD UNIVERSITARIA

NOVIEMBRE DE 2009

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



**ESTUDIO HIDROLÓGICO DE LA SUBCUENCA DE LA LAGUNA DE OMEGA
Y ZONIFICACIÓN DE ÁREAS VULNERABLES A INUNDACIONES EN LOS
ALREDEDORES DE LA LAGUNA.**

PRESENTAN

DÍAZ ZELAYA, DAVID OTONIEL
PAIZ DÍAZ, VELIS ALIRIO
SORTO, FÁTIMA ELIZABETH

**PARA OPTAR AL TÍTULO DE:
INGENIERO CIVIL**

TRABAJO DE GRADUACIÓN APROBADO POR:

ING. MILAGRO DE MARÍA ROMERO BARDALES
COORDINADORA DE TRABAJOS DE GRADUACIÓN

ING. GUILLERMO MOYA TURCIOS
DOCENTE DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADUACIÓN

CIUDAD UNIVERSITARIA

NOVIEMBRE DE 2009

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
AUTORIDADES UNIVERSITARIAS**

RECTOR:

Msc. Rufino Antonio Quezada

VICERECTOR ACADÉMICO:

Msc. Miguel Ángel Pérez Ramos

SECRETARIO GENERAL:

Lic. Douglas Vladimir Alfaro Chávez

FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL

DECANO:

Dra. Ana Judith Guatemala

SECRETARIO:

Ing. Jorge Alberto Rugamas Ramírez

JEFE DEL DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA:

Ing. Uvin Edgardo Zúniga Cruz

TRABAJO DE GRADUACIÓN APROBADO POR:

ING. GUILLERMO MOYA TURCIOS
DOCENTE DIRECTOR

ING. MILAGRO DE MARÍA ROMERO BARDALES
COORDINADOR DE TRABAJOS DE GRADUACION

AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer de manera especial y sincera a:

LA UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR: Por habernos permitido formarnos como profesionales de la ingeniería civil y así; poder servirle a nuestro país El Salvador.

A ING. GUILLERMO MOYA TURCIOS: Por ser nuestro docente director, por sus buenas observaciones y sugerencias desde el inicio de este trabajo y acompañarnos hasta la finalización del mismo, confiando siempre en nuestra capacidad.

A ING. JACQUELINE CATIVO: Hidróloga de la Universidad Centroamericana José Simeón Cañas, UCA. Por brindarnos sus conocimientos, su valiosa orientación y por su sincera disposición de ayudarnos en nuestro trabajo.

A ING. ROBERTO CERON: Hidrólogo del Servicio Nacional de Estudios Territoriales, SNET. Por su valiosa orientación, por brindarnos sus conocimientos y su experiencia profesional en la elaboración de esta investigación.

De manera especial, también agradecemos a las siguientes instituciones que nos proporcionaron apoyo y valiosa información; sin la cual no hubiese sido posible realizar la presente investigación.

SNET: Servicio Nacional de Estudios Territoriales.

MARN: Ministerio de Medio Ambiente y de Recursos Naturales.

CNR: Centro Nacional de Registros.

MAG: Ministerio de Agricultura y Ganadería.

Alcaldía El Carmen

David Díaz, Fátima Sorto, Alirio Paiz

Dedicado en primer lugar a **DIOS CREADOR DEL UNIVERSO Y DE LA VIDA**, por guiarme, darme la fuerza, la vida, la sabiduría y permitirme alcanzar este logro académico.

A Todas las personas, familia y amigos que de alguna forma han contribuido para que pudiese alcanzar esta meta.

A MIS PADRES: Por todo el apoyo, el amor incondicional y la educación que desde siempre me han dado. Porque con su esfuerzo y duro trabajo me dieron la oportunidad estudiar esta carrera que desde niño escogí. A ellos les agradezco infinitamente.

A MI HERMANA: Por darme todo su apoyo y estar conmigo en todo momento.

A MI NOVIA FÁTIMA: Por ser mi compañera ideal, por ser ejemplo de amor y comprensión.

A MIS TIOS/AS: Por apoyarme y ayudarme en todo momento.

A MIS COMPAÑEROS DE TESIS: Por su dedicación y empeño en la culminación de este trabajo.

A MIS DEMÁS COMPAÑEROS: Por este tiempo que compartimos juntos, desvelos, tristezas y alegrías.

A LA FAMILIA SORTO: Por su paciencia, apoyo y tolerancia mientras estudiamos, por permitirnos trabajar en su hogar.

... A todos les agradezco y les dedico con mucho cariño este trabajo.

David Díaz.

DEDICATORIA

Agradezco primeramente a **Dios**, por todas las bendiciones que ha derramado en mi vida, sabiduría y confianza para poder culminar satisfactoriamente esta etapa de mi vida y todas aquellas personas que de una u otra forma participaron y contribuyeron a que alcanzara esta meta. Las palabras y el espacio se quedan cortos para enumerarlos uno a uno, pero particular y especialmente agradezco a:

A MIS PADRES

Con mucho agradecimiento y amor por haberme señalado el sendero de vida hacia el éxito.

A MIS HERMANOS/AS

Por su apoyo incondicional en todo el desarrollo de mi carrera.

A MI NOVIA GERARDINA

Por ser un apoyo incondicional en mi vida.

A MIS COMPAÑEROS DE TESIS

David y Fátima, por su comprensión y esmero para terminar el presente trabajo.

A NUESTRO DOCENTE DIRECTOR,

Ing. Guillermo Moya Turcios, por su guía y ayuda hasta terminar el trabajo.

A MIS COMPAÑEROS Y AMIGOS:

Con los que compartí muchos momentos de mi vida y mi carrera.

A todos muchas gracias.....

Alirio Paiz

Doy gracias a Dios por permitirme llegar al final de esta etapa en mi vida y porque durante el transcurso de ella siempre estuvo conmigo, dándome fuerzas en los momentos difíciles, confianza y paciencia para saber esperar la llegada de este momento, la sabiduría para aprobar todas las pruebas necesarias y finalizar con éxito esta carrera. Agradezco también por haberme dado la oportunidad de conocer personas maravillosas con las que juntos compartimos el mismo sueño, las cuales no solo fueron mis compañeros de clase sino que poco a poco se fueron convirtiendo en mis amigos, los cuales siempre recordare.

Agradezco a mi Madre porque con amor, esfuerzo y sacrificio me obsequio una carrera universitaria y me infundio la dedicación al estudio, le agradezco por sus oraciones hacia mi y por alentarme en momentos difíciles, gracias también por sus sabios consejos los que llevare siempre conmigo.

A mis hermanas les agradezco porque con sus risas y cariño me regalaron alegría en momentos de estrés, por sus oraciones y por confiar siempre en mí.

Gracias a mi Abuelita, por su dulzura, comprensión, cariño, por sus sabios consejos y sobre todo porque en todo momento siempre pedía a Dios por mi.

Gracias a mis Tías y Tíos porque de una u otra manera siempre estuvieron pendientes de mis estudios dispuestos a brindarme su ayuda cuando lo necesitaba.

A mis compañeros y amigos de tesis, por compartir conmigo experiencias divertidas que siempre recordaremos, porque a pesar de todo siempre trabajamos como equipo y pudimos alcanzar nuestra meta. Siempre los recordare con mucho cariño.

De una forma muy especial le agradezco a una persona que en todo momento siempre estuvo conmigo con la que comparto muchos sueños, aunque en algunos momentos de estrés estábamos en desacuerdo, nunca dejó de creer en mí. Gracias David por darme animo y fuerzas para seguir adelante, gracias por tu amor y por compartir momentos inolvidables conmigo.

Gracias a mis amigos y amigas por su apoyo incondicional y por compartir conmigo esta alegría de haber llegado al final de esta meta que hace unos años me propuse.

Fátima Elizabeth Sorto

Índice

	<i>Página</i>
<i>Capítulo I Introducción</i>	
1.1 Introducción	2
1.2 Planteamiento del Problema	3
1.2.1 Enunciado del Problema	3
1.3 Justificación	5
1.4 Objetivos	
1.4.1 Objetivo General	6
1.4.2 Objetivos Específicos	6
1.5 Alcances y Limitaciones	
1.5.1 Alcances	7
1.5.2 Limitaciones	8
1.6 Tipo de Investigación	9
1.7 Unidad de Análisis	9
1.8 Técnica de Recopilación de Información	10
<i>Capítulo II Marco Conceptual</i>	
2.1 Ciclo Hidrológico	13
2.1.1 Fases del Ciclo Hidrológico	14
2.2 Cuenca Hidrográfica	
2.2.1 Definición de Cuenca Hidrográfica	16
2.2.2 Características de una Cuenca Hidrográfica	
2.2.2.1 Características Físicas	17
2.2.2.2 Características de Forma	21
2.3 Precipitación	22
2.3.1 Análisis de los Datos de Lluvia	24
2.3.1.1 Lluvia sobre un Área	24

2.3.1.2 Hietograma	27
2.4 Procesos de Evapotranspiración	28
2.4.1 Factores que afectan la Evapotranspiración	29
2.4.2 Evapotranspiración de Cultivo de Referencia	30
2.4.3 Evapotranspiración de Cultivo bajo condiciones Estándar	31
2.4.4 Determinación de la Evapotranspiración	32
2.4.4.1 Factores Meteorológicos que determinan la Evapotranspiración	33
2.4.4.2 Método para la obtención de la Evapotranspiración (Método Hargreaves)	35
2.5 Agua Superficial	38
2.5.1 Fuentes de los diferentes tipos de Esguerrimiento	38
2.5.2 Hidrograma de Caudal	40
2.5.2.1 Hidrogramas y su Análisis	40
2.5.3 Exceso de Precipitación y Escurrentía Directa	43
2.5.3.1 Coeficiente de Escurrentía	43
2.6 Balance Hídrico	44
2.6.1 Balance Hídrico de una Cuenca Hidrográfica	45
2.7 Método SCS para Abstracciones	46
2.8 Factor de sección para Flujo Uniforme	50
2.9 Avenidas	52
2.9.1 Características de una Avenida	53
2.9.2 Agravantes de las Crecidas	53
2.9.3 Periodo de Retorno	54
2.10 Embalses	55
2.10.1 Clasificación de los Embalses	55
2.10.2 Características de los Embalses	56
2.11 Humedales	58

2.11.1	Clasificación de los Humedales	59
2.11.2	Importancia de los Humedales	59
2.11.3	Funciones de los Humedales	60
2.11.4	Valores de los Humedales	61
2.12	Crecidas e Inundaciones	62
2.12.1	<i>Tipos de Inundaciones</i>	
2.12.1.1	Clasificación por causas de Inundación	64
2.12.1.2	Clasificación de Inundaciones de acuerdo a Zonas afectadas	66
2.12.2	<i>Factores que afectan una inundación</i>	67
2.13	Medidas de Prevención y Control de Inundaciones	69
2.13.1	<i>Acciones Estructurales</i>	69
2.13.2	<i>Acciones no Estructurales</i>	70
2.13.3	<i>Acciones Preventivas</i>	70
2.14	Elaboración de Mapas	71
2.14.1	<i>Mapas de Amenaza</i>	72
2.14.1.1	Criterios para la Evaluación de la Intensidad o Magnitud de la Inundación	73
2.14.1.2	Determinación de los Niveles de Amenaza por Inundación	74
2.14.1.3	Zonificación de la Amenaza por Inundación	75
2.14.2	<i>Mapas de Vulnerabilidad</i>	76
2.14.3	<i>Mapas de Riesgo</i>	79
2.14.3.1	Leyendas y Formatos recomendados para la elaboración de mapas de amenaza por Inundaciones fluviales	80
2.14.4	<i>Metodología para la elaboración de Mapas de Amenaza por Inundación</i>	
2.14.4.1	Método Geomorfológico Integrado	83
2.14.4.2	Método Hidrometeorológico	84

<i>Capítulo III Diagnóstico de la Laguna de Olomega</i>	
3.1 Origen de la Laguna de Olomega	86
3.2 Ubicación y Descripción de la Laguna de Olomega	88
3.3 Hidrología de la Laguna de Olomega	90
3.3.1 Factores que afectan el comportamiento de la Laguna	94
3.4 Clima	98
3.5 Contexto Regional	
3.5.1 Marco Biofísico	100
3.5.2 Marco Socioeconómico	101
3.5.2.1 Actividades Agropecuarias	101
3.5.2.2 Ganadería	103
3.5.2.3 Comercio y Turismo	103
3.5.3 Estrategias y Programas Regionales de Desarrollo y Ordenamiento Territorial	104
3.5.4 Marco Legal	105
3.6 Dinámica Poblacional	108
3.7 Antecedentes Históricos	
3.7.1 Registro de Inundaciones en la Laguna de Olomega	110
3.8 Antecedentes de Estudios Realizados	112
3.9 Información Obtenida en Campo	116
<i>Capítulo IV Estudio Hidrológico</i>	
4.1 Características Físicas de la Subcuenca	121
4.1.1 Área de la Subcuenca	121
4.1.2 Perímetro de la Subcuenca	121
4.1.3 Longitud del Cauce más Largo	122
4.1.4 Ancho de la Subcuenca	122
4.1.5 Orden de Corrientes	123
4.1.6 Elevación Media	123

4.1.7 Pendiente Media	125
4.1.8 Factor de Forma	128
4.1.9 Índice de Compacidad	129
4.2 Balance Hídrico aplicado a Tormenta Stan en la Subcuenca de la Laguna de Olomega	129
4.2.1 Cálculo de la Precipitación Media Diaria	130
4.2.2 Cálculo de la Evapotranspiración de Referencia	134
4.2.3 Cálculo de la Evapotranspiración de Cultivo	135
4.2.4 Cálculo de la Evaporación en Cuerpos de Agua	142
4.2.5 Cálculo de la Evaporación en Zonas Urbanas	142
4.2.6 Cálculo de la Escorrentía Superficial	143
4.2.7 Aplicación del Balance Hídrico en la Subcuenca de la Laguna de Olomega	147
4.3 Análisis de la Microcuenca de la Laguna de Olomega	148
4.3.1 Cálculo de la Precipitación Efectiva en la Micro cuenca utilizando el Método SCS	149
4.3.2 Precipitación en Espejo de Agua	155
4.3.3 Evaporación en el Espejo de Agua	156
4.3.4 Volumen Escurrido por el Desagüe	156
4.3.5 Balance Hídrico Aplicado a La Laguna de Olomega	
Volumen Almacenado en la Laguna de Olomega	157
4.4 Capacidad de Almacenamiento de la Laguna de Olomega	159
4.5 Análisis de los Resultados Obtenidos	162
4.5.1 Distribución del Agua en la Subcuenca de La Laguna de Olomega	163
4.5.2 Distribución del Agua en la Microcuenca de La Laguna de Olomega	165
4.5.3 Variación de Nivel de la lámina de Agua en la Laguna de Olomega	167

Capítulo V Elaboración de Mapas

5.1 Metodología para la Elaboración del Mapa de Riesgo	171
5.1.1 Modelo de análisis para determinar el riesgo de inundación	173
5.2 Evaluación de la amenaza por inundación en los alrededores de la Laguna de Olomega	174
5.2.1 Tipos de Suelos	174
5.2.2 Pendientes del Terreno	177
5.2.3 Amenaza por Inundación	178
5.3 Evaluación de la Vulnerabilidad en los alrededores de la Laguna de Olomega	182
5.3.1 Infraestructura	182
5.3.2 Vías de comunicación	185
5.3.3 Parcelas y cultivos	186
5.3.4 Población	187
5.3.5 Parámetros para la evaluación de la Vulnerabilidad de acuerdo a su Importancia	188
5.4 Riesgo	189
5.5 Análisis e Interpretación de los Mapas	
5.5.1 Análisis e Interpretación del Mapa de Amenaza	190
5.5.2 Análisis e Interpretación del Mapa de Vulnerabilidad	191
5.5.3 Análisis e Interpretación del Mapa de Riesgo	192

Capítulo VI Conclusiones y Recomendaciones

6.1 Conclusiones	195
6.2 Recomendaciones	197
Bibliografía	199
Anexos	

Índice de Figuras

	<i>Página</i>
<i>Capítulo I</i>	
Figura 1.1	Mapa Político del Área en los alrededores de la Laguna de Olomega 5
<i>Capítulo II</i>	
Figura 2.1	Ciclo Hidrológico 13
Figura 2.2	Cuenca Hidrográfica 16
Figura 2.3	Área de una cuenca delimitada por parte aguas 17
Figura 2.4	Diversos sistemas de ordenar sistemas fluviales 18
Figura 2.5	Grilla de análisis y ejemplo para el cálculo de la pendiente de la cuenca según Horton 20
Figura 2.6	Formación de pequeñas gotas de Agua 23
Figura 2.7	Cálculo de la lluvia promedio por el método de la media aritmética 25
Figura 2.8	Cálculo de la lluvia promedio por el método de Thiessen 26
Figura 2.9	Cálculo de la lluvia promedio sobre un área por el método de las Isoyetas 27
Figura 2.10	Hietograma de Barras 28
Figura 2.11	Factores involucrados en la Evapotranspiración de cultivo 36
Figura 2.12	Hidrograma 40
Figura 2.13	Hidrograma Aislado 41
Figura 2.14	Variables en el método de abstracciones de precipitación del SCS 47
Figura 2.15	Solución de las ecuaciones de escorrentía del SCS 48
Figura 2.16	Curvas características de los Embalses 58
Figura 2.17	Ejemplo de Leyendas 81
Figura 2.18	Forma, Tamaño y Distribución de Información en la elaboración de un Mapa 81
Figura 2.19	Ejemplo de mapa de Inundación con diferentes períodos de retorno 83

Capítulo III

Figura 3.1	Historia Geológica de El Salvador hace cinco millones de años	87
Figura 3.2	Área Natural de Laguna de Olomega	89
Figura 3.3	Ilustración de los problemas en el Desagüe de La Laguna de Olomega	94
Figura 3.4	Temperaturas desde hace 50 años registradas en la Estación El Papalón	99

Capítulo IV

Figura 4.1	Área de la Subcuenca delimitada por la línea divisoria	122
Figura 4.2	Rejilla para el cálculo de la Pendiente Media	126
Figura 4.3	Imagen Satelital del Huracán Stan Tomada el día 4 de Octubre de 2005	130
Figura 4.4	Polígonos de Thiessen en la Subcuenca de Olomega	131
Figura 4.5	Microcuenca de la Laguna de Olomega y Factores involucrados en el Análisis	148
Figura 4.6	Sección del desagüe de la Laguna de Olomega	157

Capítulo IV

Figura 5.1	Mapa Pedológico del Área Natural de la Laguna de Olomega	176
------------	--	-----

Índice de Esquemas

Página

Capítulo IV

Esquema 4.1	Perfil de la Laguna y niveles alcanzados por la lamina de agua de la Laguna de Olomega	169
Esquema 5.1	Determinación del Riesgo por Inundación	173

Índice de Fotografías

		<i>Página</i>
<i>Capítulo III</i>		
Fotografía 3.1	Planicies en las cercanías de la Laguna de Olomega	90
Fotografía 3.2	Zonas altas de gran pendiente al norte de la Laguna	90
Fotografía 3.3	Pantanos inundables al norte de la Laguna de Olomega	91
Fotografía 3.4	Vista 180º de la planicie de inundación del RGSM	92
Fotografía 3.5	Construcción de borda del Río Grande de San Miguel	93
Fotografía 3.6	Desagües Alternos	95
Fotografía 3.7	Obstrucciones en el cauce del desagüe	95
Fotografía 3.8	Muro de Obstrucción en el desagüe	96
Fotografía 3.9	Relleno de Tierra en el cauce del desagüe	96
Fotografía 3.10	Muros de Piedra y Bloque construidos alrededor de la Laguna de Olomega	97
Fotografía 3. 11	Alto potencial turístico en la Laguna de Olomega.	104
Fotografía 3.12	Calle inundada a causa de desborde de la Laguna de Olomega	111
Fotografía 3. 13	Entrevista a persona residente en el cantón Olomega afectadas por inundaciones.	116
Fotografía 3. 14	Viviendas construidas en el cantón Olomega a las orillas de la Laguna, con 2 a 3 metros de altura respecto al nivel de agua	117
Fotografía 3. 15	Inundación en el caserío La Pelota después del paso del huracán Stan y evacuación de familias	117
Fotografía 3.16	Persona residente en el caserío La Pelota, indicando la altura que alcanzo el agua para el Huracán Mitch	118
Fotografía 3.17	Persona residente en el caserío La Pelota, indicando la altura que alcanzo el agua para el Huracán Stan (2005)	118
Fotografía 3.18	Persona residente en el caserío La Pelota que se dedica al cultivo de maíz .	118

Capítulo V

Fotografía 5.1	Tipos de vivienda alrededor de la Laguna de Olomega	183
Fotografía 5.2	Centro de Salud Cantón Olomega	183
Fotografía 5.3	Albergue caserío la Pelota	184
Fotografía 5.4	Calle que conduce hacia caserío El Cedral	186
Fotografía 5.5	Muelle ubicado en las orillas de la Laguna de Olomega, cantón Olomega.	186
Fotografía 5.6	Plantaciones de Maíz y Caña de Azúcar, ubicadas en el caserío La Pelota.	187

Índice de Gráficos

	<i>Página</i>	
<i>Capítulo IV</i>		
Gráfico 4.1	Curva Hipsométrica de la Subcuenca de Olomega	125
Gráfico 4.2	Precipitación en la Subcuenca de La Laguna de Olomega, Huracán Stan 01-06 de Octubre de 2005	133
Gráfico 4.3	Hidrógrama del Río Grande de San Miguel, durante Tormenta Stan (del 29 de Septiembre al 9 de Octubre de 2005)	145
Gráfico 4.4	Volumen de agua almacenado en el cauce del RGSM	146
Gráfico 4.5	Relación Elevación – Volumen Almacenado de la Laguna de Olomega	160
Gráfico 4.6	Relación Elevación – Área de expansión de la Laguna de Olomega	161
Gráfico 4.7	Distribución Porcentual del Agua precipitada del 1 al 4 de Octubre de 2005 en la Subcuenca	163
Gráfico 4.8	Distribución Porcentual del Agua precipitada durante Tormenta Stan en la Subcuenca	164
Gráfico 4.9	Distribución Porcentual del Agua Precipitada del 1 al 4 de Octubre de 2005 en la Microcuenca de la Laguna de Olomega	165

Gráfico 4.10	Distribución Porcentual del Agua precipitada durante Tormenta Stan en la Microcuenca de la Laguna de Olomega	166
Gráfico 4.11	Altura que alcanzo la Lámina de Agua de la Laguna de Olomega para el Huracán Stan (4 de Octubre de 2005)	167
Gráfico 4.12	Comparación de Altura que alcanzo la Lámina de Agua de la Laguna de Olomega para el Huracán Stan y Huracán Mitch	169

Índice de Tablas

	<i>Página</i>
<i>Capítulo II</i>	
Tabla 2.1	Radiación Solar Extraterrestre 37
Tabla 2.2	Números de curva de escorrentía para usos selectos de tierra agrícola, Suburbana y Urbana 49
Tabla 2.3	Valores de coeficientes de rugosidad n 51
Tabla 2.4	Área Y Volumen de Embalse 57
Tabla 2.5	Niveles De Intensidad En Inundaciones 73
Tabla 2.6	Niveles de Amenazas 75
Tabla 2.7	Ponderaciones según Nivel de Importancia 77
Tabla 2.8	Parámetros para diferentes Edificaciones 78
Tabla 2.9	Parámetros de Vulnerabilidad 78
Tabla 2.9	Definición Cualitativa del Riesgo 79
Tabla 2.10	Datos Finales de Riesgo 80
<i>Capítulo III</i>	
Tabla 3.1	Actividades económicas y productivas de las comunidades de los alrededores de la Laguna de Olomega 102
Tabla 3.2	Población en el área de la Laguna de Olomega Distribución por municipios 108
Tabla 3.3	Población en el área de la Laguna de Olomega. Distribución por Cantones y Caseríos 109

Capítulo IV

Tabla 4.1	Cálculo de Elevación Media	124
Tabla 4.2	Valores Obtenidos a través en la Malla	127
Tabla 4.3	Precipitación Media Diaria	132
Tabla 4.4	Temperaturas máximas y mínimas registradas en Estación San Miguel	134
Tabla 4.5	Valores de Radiación Solar obtenidos para el período de análisis	135
Tabla 4.6	Coeficientes de Cultivo para diferentes usos del suelo	136
Tabla 4.7	Área de los diferentes Usos de Suelo en la Subcuenca de la Laguna de Olomega	137
Tabla 4.8	Evapotranspiración de Cultivo según Uso de Suelo en la Subcuenca de la Laguna de Olomega	139
Tabla 4.9	Evaporación en cuerpos de agua dentro de la Subcuenca de la Laguna de Olomega	142
Tabla 4.10	Evaporación en Zonas Urbanas dentro de la Subcuenca	143
Tabla 4.11	Volumen Escurrido por el RGSM	143
Tabla 4.12	Volumen Almacenado en el cauce del RGSM	144
Tabla 4.13	Balance Hídrico Diario de la Sub-Cuenca de La Laguna de Olomega en Mm ³ (1-6 Octubre 2005)	147
Tabla 4.14	Ponderación de CN	149
Tabla 4.15	Cálculo de la Precipitación Efectiva	152
Tabla 4.16	Precipitación Efectiva Diaria y Volúmenes Acumulados	155
Tabla 4.17	Precipitación sobre el espejo de agua	155
Tabla 4.18	Evaporación sobre el espejo de agua	156
Tabla 4.19	Cálculo de Capacidad de Desagüe de la Laguna de Olomega	156
Tabla 4.20	Balance Hídrico en La Laguna de Olomega del día 1-4 de Octubre del 2005	158
Tabla 4.21	Balance Hídrico en La Laguna de Olomega del día 1-6 de Octubre del 2005	158
Tabla 4.22	Capacidad de Almacenamiento de la Laguna de Olomega	159

Tabla 4.23	Relación Elevación-Área-Volumen	160
<i>Capítulo V</i>		
Tabla 5.1	Niveles de Intensidad de Inundaciones	178
Tabla 5.2	Frecuencia de Inundaciones	179
Tabla 5.3	Niveles de Amenaza de la Laguna de Olomega	181
Tabla 5.4	Ponderaciones según clase de amenaza	181
Tabla 5.5	Descripción de los parámetros para la evaluación de la vulnerabilidad	188
Tabla 5.6	Clases de Vulnerabilidad	189
Tabla 5.7	Definición Cualitativa del Riesgo	189

Índice de Ecuaciones

		<i>Página</i>
<i>Capítulo II</i>		
Ecuación 2.1	Ancho de una cuenca	17
Ecuación 2.2	Elevación Media de una Cuenca	19
Ecuación 2.3	Pendiente de una Cuenca en dirección X y Y "Criterio de Horton"	20
Ecuación 2.4	Promedio Aritmético para calcular Pendiente de una Cuenca "Criterio de Horton"	21
Ecuación 2.5	Promedio Geométrico para calcular Pendiente de una Cuenca "Criterio de Horton"	21
Ecuación 2.6	Coeficiente de Forma	21
Ecuación 2.7	Coeficiente de Compacidad	22
Ecuación 2.8	Precipitación Promedio	25
Ecuación 2.9	Evapotranspiración de Cultivo	32
Ecuación 2.10	Evapotranspiración de Referencia "Método Hargreaves"	35

Ecuación 2.11	Radiación Solar	36
Ecuación 2.12	Balance Hídrico	44
Ecuación 2.13	Abstracciones “Método SCS”	47
Ecuación 2.14	Retención Potencial Máxima	48
Ecuación 2.15	Factor de sección de un canal	50
Ecuación 2.16	Caudal Uniforme	50
Ecuación 2.17	Conservación de Masa	56

Índice de Anexos

Anexo A Mapas Característicos de la Subcuenca de la Laguna de Olomega

Mapa #1	Mapa Orden de Corrientes de la Subcuenca de la Laguna de Olomega
Mapa #2	Mapa Topográfico de la Subcuenca de la Laguna de Olomega
Mapa #3	Mapa Altimétrico de la Subcuenca de la Laguna de Olomega
Mapa #4	Mapa de Uso de Suelo de la Subcuenca de la Laguna de Olomega
Mapa #5	Mapa de Red Hidrográfica de la Subcuenca de la Laguna de Olomega

Anexo B Mapas base para la elaboración del mapa de amenaza y vulnerabilidad

Mapa #6	Mapa de Pendientes en los alrededores de la Laguna de Olomega
Mapa #7	Mapa de Poblacional en los alrededores de la Laguna de Olomega
Mapa #8	Mapa de Red Vial en los alrededores de la Laguna de Olomega
Mapa #9	Mapa de Parcelas en los alrededores de la Laguna de Olomega
Mapa #10	Mapa de Infraestructura en los alrededores de la Laguna de Olomega

Anexo C Mapas de Amenaza, vulnerabilidad y Riesgo

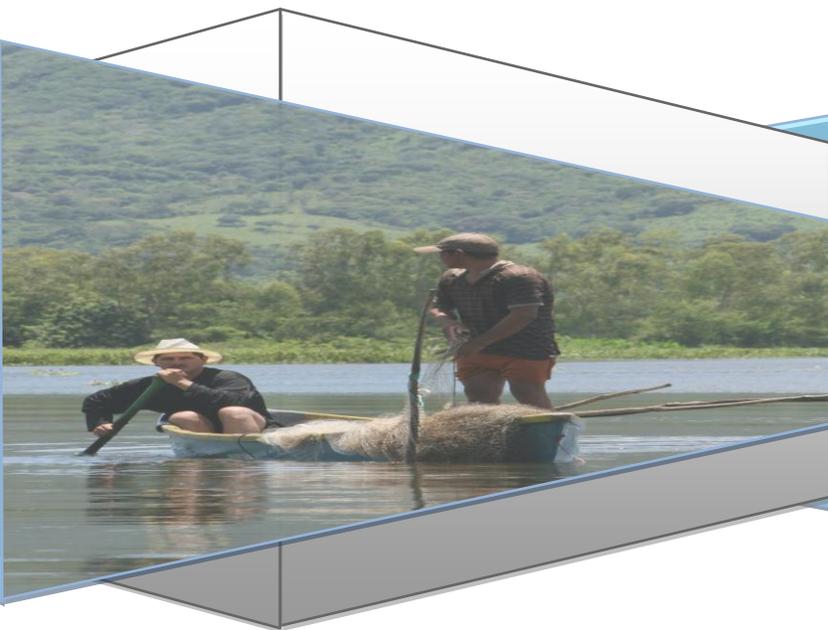
Mapa #11 Mapa de Amenaza por Inundación en los alrededores de la Laguna de Olomega.

Mapa #12 Mapa de Vulnerabilidad por Inundación en los alrededores de la Laguna de Olomega

Mapa #13 Mapa de Riesgo por Inundación en los alrededores de la Laguna de Olomega.

Anexo D Reportaje Fotográfico

Capítulo I



Introducción

1.1 INTRODUCCION

La Laguna de Olomega es un humedal natural situado en una llanura en el centro de la zona oriental del país, es también uno de los cuerpos receptores de agua con mayor extensión en la zona oriental. En sus alrededores se encuentran 9 comunidades y algunas de ellas se han visto afectadas por inundaciones debido al desborde de la Laguna de Olomega o al desborde del Rio Grande de San Miguel.

Dos de las inundaciones mas recientes que provocaron perdidas económicas y que afectaron a las comunidades que se encuentran en los alrededores de la Laguna son; la inundación causada por el Huracán Mitch y por el Huracán Stan en los años 1998 y 2005 respectivamente.

Sin embargo cada vez que hay temporales y que la Laguna presenta aumentos considerables en el nivel del agua, se hace necesaria la evacuación de los habitantes de algunas comunidades situadas alrededor de la Laguna, tal como lo fue en los meses de agosto y septiembre del año 2008.

La presente investigación se ha realizado con la finalidad de determinar las zonas con mayor vulnerabilidad y riesgo a las inundaciones por el desborde de la Laguna de Olomega. Para ello se hizo necesario realizar un estudio hidrológico en la Subcuenca de la Laguna de Olomega y de esta manera poder conocer algunas características físicas y de forma de la Subcuenca de la Laguna, los volúmenes de agua que la Laguna puede almacenar y la altura en el espejo de Agua que alcanzó durante el acontecimiento del huracán Stan. El estudio hidrológico se ha realizado en base a datos proporcionados por el SNET para el periodo en que ocurrió el huracán Stan del 1 al 6 de octubre del año 2005.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la Laguna de Olomega existen nueve comunidades que se asientan en sus riberas, ubicadas entre los municipios de El Carmen, La Unión y Chirilagua, San Miguel las cuales son: Cantón y Caserío Miraflores, Caserío Las Tablas, Caserío La Estrechura, Caserío Punta de Sueño, Cantón y Caserío Tierra Blanca, Caserío Puerto Viejo, Caserío Punta de Navarro, Cantón y Caserío El Zapotal, Cantón y Caserío Olomega. (Figura 1.1)

Se estima según FONAES que alrededor de la laguna (cantones y caseríos) viven unas 9000 personas aproximadamente¹ las cuales podrían verse afectadas por inundaciones.

1.2.1 Enunciado del Problema

El problema surge a raíz de que “según las autoridades Olomega es una de las 4 áreas susceptibles a inundaciones por desborde de la Laguna o por el desbordamiento del Río Grande de San Miguel.”² La Laguna de Olomega se encuentra dentro de la planicie de inundación del Río Grande, sin embargo las personas han construido sus viviendas en sus alrededores para beneficiarse de ella (pesca y agricultura), algunas de estas viviendas han sido construidas en zonas planas y con mal drenaje, susceptibles a inundación.

Ante la ocurrencia de un evento extremo es necesario conocer las comunidades más vulnerables a inundaciones para tomar medidas de prevención. Para ello se hace necesario contar con un mapa de Riesgos por inundaciones que indique exactamente que comunidades resultan más afectadas y el nivel que alcanzará el agua.

¹ FONDO AMBIENTAL DE EL SALVADOR, <http://www.fonaes.gob.sv/humedal/sitios/olomega.htm>

² SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA, SNET, <http://mapas.snet.gob.sv/hidrologia/sat.html>

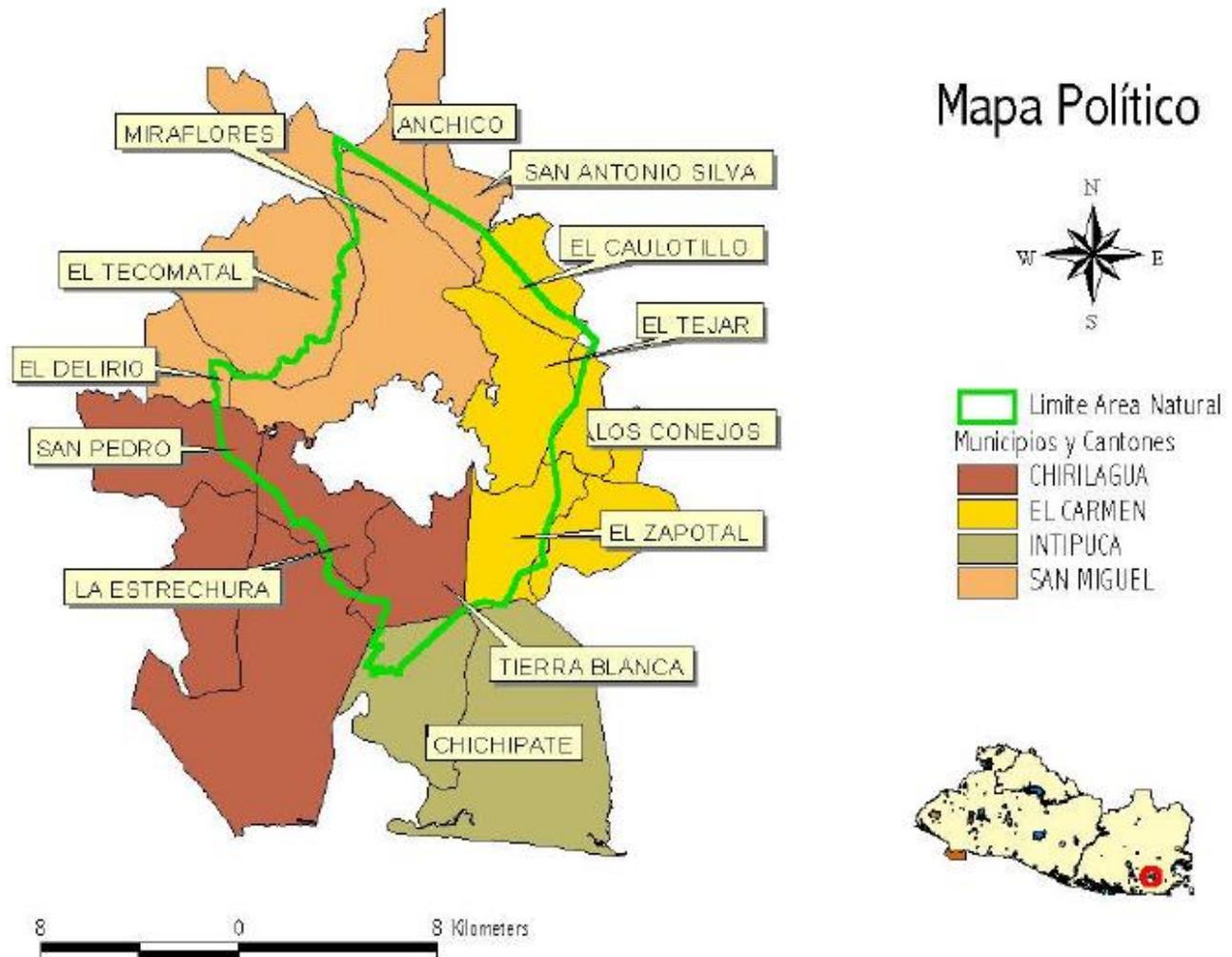


Figura 1. 1 Mapa político del Área en los alrededores de la Laguna de Olomega/FUENTE: Plan de manejo Humedal Olomega.

1.3 JUSTIFICACION

Las mayores catástrofes hidrometeorológicas que ha sufrido El Salvador en los últimos años son; el huracán Mitch en el año 1998, luego el huracán Stan en el año 2005, en los cuales hubo cuantiosas pérdidas humanas y económicas, dada la falta de prevención.

“El huracán Mitch que azotó en octubre de 1998, impactó directamente la agricultura, ocasionando según La Comisión Económica para América Latina (CEPAL) 398 millones de Dólares en pérdidas en todo el país. En el Salvador Mitch Sobrepasó los 287 muertos y más de 85 mil damnificados.

Según estimaciones realizadas por CEPAL en el año 2005 debido al huracán Stan las pérdidas registradas ascienden a 355.6 millones de dólares.”³

Datos presentados por el Ministerio de Agricultura y Ganadería expresan que alrededor de La Laguna de Olomega existen: 1500 Familias que viven de la pesca y la agricultura, 11 Centros Educativos, 1 centro de Salud y 9 ADESCOS⁴.

Con la investigación se beneficiarían todas comunidades que viven en los alrededores de la Laguna, ya que se les proporcionará un mapa de riesgo por inundaciones, esto facilitará o aportará en la toma de decisiones a las autoridades correspondientes para la prevención y control de inundaciones.

Este estudio podría tomarse en cuenta en investigaciones y proyectos posteriores como Planes de Ordenamiento Territorial, Plan de Manejo de la Subcuenca de la Laguna de Olomega, Estudios sobre el recurso hídrico de la Laguna de Olomega, etc. De esta manera se beneficiarían Universidades, Alcaldías de la zona y población en general.

³ RECOPIACION HISTORICA DE DESASTRES EN EL SALVADOR 1900-2005, MARN/SNET-PNUD, Primera Edición, 2008, Pág 27-28.

⁴ “LAGUNA DE OMEGA, LA PESCA POR MEDIO DE CERCO” MAG, Rodolfo Pacheco Ulloa, Julio de 2003, Pág. 1.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo General

Realizar un estudio hidrológico de la Subcuenca de la Laguna de Olomega con la finalidad de determinar las zonas con mayor vulnerabilidad a inundaciones en los alrededores de La Laguna.

1.4.2 Objetivos Específicos

- ✓ Determinar las características físicas de la Subcuenca de la Laguna de Olomega.

- ✓ Realizar un balance hídrico en la Subcuenca de la Laguna de Olomega para conocer la distribución de volúmenes de agua y conocer el volumen que almaceno la Laguna durante el acontecimiento del Huracán Stan del 1 al 6 de Octubre de 2005.

- ✓ Elaborar un mapa de riesgo por inundación debido al desborde de La Laguna de Olomega.

1.5 ALCANCES Y LIMITACIONES

1.5.1 Alcances

- ▶ Se determinarán las siguientes características físicas de la Subcuenca: Área de la Subcuenca, perímetro de la subcuenca, ancho de la subcuenca, orden de las corrientes, elevación media, pendiente media, factor de forma e índice de compacidad.
- ▶ El balance hídrico se realizará de forma diaria para los días en que ocurrió el Huracán Stan (del 1 al 6 de Octubre de 2005).
- ▶ Se determinará una relación Cambio de Volumen-Cambio de Altura para la Laguna de Olomega.
- ▶ Se presentará un mapa de riesgos que delimite las zonas de las comunidades aledañas a la Laguna de Olomega con mayor probabilidad de sufrir inundación a partir de un mapa de amenaza y de un mapa de vulnerabilidad.
- ▶ El mapa de amenaza indicará el nivel del agua y área Inundada alcanzada por el desborde de la Laguna de Olomega. El mapa de vulnerabilidad indicará el área de cultivos, población e infraestructura que podría verse afectada en caso de inundación por desborde de la Laguna de Olomega.
- ▶ La topografía del terreno se trabajará a partir de cuadrantes de 1:25000 con curvas de nivel a cada 10mt.

1.5.2 Limitaciones

- ▶ Las imágenes satelitales con que se cuentan son del año 2003, 2004 y 2007.
- ▶ El SNET únicamente cuenta con 3 estaciones Pluviométricas y una estación Climatológica principal dentro de la Subcuenca de La Laguna de Olomega
- ▶ El SNET actualmente ya no cuenta con la estación hidrométrica de El Delirio y solo posee registro de datos hasta el año 2007.
- ▶ Según el SNET no existen Registros Oficiales de precipitación y caudales para el huracán Mith, debido a que la red de estaciones meteorológicas estaban fuera de servicio.
- ▶ La Estación Meteorológica San Miguel no registró datos de precipitación en los días en que ocurrió el huracán Stan (2,3 y 4 de Octubre de 2005)
- ▶ Dificultad para acceder a la toda la información publica disponible, en el SNET y CNR.
- ▶ Dificultad para acceder a estudios realizados en la Laguna, la mayoría no han sido publicados.
- ▶ La estación Pluviográfica en Olomega no esta en funcionamiento.
- ▶ No se cuenta con una estación limnimétrica ni limnigráfica en la Laguna de Olomega.
- ▶ No se cuentan con cuadrantes topográficos a menor escala y actualizados

1.6 TIPO DE INVESTIGACION

El tipo de investigación que se aplicará al proyecto será el método científico; y será del nivel descriptivo porque se describirán las variables que afectan el comportamiento de la Laguna por medio del estudio hidrológico, también se dará a conocer como se podría comportar la laguna en un evento hidrometeorológico extremo. Además; con el mapa de zonificación de los sectores vulnerables a inundaciones se tendrá un insumo para que las autoridades correspondientes tomen medidas o acciones de prevención contra inundaciones.

1.7 UNIDAD DE ANALISIS

El estudio Hidrológico se aplicó a la Subcuenca de La Laguna de Olomega, para obtener de ella las características físicas, datos de esorrentía y volúmenes máximos almacenados.

La Laguna de Olomega está ubicada en el Oriente de El Salvador, formando parte de los municipios de San Miguel y Chirilagua, dentro del departamento de San Miguel y del municipio de El Carmen en el departamento de La Unión.

Coordenadas geográficas (latitud / longitud): Centro geográfico del humedal: 13º 19' Latitud Norte 89º 3' Longitud Oeste.

Hojas Cartográficas 1:25 000; 160, 161, 170, 171

1.8 TECNICAS DE RECOPIACION DE DATOS

Se visitaron Bibliotecas e Instituciones Estatales para recolectar la información necesaria para el desarrollo del estudio Hidrológico en la Subcuenca de la Laguna de Olomega.

En las bibliotecas se hará revisión de literatura en áreas como: Hidrología Aplicada, Gestión de Riesgos, Humedales e Inundaciones.

Las Instituciones Estatales que contienen información necesaria para la realización de nuestro estudio hidrológico son:

► ***El Centro Nacional de Registros (CNR)***

Esta institución cuenta con información en formato análogo y en formato digital, de la superficie topográfica de El Salvador tal como lo son: fotografías aéreas, Hojas Altimétricas con escala 1:10,000, escala 1:5,000, escala 1:1,000, cuadrantes en escala 1:200,000, escala 1:100,000, escala 1:50,000 y en escala 1:25,000.

► ***Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN)***

En este Ministerio se encuentran: Mapa de Uso de Suelo, Mapa de Áreas Naturales Protegidas, Mapa Geológico de El Salvador, Mapa de Vegetación de El Salvador entre otros. Además cuenta con el Departamento CIDOC el cual pone a disposición del público, toda la información relacionada con el medio ambiente en El Salvador, entre la que se encuentra: El Plan de Manejo del Área Natural Humedal Olomega, Diagnostico de los Humedales de El Salvador, El Estudio del control integral de crecidas en el Río Grande de San Miguel.

▶ ***Servicio Nacional de Estudios Territoriales (SNET)***

Esta Institución cuenta con la información de los registros de la red de estaciones meteorológicas de El Salvador, además cuenta con Modelos Digitales de Elevaciones (MDE), Mapa de uso de suelo, Mapa Geológico, Mapa Geomorfológico, Mapa de precipitación, Mapa de evaporación, etc. También a través de su página en internet se pueden descargar algunas Investigaciones que esta Institución ha realizado.

▶ ***Recopilación de Información en campo***

Se entrevistará a personas que hayan sufridos inundaciones en sus hogares debido al desborde de la Laguna de Olomega, en los Años 1998, 2005. El objeto principal de esta entrevista será obtener el nivel que alcanzó la Laguna durante el acontecimiento de los eventos meteorológicos registrados en los años antes mencionados (Huracán Mitch y Huracán Stan respectivamente).

Capítulo II



**Marco
Conceptual**

2.1 CICLO HIDROLOGICO

El ciclo hidrológico es el "proceso que describe la ubicación y el movimiento del agua en nuestro planeta". Es un proceso continuo en el que una partícula de agua evaporada del océano vuelve al océano después de pasar por las etapas de precipitación, escorrentía superficial y/o escorrentía subterránea.

El concepto de ciclo se basa en el permanente movimiento o transferencia de las masas de agua, tanto de un punto del planeta a otro, como entre sus diferentes estados (líquido, gaseoso y sólido). Este flujo de agua se produce por dos causas principales: la energía solar y la gravedad.



Figura 2. 1 Ciclo Hidrológico

2.1.1 Fases del Ciclo Hidrológico

◆ *Evaporación*

El ciclo se inicia sobre todo en las grandes superficies líquidas (lagos, mares y océanos) donde la radiación solar favorece que continuamente se forme vapor de agua. El vapor de agua, menos denso que el aire, asciende a capas más altas de la atmósfera, donde se enfría y se condensa formando nubes.

◆ *Precipitación*

Ocurre cuando por condensación las partículas de agua que forman las nubes alcanzan un tamaño superior a 0.1 mm comienza a formarse gotas, gotas que caen por gravedad dando lugar a las precipitaciones (en forma de lluvia, granizo o nieve).

◆ *Retención*

No toda el agua que precipita llega a alcanzar la superficie del terreno. Una parte del agua de precipitación vuelve a evaporarse en su caída y otra parte es retenida por la vegetación, edificios, carreteras, etc., y luego se evapora.

Del agua que alcanza la superficie del terreno, una parte queda retenida en depresiones del terreno, lagos y embalses volviendo una gran parte de nuevo a la atmósfera en forma de vapor.

◆ *Escorrentía superficial*

Es la precipitación que circula sobre la superficie y se concentra en pequeños cursos de agua, que luego se reúnen en arroyos y más tarde desembocan en los ríos. Esta agua que circula superficialmente irá a parar a lagos o al mar, donde una parte se evaporará y otra se infiltrará en el terreno.

◆ *Infiltración*

Es la parte de la precipitación que penetra en la superficie del terreno a través de los poros y fisuras del suelo o las rocas, relleno de agua el medio poroso.

◆ *Evapotranspiración*

En casi todas las formaciones geológicas existe una parte superficial cuyos poros no están saturados en agua, que se denomina “zona no saturada”, y una parte inferior saturada en agua, y denominada “zona saturada”. Una buena parte del agua infiltrada nunca llega a la zona saturada sino que es interceptada en la zona no saturada. En la zona no saturada una parte de esta agua se evapora y vuelve a la atmósfera en forma de vapor, y otra parte, mucho más importante cuantitativamente, se consume en la “transpiración” de las plantas. Los fenómenos de evaporación y transpiración en la zona no saturada son difíciles de separar, y es por ello por lo que se utiliza el término “evapotranspiración” para englobar ambos términos.

◆ *Escorrentía subterránea*

El agua que desciende, por gravedad-percolación y alcanza la zona saturada constituye la recarga de agua subterránea.

El agua subterránea puede volver a la atmósfera por evapotranspiración cuando el nivel saturado queda próximo a la superficie del terreno. Otras veces, se produce la descarga de las aguas subterráneas, la cual pasará a engrosar el caudal de los ríos, rezumando directamente en el cauce o a través de manantiales, o descarga directamente en el mar, u otras grandes superficies de agua, cerrándose así el ciclo hidrológico.⁵

⁵ http://www.miliarium.com/Monografias/PHN/Ciclo_hidrologico.asp

2.2 CUENCA HIDROGRAFICA

2.2.1 Definición de Cuenca

La cuenca es un concepto geográfico e hidrológico que se define como “el área de la superficie terrestre por donde el agua de lluvia escurre y transita o drena a través de una red de corrientes que fluyen hacia una corriente principal y por ésta hacia un punto común de salida” (ver figura 2.2) que puede ser un almacenamiento de agua interior, como un lago, una laguna o el embalse de una presa, en cuyo caso se llama cuenca endorreica. Cuando sus descargas llegan hasta el mar se les denominan cuencas exorreicas.

Una cuenca hidrográfica es delimitada por la línea de las cumbres, también llamada divisoria de aguas.⁶

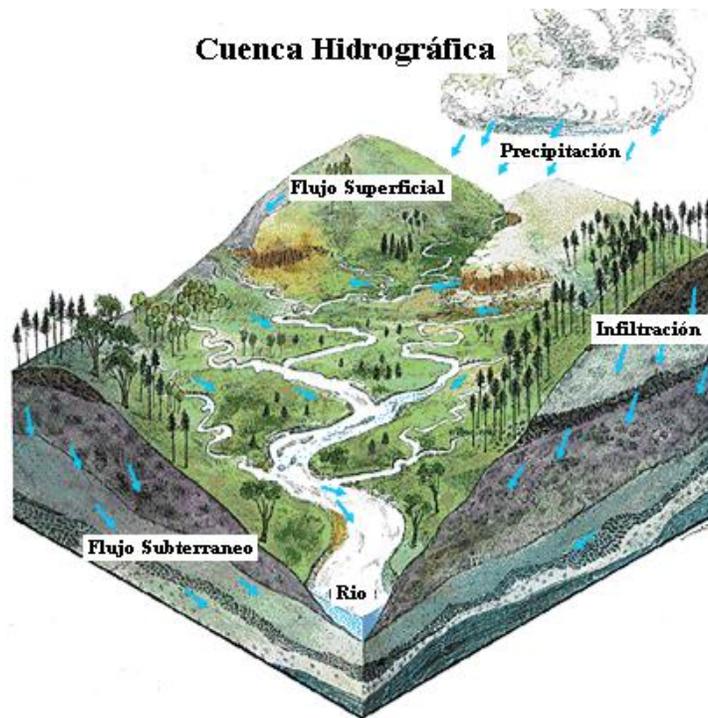


Figura 2. 2 Cuenca Hidrográfica

⁶ <http://www.imacmexico.org>

2.2.2 Características de una Cuenca Hidrográfica

2.2.2.1 Características Físicas

◆ Área de la Cuenca (A).

El área de la cuenca es probablemente la característica geomorfológica más importante para el diseño. Está definida como la proyección horizontal de toda el área de drenaje de un sistema de escorrentía dirigido directa o indirectamente a un mismo cauce natural. Ver figura 2.3

◆ Longitud

La longitud, L, de la cuenca puede estar definida como la distancia horizontal del río principal entre un punto aguas abajo (estación de aforo) y otro punto aguas arriba donde la tendencia general del río principal corte la línea de contorno de la cuenca.

◆ Perímetro

El perímetro de la cuenca o la longitud de la línea de divorcio, es un parámetro importante, pues en conexión con el área nos puede decir algo sobre la forma de la cuenca. Usualmente este parámetro físico es simbolizado por la mayúscula P.

◆ Ancho.

El ancho se define como la relación entre el área (A) y la longitud de la cuenca (L) y se designa por la letra W. De forma que:

$$W = A/L \quad (\text{Ec. 2.1})$$



Figura 2.3 Área de una cuenca delimitada por parte aguas

◆ Orden de Corrientes

Un sistema de clasificación de tipos de ríos se basa en la forma de ramificarse el río en cualquier cuenca hidrográfica. Los tipos se han clasificado de acuerdo con su orden en una jerarquía que se define como: ríos de primer orden son los que no tienen afluentes; los de segundo orden se forman al unirse los de primer orden; los de tercer orden se forman al unirse los de segundo y así sucesivamente. En su forma original el sistema consistía en que una cuenca de cada clase se prolongaba hacia el manantial de manera que el canal principal se extendía continuamente desde el manantial hasta la desembocadura (Horton, 1945) (ver Figura 2.4). Posteriormente se hicieron modificaciones del sistema que anularon esta idea a favor de la clasificación más simple de todos los ríos del mismo orden en una clase (Strahler, 1957).

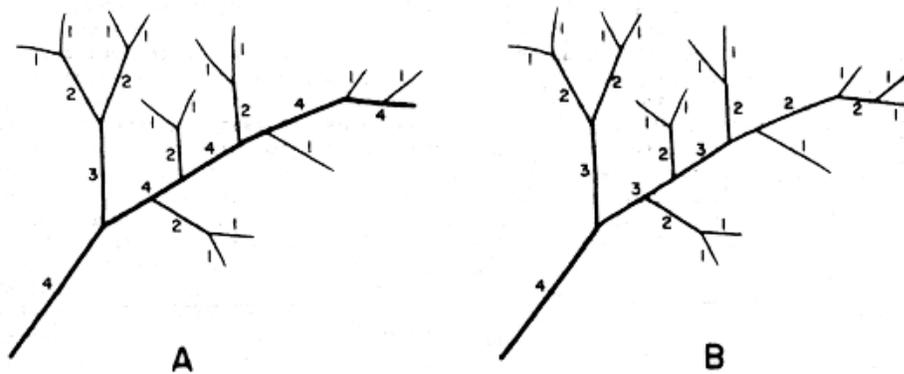


Figura 2. 4 Diversos sistemas de ordenar sistemas fluviales

- A. Sistema de Horton (1954) que prolonga hasta la cabecera el afluente más largo de cada orden
 B. Sistema de Strahler (1957)

◆ Elevación Media

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. Para obtener la elevación media se aplica un método basado en la siguiente expresión:

$$H = \frac{\sum c_i * a_i}{A} \quad (\text{Ec. 2.2})$$

Siendo:

H= elevación media de la cuenca

c_i = cota media del área i, delimitada por 2 curvas de nivel

a_i = área i entre curvas de nivel

A= área total de la cuenca

También se puede obtener el valor de la elevación media de manera grafica por medio de la Curva Hipsométrica, llevando en el eje de las abscisas longitudes proporcionales a la superficie proyectada en la cuenca (Km^2 ó %) comprendidas entre curvas de nivel consecutivas hasta alcanzar la superficie total, y en el eje de las ordenadas la cota de las curvas de nivel consideradas (c_i).

💧 Pendiente Media

La pendiente media constituye un elemento importante en el efecto del agua al caer a la superficie, por la velocidad que adquiere y la erosión que produce.

Existen diferentes métodos para calcular la pendiente media, tales como:

✓ *Criterio de ALVORD.*

✓ *Criterio de NASH*

✓ *Criterio de HORTON*

Este último consiste en trazar una malla de cuadrados sobre la proyección planimétrica de la cuenca orientándola según la dirección de la corriente principal.

Una vez construida la malla, en un esquema similar al que se muestra en la figura 2.5, 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.

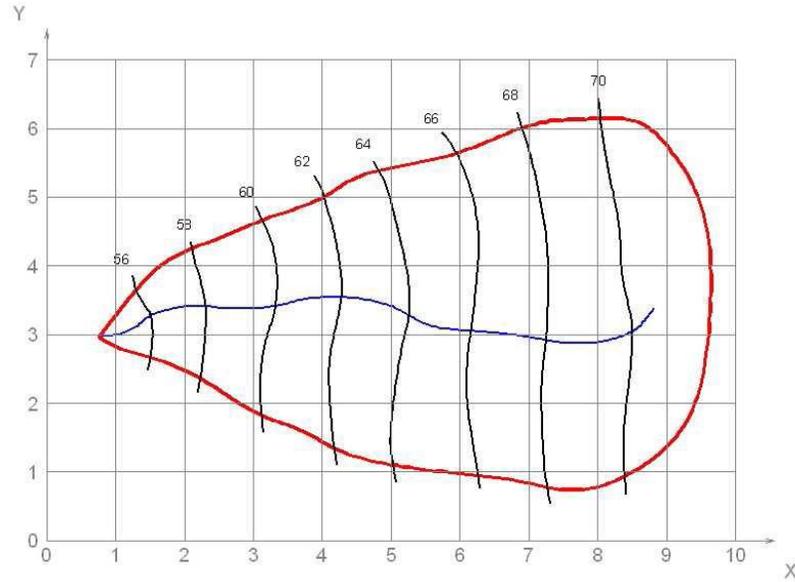


Figura 2. 5 Grilla de análisis y ejemplo para el cálculo de la pendiente de la cuenca según Horton

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

$$S_x = \frac{N_x * D}{L_x} \quad y \quad S_y = \frac{N_y * D}{L_y} \quad (\text{Ec. 2. 3})$$

Siendo:

Sx= pendiente en el sentido x

Sy= pendiente en el sentido y

Nx= número total de intersecciones y tangencias de líneas de la malla con curvas de nivel, en el sentido x

Ny= número total de intersecciones y tangencias de líneas de la malla con curvas de nivel, en el sentido

D= equidistancia entre curvas de nivel

Lx= longitud total de líneas de la malla en sentido x, dentro de la cuenca

Ly= longitud total de líneas de la malla en sentido y, dentro de la cuenca

La pendiente media de la cuenca puede determinarse:

Promedio aritmético

$$S = \frac{S_x + S_y}{2} \quad (\text{Ec. 2.4})$$

Promedio geométrico

$$S = \sqrt{S_x * S_y} \quad (\text{Ec. 2.5})$$

2.2.2.2 Características de Forma

💧 El coeficiente de forma (Kf):

Da indicaciones preliminares de la onda de avenida que es capaz de generar.

El factor de forma se puede calcular mediante la siguiente ecuación:

$$Kf = \frac{Wm}{L} = \frac{A/L}{L} = \frac{A}{L^2} \quad (\text{Ec. 2.6})$$

Donde:

Wm = Es el ancho promedio de la cuenca en Km.

A = Área de la cuenca en Km².

L = Longitud del cauce principal de la cuenca en Km.

Kf = Factor de forma.

💧 Coeficiente o Índice de Compacidad (Kc)

El coeficiente de compacidad nos indica el grado de redondez o alargamiento de la cuenca. Es a dimensional y sus valores son mayores o iguales a uno (1), y se relaciona únicamente con la forma de la cuenca. Si el valor de Kc esta entre 0 y 1 ($0 \leq Kc < 1$) la cuenca tiende a ser redonda y por el contrario si Kc es mayor que 1 ($Kc > 1$) la cuenca tiende a ser alargada. Al relacionar dos o más cuenca cuyos factores de capacidad sean

iguales o aproximadamente iguales, se puede pensar que ambas tienen características de forma igualmente irregulares.

$$\text{Ecuación:} \quad Kc = \frac{P}{\sqrt{A}} \times 0.282 \quad (\text{Ec. 2.7})$$

Donde:

P = Perímetro de la cuenca en Km.

A = Área de la cuenca en Km².

2.3 PRECIPITACIÓN

La precipitación incluye la lluvia, la nieve y otros procesos mediante los cuales el agua cae en la superficie terrestre tales como granizo y nevisca. La formación de precipitación requiere la elevación de una masa de agua en la atmósfera de tal manera que se enfríe y parte de su humedad se condense. A medida que el aire sube y se enfría, el agua se condensa de un estado de vapor a un estado líquido. Si la temperatura se encuentra por debajo del punto de congelamiento se forman cristales de hielo. Las pequeñas gotas de agua crecen mediante la condensación e impacto con las más cercanas a medida que se mueven con la turbulencia del aire, hasta que son lo suficientemente grandes para que la fuerza de gravedad sobrepase la fuerza de fricción y empiecen a caer, incrementando su tamaño cuando golpean otras gotas en su descenso. Sin embargo a medida que cae la gota el agua de su superficie se evapora y su tamaño disminuye, de tal manera que puede reducirse nuevamente al tamaño de un aerosol y desplazarse hacia arriba en la nube debido a la turbulencia. (Ver figura 2.6)

2.3.1 Análisis de los Datos de Lluvia

Las lluvias presentan una gran variación en el espacio y en el tiempo. Éstas pueden representarse por mapas de Isoyetas; una isoyeta es un contorno de lluvia constante.

Los mapas de Isoyetas se construyen interpolando información de lluvia que se registra en sitios con pluviógrafos. Un registro de pluviógrafos está compuesto por un conjunto de profundidades de lluvia que se registra para incrementos de tiempos sucesivos.⁸

Los mapas de Isoyetas, es el mejor método para visualizar de manera gráfica la lluvia sobre un área, sin embargo; para calcular la precipitación media sobre una determinada área, existen tres métodos: Método de la Media Aritmética, Método de Polígonos de Thiessen, Método de las Isoyetas

2.3.1.1 Lluvias Sobre un Área

El método de la media aritmética es el más simple para determinar la lluvia promedio sobre un área. Se promedia las profundidades de flujo que se registran en un número dado de pluviómetros. (Ver figura 2.7)

Este método es satisfactorio si los pluviómetros se distribuyen uniformemente sobre un área y sus mediciones individuales no varían en manera considerable de la media.

Si se tiene en cuenta que algunos pluviómetros son más representativos del área en cuestión que otros, pueden asignárseles pesos relativos para el cálculo del promedio del área.⁹

⁸ Hidrología Aplicada, Ven T Chow, 1994, pág. 73

⁹ Hidrología Aplicada, Ven T Chow, 1994, pág. 80

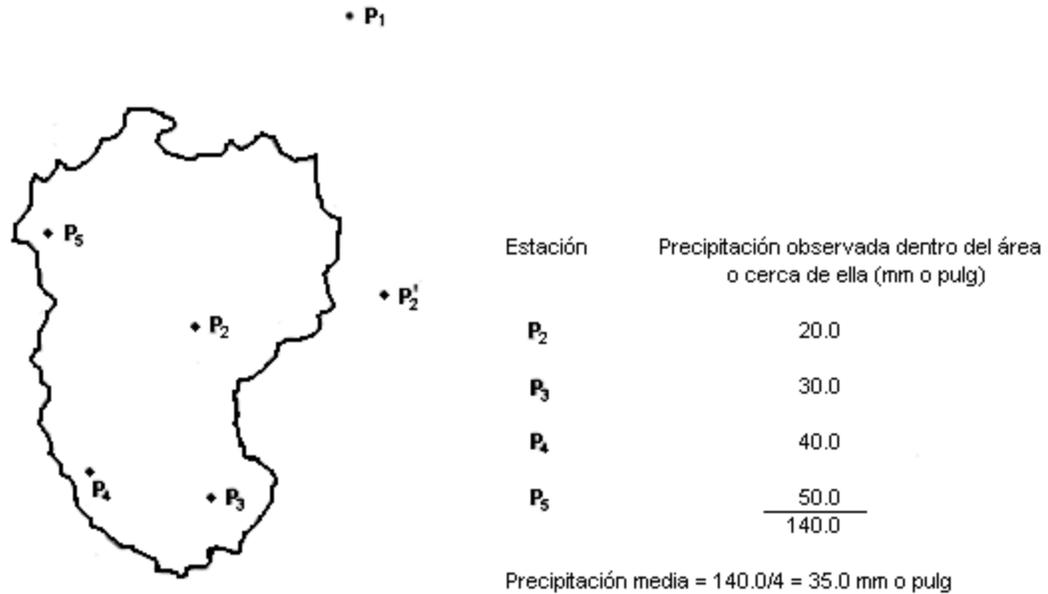


Figura 2. 7 Cálculo de la lluvia promedio por el área por el método de la media aritmética

El método de Thiessen establece que en cualquier punto de la cuenca la lluvia es igual a la que se registra en el pluviómetro más cercano, luego, la profundidad registrada en un pluviómetro dado se aplica hasta la mitad de la distancia a la siguiente estación pluviométrica en cualquier dirección. Los pesos relativos de cada pluviómetro se determinan de las correspondientes áreas de aplicación en una red de polígonos de Thiessen cuyas fronteras están formadas por los bisectores perpendiculares que unen pluviómetros adyacentes¹⁰ (Ver figura 2.8).

Si existen J pluviómetros y el área de la cuenca que se asigna a cada una de ellos es A_j y P_j es la lluvia registrada en el pluviómetro j-esimo la precipitación promedio para la cuenca sobre el área es:

$$\bar{P} = \frac{1}{A} \sum_{j=1}^J A_j P_j \quad (\text{Ec. 2.8})$$

Donde el área de la cuenca es $A = \sum_{j=1}^J A_j$

¹⁰ Hidrología Aplicada, Ven T Chow, 1994, pág. 80

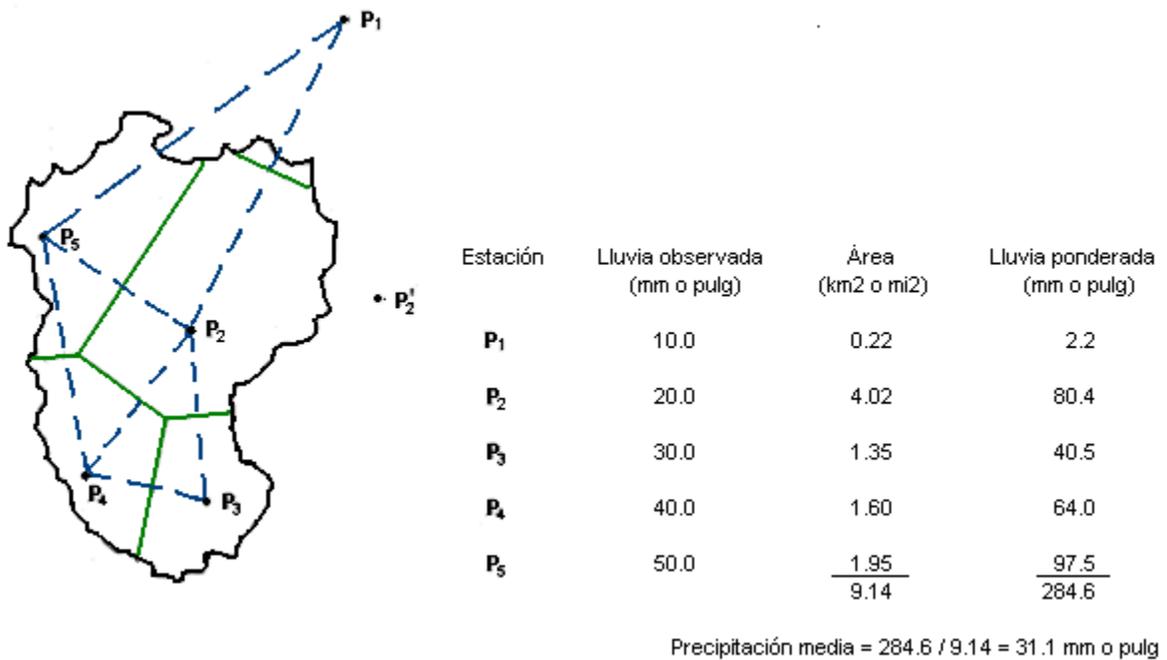


Figura 2. 8 Cálculo de la lluvia promedio por el área por el método de Thiessen

El Método de las Isoyetas cuando existe una red densa de pluviómetros, los mapas de Isoyetas pueden construirse utilizando programas de computadora para dibujar curvas de nivel, utilizando profundidades que se observan en los pluviómetros. El método de las Isoyetas es flexible, y el conocimiento de los patrones de las tormentas pueden influir en las graficas de las mismas, pero es necesaria una red de medidores mas o menos densa para construir correctamente el mapa de Isoyetas de una tormenta compleja.

Una vez que el mapa de Isoyetas se construye se mide el área A_j entre cada par de Isoyetas en la cuenca y se multiplica por el promedio P_j de las profundidades de lluvia de las dos Isoyetas adyacentes para calcular la precipitación promedio del área por medio de la ecuación¹¹ (Ec. 2.8)

¹¹ Hidrología Aplicada, Ven T Chow, 1994, pág. 81

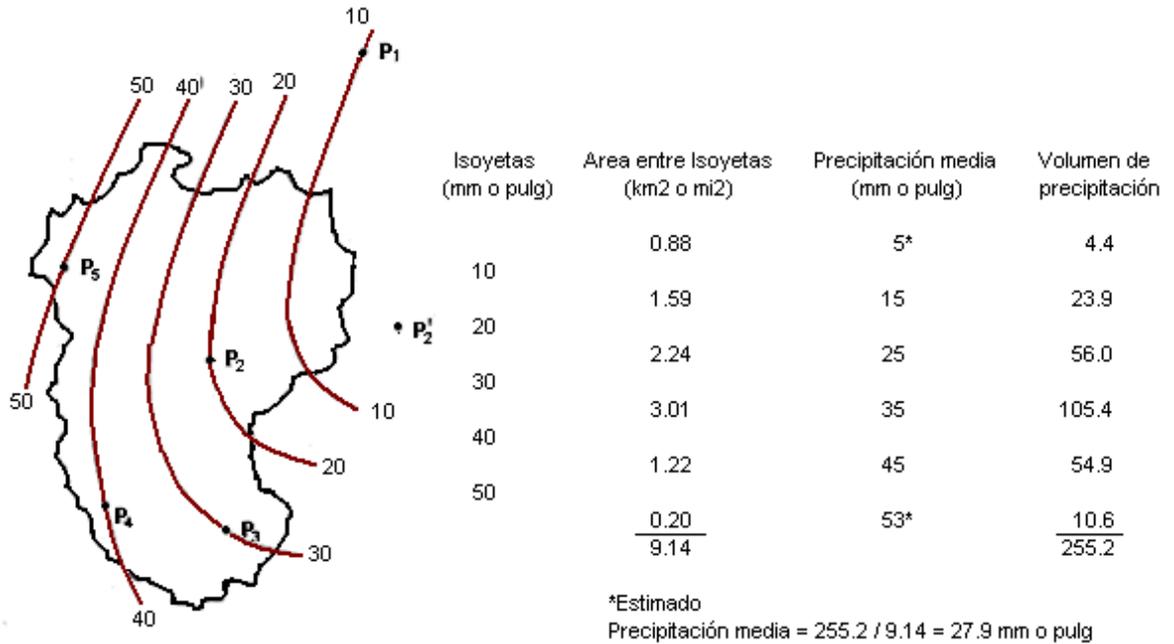


Figura 2. 9 Cálculo de la lluvia promedio sobre un área por el método de las Isoyetas

2.3.1.2 Hietograma

Un Hietograma es un gráfico que expresa precipitación en función del tiempo. En ordenadas puede figurar la precipitación caída (mm), o bien la intensidad de precipitación (mm/h).

Generalmente se presentan como un histograma, (Gráfico de Barra, figura 2.10), aunque a veces también se expresa como un gráfico de línea. A veces un Hietograma se refiere a un día o a una tormenta completa (eje de las abscisas las horas que duró la tormenta (en otras ocasiones, el período de tiempo representado en el eje horizontal puede ser más amplio: Meses o años).

Para su elaboración, si se trata de un Hietograma mensual o anual, bastará con representar datos diarios. Si se trata de un Hietograma de un día, o de unas horas de duración, necesitamos una banda de pluviógrafos, leyendo la precipitación caída en los intervalos elegidos por ejemplo, de 10 en 10 min.

Si no se dispone de datos de pluviógrafos sino solamente de la precipitación diaria, aun se puede calcular la forma predecible del Hietograma.¹²

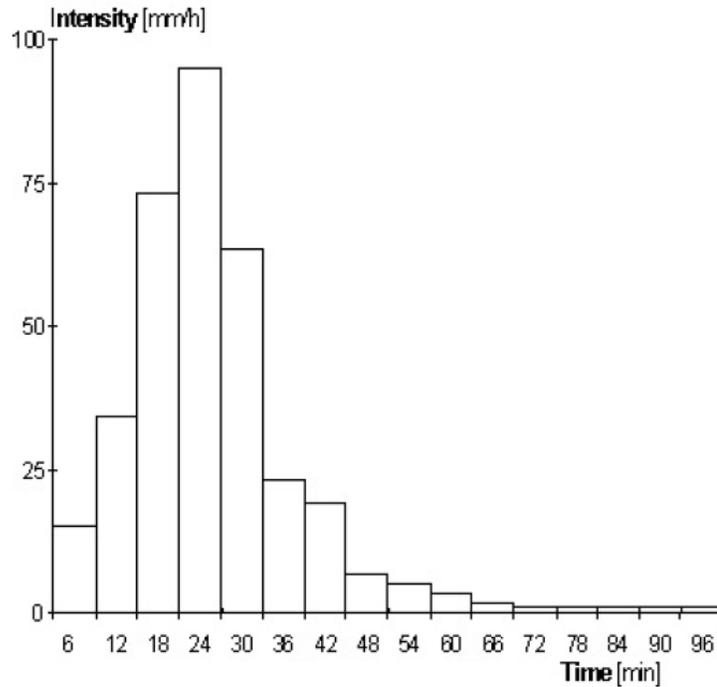


Figura 2. 10 Hietograma de Barras

2.4 PROCESO DE EVAPOTRANSPIRACIÓN

Se conoce como evapotranspiración (ET) la combinación de dos procesos separados por los que el agua se pierde a través de la superficie del suelo por evaporación y por otra parte mediante transpiración del cultivo

La evaporación y la transpiración ocurren simultáneamente y no hay una manera sencilla de distinguir entre estos dos procesos. Aparte de la disponibilidad de agua en

¹² <http://web.usal.es/~javisan/hidro/temas/T030.pdf>

los horizontes superficiales, la evaporación de un suelo cultivado es determinada principalmente por la fracción de radiación solar que llega a la superficie del suelo.

Esta fracción disminuye a lo largo del ciclo del cultivo a medida que el dosel del cultivo proyecta más y más sombra sobre el suelo. En las primeras etapas del cultivo, el agua se pierde principalmente por evaporación directa del suelo, pero con el desarrollo del cultivo y finalmente cuando este cubre totalmente el suelo, la transpiración se convierte en el proceso principal. En el momento de la siembra, casi el 100% de la ET ocurre en forma de evaporación, mientras que cuando la cobertura vegetal es completa, más del 90% de la ET ocurre como transpiración.

La evapotranspiración se expresa normalmente en milímetros (mm) por unidad de tiempo. Esta unidad expresa la cantidad de agua perdida de una superficie cultivada en unidades de altura de agua. La unidad de tiempo puede ser una hora, día, 10 días, mes o incluso un completo período de cultivo o un año.¹³

2.4.1 Factores que afectan la Evapotranspiración

El clima, las características del cultivo, el manejo y el medio de desarrollo son factores que afectan la evaporación y la transpiración (figura 2.11).

Variables climáticas

Los principales parámetros climáticos que afectan la evapotranspiración son la radiación, la temperatura del aire, la humedad atmosférica y la velocidad del viento.

¹³ Estudio FAO, Riego y Drenaje, Guías para la Determinación de los Requerimientos de Agua de los Cultivos, pág. 1-3

💧 Factores de cultivo

El tipo de cultivo, la variedad y la etapa de desarrollo deben ser considerados cuando se evalúa la evapotranspiración de cultivos que se desarrollan en áreas grandes y bien manejadas. Las diferencias en resistencia a la transpiración, la altura del cultivo, la rugosidad del cultivo, el reflejo, la cobertura del suelo y las características radiculares del cultivo dan lugar a diferentes niveles de ET en diversos tipos de cultivos aunque se encuentren bajo condiciones ambientales idénticas.

💧 Manejo y condiciones ambientales

Los factores tales como salinidad o baja fertilidad del suelo, uso limitado de fertilizantes, presencia de horizontes duros o impenetrables en el suelo, ausencia de control de enfermedades y de parásitos y el mal manejo del suelo pueden limitar el desarrollo del cultivo y reducir la evapotranspiración. Otros factores que se deben considerar al evaluar la ET son la cubierta del suelo, la densidad del cultivo y el contenido de agua del suelo.¹⁴

2.4.2 Evapotranspiración del Cultivo de Referencia (ET_o)

La tasa de evapotranspiración de una superficie de referencia, que ocurre sin restricciones de agua, se conoce como evapotranspiración del cultivo de referencia, y se denomina ET_o. La superficie de referencia corresponde a un cultivo hipotético de pasto con características específicas.

El concepto de evapotranspiración de referencia se introdujo para estudiar la demanda de evapotranspiración de la atmósfera, independientemente del tipo y

¹⁴ Estudio FAO, Riego y Drenaje, Guías para la Determinación de los Requerimientos de Agua de los Cultivos, pág. 5-6

desarrollo del cultivo, y de las prácticas de manejo. Debido a que hay una abundante disponibilidad de agua en la superficie de evapotranspiración de referencia, los factores del suelo no tienen ningún efecto sobre ET. El relacionar la ET a una superficie específica permite contar con una referencia a la cual se puede relacionar la ET de otras superficies. Además, se elimina la necesidad de definir un nivel de ET para cada cultivo y período de crecimiento. Se pueden comparar valores medidos o estimados de ETo en diferentes localidades o en diferentes épocas del año, debido a que se hace referencia a ET bajo la misma superficie de referencia.

Los únicos factores que afectan ETo son los parámetros climáticos. Por lo tanto, ETo es también un parámetro climático que puede ser calculado a partir de datos meteorológicos. ETo expresa el poder evaporante de la atmósfera en una localidad y época del año específicas, y no considera ni las características del cultivo, ni los factores del suelo.

2.4.3 Evapotranspiración del Cultivo bajo condiciones Estándar (ET_C)

La evapotranspiración del cultivo bajo condiciones estándar se denomina ET_C, y se refiere a la evapotranspiración de cualquier cultivo cuando se encuentra exento de enfermedades, con buena fertilización y que se desarrolla en parcelas amplias, bajo óptimas condiciones de suelo y agua, y que alcanza la máxima producción de acuerdo a las condiciones climáticas reinantes.

La evapotranspiración del cultivo puede ser calculada a partir de datos climáticos con ecuaciones empíricas o semi-empíricas.

La relación ET_c/ET_o que puede ser determinada experimentalmente para diferentes cultivos y es conocida como Coeficiente del Cultivo (K_c), y se utiliza para relacionar ET_c a ET_o de manera que:

$$ET_c = K_c \times ET_o. \quad (\text{Ec 2.9})$$

Debido a variaciones en las características del cultivo durante los diferentes periodos de crecimiento, para un determinado cultivo, K_c cambia desde la siembra hasta la cosecha.¹⁵

2.4.4 Determinación de la Evapotranspiración

La evapotranspiración no es simple de medir. Para determinarla experimentalmente se requieren aparatos específicos y mediciones precisas de varios parámetros físicos o el balance del agua del suelo en lisímetros. Los métodos experimentales de campo, son en general caros, exigiendo precisión en las mediciones, y pueden ser completamente realizados y analizados apropiadamente sólo por personal de investigación suficientemente preparado. A pesar de que estos procedimientos no son apropiados para mediciones de rutina, siguen siendo importantes para la evaluación de las estimaciones de ET obtenidas con otros métodos indirectos.

Debido a la dificultad de obtener mediciones de campo precisas, la ET se calcula comúnmente con datos meteorológicos. Una gran cantidad de ecuaciones empíricas o semi-empíricas se han desarrollado para determinar la evapotranspiración del cultivo o de referencia utilizando datos meteorológicos.¹⁶

¹⁵ Estudio FAO, Riego y Drenaje, Guías para la Determinación de los Requerimientos de Agua de los Cultivos, pág. 7

¹⁶ Estudio FAO, Riego y Drenaje, Guías para la Determinación de los Requerimientos de Agua de los Cultivos, pág. 10

2.4.4.1 Factores Meteorológicos que determinan La ET

Los factores meteorológicos que determinan la evapotranspiración son los componentes del tiempo que proporcionan energía para la vaporización y extraen vapor de agua de una superficie evaporante. Los principales parámetros meteorológicos que se deben considerar se presentan a continuación.

💧 Radiación solar (R_s)

El proceso de la evapotranspiración está determinado por la cantidad de energía disponible para evaporar el agua. La cantidad potencial de radiación que puede llegar a una superficie evaporante viene determinada por su localización y época del año. Debido a las diferencias en la posición del planeta y a su movimiento alrededor del sol, esta cantidad potencial de radiación es diferente para cada latitud y para las diversas estaciones del año.

▪ Radiación extraterrestre (R_o)

La radiación que choca a una superficie perpendicular a los rayos del sol en el extremo superior de la atmósfera terrestre, se llama constante solar, y tiene un valor aproximado de $0,082 \text{ MJulios/m}^2/\text{min}$. La intensidad local de la radiación, sin embargo, está determinada por el ángulo entre la dirección de los rayos solares y la superficie de la atmósfera. Este ángulo cambia durante el día y es diferente en diversas latitudes y en diversas épocas del año. La radiación solar recibida en la parte superior de la atmósfera terrestre sobre una superficie horizontal se conoce como radiación (solar) extraterrestre, R_s .

Así como las estaciones cambian, la posición del sol, la longitud del día y la radiación extraterrestre también cambian. La radiación extraterrestre es entonces una función de la latitud, la época del año y la hora del día.

Los valores de R_o a lo largo del año para diversas latitudes se presentan en la Tabla 2.1

💧 Temperatura del aire

La radiación solar absorbida por la atmósfera y el calor emitido por la tierra elevan la temperatura del aire. El calor sensible del aire circundante transfiere energía al cultivo y entonces ejerce un cierto control en la tasa de evapotranspiración. En un día soleado y cálido, la pérdida de agua por evapotranspiración será mayor que en un día nublado y fresco.

La temperatura máxima diaria del aire ($T_{\text{máx.}}$) y la temperatura mínima diaria del aire ($T_{\text{mín.}}$) son, respectivamente, la máxima y la mínima temperatura del aire observadas durante un período de 24 horas, desde la medianoche. $T_{\text{máx}}$ y $T_{\text{mín}}$ por períodos más largos tales como semanas, diez días o meses se obtienen dividiendo la suma de los valores diarios respectivos por el número de días del período.

💧 Humedad del aire

Mientras que el aporte de energía del sol y del aire circundante es la fuerza impulsora principal para la evaporación del agua, la diferencia entre la presión de vapor de agua en la superficie evapotranspirante y el aire circundante es el factor determinante para la remoción de vapor. Áreas bien regadas en regiones áridas secas y calientes, consumen grandes cantidades de agua debido a la gran disponibilidad de energía y al poder de extracción de vapor de la atmósfera. En cambio en regiones húmedas tropicales, a pesar de que el ingreso de energía es elevado, la alta humedad del aire reducirá la demanda de evapotranspiración.

En este último caso, como el aire está ya cerca de saturación, puede absorber menos agua adicional y por lo tanto la tasa de evapotranspiración es más baja que en regiones áridas.

💧 Velocidad del viento

El proceso de remoción de vapor depende en alto grado del viento y de la turbulencia del aire, los cuales transfieren grandes cantidades de aire hacia la superficie evaporante.

Con la evaporación del agua, el aire sobre la superficie evaporante se satura gradualmente con vapor. Si este aire no se sustituye continuamente por un aire más seco, disminuye la intensidad de remoción de vapor de agua y la tasa de evapotranspiración disminuye.¹⁷

2.4.4.2 Método para la Obtención de la Evapotranspiración de Referencia (Método Hargreaves).

La fórmula de Hargreaves (Hargreaves y Samani, 1985) para evaluar la Evapotranspiración necesita solamente datos de **temperaturas** y de **Radiación Solar**.

La expresión general es la siguiente:

$$ET_o = 0,0135 (t_{med} + 17,78) R_s \quad \text{(Ec. 2.10)}$$

Donde:

ET_o = evapotranspiración potencial diaria, mm/día

t_{med} = temperatura media, °C

R_s = radiación solar incidente, convertida en mm/día

La radiación solar incidente, R_s , se evalúa a partir de la radiación solar extraterrestre (la que llega a la parte exterior de la atmósfera, que sería la que llegaría al suelo si no existiera atmósfera)

¹⁷ Estudio FAO, Riego y Drenaje, Guías para la Determinación de los Requerimientos de Agua de los Cultivos, pág. 29-30

Cálculo para la obtención de la radiación solar:

$$R_s = R_0 * KT * (T_{m\acute{a}x} - T_{m\acute{i}n})^{0.5} \quad \text{(Ec. 2.11)}$$

Donde:

R_s = Radiación solar incidente

R_0 = Radiación solar extraterrestre (tabulada)

KT = coeficiente

$T_{m\acute{a}x}$ = temperatura diaria máxima

$T_{m\acute{i}n}$ = temperatura diaria mínima

Los valores de R_0 están tabulados (Tabla 2.1) y las temperaturas máximas y mínimas son datos empíricos relativamente fáciles de obtener, el coeficiente KT de la expresión anterior es un coeficiente empírico que se puede calcular a partir de datos de presión atmosférica, pero Hargreaves (citado en Samani, 2000) recomienda $KT = 0,162$ para regiones del interior y $KT = 0,19$ para regiones costeras.¹⁸

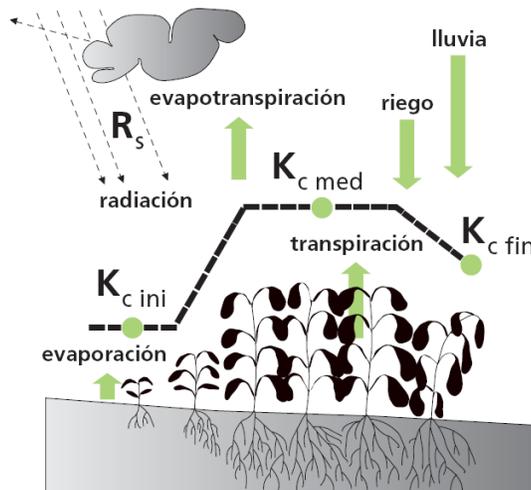


Figura 2.11 Factores involucrados en la Evapotranspiración de cultivo

¹⁸ http://web.usal.es/~javisan/hidro/practicas/ET/ET_Hargreaves.pdf

Tabla 2.1 Radiación Solar Extraterrestre en MJulios/M²/día

Latitud Norte	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
70	0.0	2.6	10.4	23	35.2	42.5	39.4	28	14.9	4.9	0.1	0.0
68	0.1	3.7	11.7	23.9	35.3	42	38.9	28.6	16.1	6.0	0.7	0.0
66	0.6	4.8	12.9	24.8	35.6	41.4	38.8	29.3	17.3	7.2	1.5	0.1
64	1.4	5.9	14.1	25.8	35.9	41.2	38.8	30	18.4	8.5	2.4	0.6
62	2.3	7.1	15.4	26.6	36.3	41.2	39	30.6	19.5	9.7	3.4	1.3
60	3.3	8.3	16.6	27.5	36.6	41.2	39.2	31.3	20.6	10.9	4.4	2.2
58	4.3	9.6	17.7	28.4	37	41.3	39.4	32	21.7	12.1	5.5	3.1
56	5.4	10.8	18.9	29.2	37.4	41.4	39.6	32.6	22.7	13.3	6.7	4.2
54	6.5	12	20	30	37.8	41.5	39.8	33.2	23.7	14.5	7.8	5.2
52	7.7	13.2	21.1	30.8	38.2	41.6	40.1	33.8	24.7	15.7	9.0	6.4
50	8.9	14.4	22.2	31.5	38.5	41.7	40.2	34.4	25.7	16.9	10.2	7.5
48	10.1	15.7	23.3	32.2	38.8	41.8	40.4	34.9	26.6	18.1	11.4	8.7
46	11.3	16.9	24.3	32.9	39.1	41.9	40.6	35.4	27.5	19.2	12.6	9.9
44	12.5	18	25.3	33.5	39.3	41.9	40.7	35.9	28.4	20.3	13.9	11.1
42	13.8	19.2	26.3	34.1	39.5	41.9	40.8	36.3	29.2	21.4	15.1	12.4
40	15	20.4	27.2	34.7	39.7	41.9	40.8	36.7	30	22.5	16.3	13.6
38	16.2	21.5	28.1	35.2	39.9	41.8	40.8	37	30.7	23.6	17.5	14.8
36	17.5	22.6	29	35.7	40	41.7	40.8	37.4	31.5	24.6	18.7	16.1
34	18.7	23.7	29.9	36.1	40	41.6	40.8	37.6	32.1	25.6	19.9	17.3
32	19.9	24.8	30.7	36.5	40	41.4	40.7	37.9	32.8	26.6	21.1	18.5
30	21.1	25.8	31.4	36.8	40	41.2	40.6	38	33.4	27.6	22.2	19.8
28	22.3	26.8	32.2	37.1	40	40.9	40.4	38.2	33.9	28.5	23.3	21
26	23.4	27.8	32.8	37.4	39.9	40.6	40.2	38.3	34.5	29.3	24.5	22.2
24	24.6	28.8	33.5	37.6	39.7	40.3	39.9	38.3	34.9	30.2	25.5	23.3
22	25.7	29.7	34.1	37.8	39.5	40	39.6	38.4	35.4	31.0	26.6	24.5
20	26.8	30.6	34.7	37.9	39.3	39.5	39.3	38.3	35.8	31.8	27.7	25.6
18	27.9	31.5	35.2	38	39	39.1	38.9	38.2	36.1	32.5	28.7	26.8
16	28.9	32.3	35.7	38.1	38.7	38.6	38.5	38.1	36.4	33.2	29.6	27.9
14	29.9	33.1	36.1	38.1	38.4	38.1	38.1	38	36.7	33.9	30.6	28.9
12	30.9	33.8	36.5	38	38	37.6	37.6	37.8	36.9	34.5	31.5	30.0
10	31.9	34.5	36.9	37.1	37.6	37	37.1	37.5	37.1	35.1	32.4	31.0
8	32.8	35.2	37.2	37.8	37.1	36.3	36.5	37.2	37.2	35.6	33.3	32.0
6	33.7	35.8	37.4	37.6	36.6	35.7	35.9	36.9	37.3	36.1	34.1	32.9
4	34.6	36.4	37.6	37.4	36	35	35.3	36.5	37.3	36.6	34.9	33.9
2	35.4	37	37.8	37.1	35.4	34.2	34.6	36.1	37.3	37.0	35.6	34.8
0	36.2	37.5	37.9	36.8	34.8	33.4	33.9	35.7	37.2	37.4	36.3	35.6

Fuente: <http://www.fao.org/docrep/X0490E/x0490e0j.htm#annex 2. meteorological tables>

2.5 AGUA SUPERFICIAL

El escurrimiento se define como el agua proveniente de la precipitación que circula sobre o bajo la superficie terrestre y que llega a una corriente para finalmente ser drenada hasta la salida de la cuenca.

El agua proveniente de la precipitación que llega hasta la superficie terrestre (una vez que una parte ha sido interceptada y evaporada) sigue diversos caminos hasta llegar a la salida de la cuenca. Conviene dividir estos caminos en tres clases: escurrimiento superficial, escurrimiento sub superficial y escurrimiento subterráneo.¹⁹

2.5.1 Fuentes de los Diferentes Tipos de Escurrimiento

Una vez que la precipitación alcanza la superficie del suelo, se infiltra hasta que las capas superiores del mismo se saturan. Posteriormente, se comienzan a llenar las depresiones del terreno y, al mismo tiempo, el agua comienza a escurrir sobre su superficie. Este escurrimiento, llamado *flujo en la superficie del terreno*, se produce mientras el agua no llegue a cauces bien definidos (es decir, que no desaparecen entre dos tormentas sucesivas). En su trayectoria hacia la corriente más próxima, el agua que fluye sobre el terreno se sigue infiltrando, e incluso se evapora en pequeñas cantidades. Una vez que llega a un cauce bien definido se convierte en *escurrimiento en corrientes*. El flujo sobre el terreno, junto con el escurrimiento en corrientes, forma el *escurrimiento superficial*. Una parte del agua de precipitación que se infiltra escurre cerca de la superficie del suelo y más o menos paralelamente a él. A esta parte del escurrimiento se le llama *escurrimiento sub-superficial*; la otra parte, que se infiltra hasta niveles inferiores al freático, se denomina *escurrimiento subterráneo*.

¹⁹ Fundamentos de Hidrología de Superficies, Francisco Aparicio, 1992, pág. 27

De los tres tipos de escurrimiento, el superficial es el que llega más rápido hasta la salida de la cuenca. Por ello está relacionado directamente con: una tormenta particular y entonces se dice que proviene de la *precipitación en exceso o efectiva* y que constituye el *escurrimiento directo*. El escurrimiento subterráneo es el que de manera más lenta llega hasta la salida de la cuenca (puede tardar años en llegar), y, en general, difícilmente se le puede relacionar con una tormenta particular, a menos que la cuenca sea demasiado pequeña y su suelo muy permeable. Debido a que se produce bajo el nivel freático, es el único que alimenta a las corrientes cuando no hay lluvias y por eso se dice que forma el *escurrimiento base*.

El escurrimiento sub superficial puede ser casi tan rápido como el superficial o casi tan lento como el subterráneo, dependiendo de la permeabilidad de los estratos superiores del suelo; por ello es difícil distinguido de los otros dos. Cuando es relativamente rápido se le trata junto con el escurrimiento superficial, y cuando es relativamente lento se le considera parte del subterráneo.

La clasificación anterior, aunque ilustrativa, no deja de ser arbitraria. El agua puede comenzar su viaje hacia la corriente como flujo superficial e infiltrarse en el camino, terminando como escurrimiento sub superficial o subterráneo.

A la inversa, el escurrimiento sub superficial puede emerger a la superficie si en su camino se encuentra con un estrato muy permeable que aflora en una ladera. Lo importante en realidad es la rapidez con que una cuenca responde a una tormenta, pues esto es lo que determina la magnitud de las correspondientes avenidas.²⁰

²⁰ Fundamentos de Hidrología de Superficies, Francisco Aparicio, 1992, pág. 27-28

2.5.2 Hidrógrama de Caudal

Un Hidrógrama de caudal es una grafica o una tabla que muestra la tasa de flujo como función del tiempo en un lugar dado de la corriente. En efecto, el Hidrógramas es “una expresión integral de las características fisiográficas y climáticas que rigen las relaciones entre las lluvias y la escorrentía de una cuenca de drenaje particular”.

Dos tipos de Hidrógramas son particularmente importantes: el Hidrógramas anual y el Hidrógramas de tormentas.²¹

2.5.2.1 Hidrogramas y su Análisis

Si se mide el gasto (que se define como el volumen de escurrimiento por unidad de tiempo) que pasa de manera continua durante todo un año por una determinada sección transversal de un río y se grafican los valores obtenidos contra el tiempo, se obtendría una gráfica como la de la figura 2.12

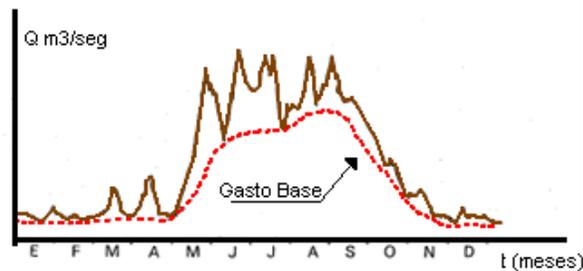


Figura 2. 12 Hidrógrama

Una gráfica como la anterior se denomina *Hidrograma*, como cualquiera que relacione el gasto contra el tiempo. La figura 2.12 representa un *Hidrograma anual*; si la

²¹ Hidrología Aplicada, Ven Te Chow, 1994, pág. 135

escala del tiempo se amplía de tal manera que se pueda observar el escurrimiento producido por una sola tormenta, se tendría una gráfica como la que se muestra en la figura 2.13. Aunque la forma de los Hidrogramas producidos por tormentas particulares varía no sólo de una cuenca a otra sino también de tormenta a tormenta, es posible, en general, distinguir las siguientes partes en cada Hidrograma (véase figura 2.13):

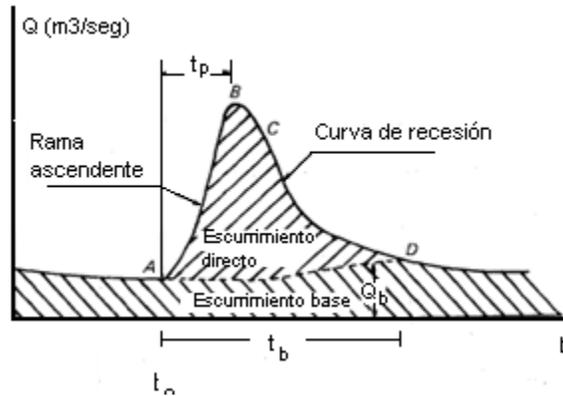


Figura 2.13 Hidrograma Aislado

A: 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 que se pueden mencionar el tamaño de la cuenca, su sistema de drenaje y suelo, la intensidad y duración de la lluvia, etc.

B: pico. Es el gasto máximo que se produce por la tormenta. Con frecuencia es el punto más importante de un Hidrograma para fines de diseño

C: punto de inflexión. En este punto es aproximadamente cuando termina el flujo sobre el terreno, y, de aquí en adelante, lo que queda de agua en la cuenca escurre por los canales y como escurrimiento subterráneo.

D: final del escurrimiento directo. 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 fácil manera.

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. Es, entonces, el tiempo que dura el escurrimiento directo.

Rama ascendente. Es la parte del Hidrograma que va desde el punto de 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 partir del punto de inflexión, es una curva de vaciado de la cuenca.

El tiempo base de un Hidrograma aislado puede ser desde algunos minutos hasta varios días, y el pico puede tener valores del orden de unos cuantos litros por segundo hasta miles de metros cúbicos por segundo.

El área bajo el Hidrograma $\int_{t_0}^t Q dt$, es el volumen total escurrido; el área bajo el Hidrograma y arriba de la línea de separación entre gasto base y directo,

$\int_{t_0}^t (Q - Q_b) dt$, es el volumen de escurrimiento directo.

Si uno de los tramos seleccionados está formado por escurrimiento directo, se nota de inmediato que no es tangente a dicha línea; por ello estos tramos se eliminan

del análisis. La línea resultante se llama *curva de vaciado* del gasto base. El punto *D* del Hidrograma (véase figura 2.13) se localiza superponiendo la curva de vaciado (dibujada en papel aritmético y a la misma escala que el Hidrograma) a la curva de recesión del Hidrograma (véase figura 2.13). El punto *D* se encuentra entonces donde ambas líneas se separan. Este método es más preciso que el anterior, pero tiene la desventaja de que se requiere contar con varios Hidrogramas registrados anteriormente, lo que no siempre es posible.²²

2.5.3 Exceso de Precipitación y Escorrentía Directa

El exceso de precipitación, o precipitación efectiva, es la precipitación que no se retiene en la superficie terrestre ni tampoco se infiltra en el suelo. Después de fluir en la superficie de la cuenca, el exceso de precipitación se convierte en escorrentía directa a la salida de la cuenca. Las graficas de exceso de precipitación contra el tiempo o Hietograma de exceso de precipitación es un componente clave para el estudio de las relaciones lluvias escorrentía la diferencia entre el Hietograma de lluvia total que se observa y el Hietograma de exceso de precipitación se conoce como abstracciones o perdidas. Las pérdidas son primordialmente aguas absorbidas por infiltración con algo de intersección y almacenamiento superficial.²³

2.5.3.1 Coeficiente de escorrentía

Cada tipo de terreno, retendrá una mayor o menor cantidad de agua de forma superficial, por infiltración al terreno, por retención en la vegetación o por evaporación directa. La relación entre el agua evacuada por un río y el agua caída en forma de lluvia,

²² Fundamentos de Hidrología de Superficies, Francisco Aparicio, 1992, pág. 29-31

²³ Hidrología Aplicada, Ven Te Chow, 1994, pág. 138-139

o procedente de la fusión de la nieve, constituye el *coeficiente de escorrentía*. Con el conocimiento de los caudales que llegan en función del tiempo, se construirá el hidrograma de la avenida, que será el gráfico que indique dicha relación.²⁴

2.6 BALANCE HÍDRICO

El concepto de balance hídrico se deriva del concepto de balance en contabilidad, es decir, que es el equilibrio entre todos los recursos hídricos que ingresan al sistema y los que salen del mismo, en un intervalo de tiempo determinado. Sintéticamente puede expresarse de la siguiente forma:

$$Estado_{t+1} = Estado_t + \sum_{i=1}^N Entradas_i - \sum_{j=1}^M Salidas_j \quad (\text{Ec 2.12})$$

Para la determinación del balance hídrico se debe hacer referencia al sistema analizado.

Estos sistemas pueden ser, entre otros:

- Una cuenca hidrográfica;
- Un embalse;
- Un lago natural;
- Un país;
- El cuerpo humano.²⁵

²⁴ Hidrología Aplicada, Ven Te Chow, 1994, pág. 142-143

²⁵ http://es.wikipedia.org/wiki/Balance_hidrico

2.6.1 Balance hídrico de una cuenca hidrográfica

El estado inicial (en el instante t) de la cuenca o parte de esta, para efecto del balance hídrico, puede definirse como, la disponibilidad actual de agua en las varias posiciones que esta puede asumir, como por ejemplo: volumen de agua circulando en los ríos, arroyos y canales; volumen de agua almacenado en lagos, naturales y artificiales; en pantanos; humedad del suelo; agua contenida en los tejidos de los seres vivos; todo lo cual puede definirse también como la disponibilidad hídrica de la cuenca. Las entradas de agua a la cuenca hidrográfica pueden darse de las siguientes formas:

- Precipitaciones: lluvia; nieve; granizo; condensaciones;
- Aporte de aguas subterráneas desde cuencas hidrográficas colindantes, en efecto, los límites de los acuíferos subterráneos no siempre coinciden con los límites de los partidores de aguas que separan las cuencas hidrográficas;
- Transvase de agua desde otras cuencas, estas pueden estar asociadas a:
 - Descargas de centrales hidroeléctricas cuya captación se sitúa en otra cuenca, esta situación es frecuente en zonas con varios valles paralelos, donde se construyen presas en varios de ellos, y se interconectan por medio de canales o túneles, para utilizar el agua en una única central hidroeléctrica;
 - Descarga de aguas servidas de ciudades situadas en la cuenca y cuya captación de agua para uso humano e industrial se encuentra fuera de la cuenca, esta situación es cada vez más frecuente, al crecer las ciudades, el agua limpia debe irse a buscar cada vez más lejos, con mucha frecuencia en otras cuencas.

Las salidas de agua pueden darse de las siguientes formas:

- Evapotranspiración: de bosques y áreas cultivadas con o sin riego;
- Evaporación desde superficies líquidas, como lagos, estanques, pantanos, etc.;
- Infiltraciones profundas que van a alimentar acuíferos;
- Derivaciones hacia otras cuencas hidrográficas;
- Derivaciones para consumo humano y en la industria;
- Salida de la cuenca, hacia un receptor o hacia el mar.²⁶

2.7 METODO SCS PARA ABSTRACCIONES

El Soil Conservation Service (1972) desarrolló un método para calcular las abstracciones de la precipitación de una tormenta. Para la tormenta como un todo, la profundidad de exceso de precipitación o escorrentía directa P_e es siempre menor o igual a la profundidad de precipitación P ; de manera similar, después de que la escorrentía se inicia, la profundidad adicional del agua retenida en la cuenca Fa es menor o igual a alguna retención potencial máxima S (véase la figura 2.14). Existe una cierta cantidad de precipitación Ia (abstracción inicial antes del encharcamiento) para la cual no ocurrirá escorrentía, luego la escorrentía potencial es $P - Ia$.

²⁶ http://es.wikipedia.org/wiki/Cuenca_hidrogr%C3%A1fica

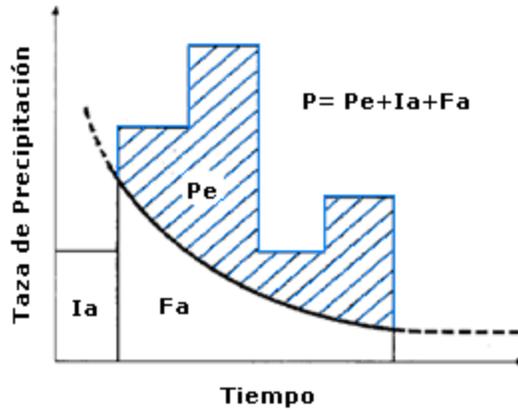


Figura 2.14. Variables en el método de abstracciones de precipitación del SCS: I_a = abstracción inicial, P_e =exceso de precipitación, F_a = abstracción continuada, P =precipitación total.

La hipótesis de este método del SCS consiste en que las relaciones de las dos cantidades reales y las dos cantidades potenciales son iguales, es decir:

$$\frac{F_a}{S} = \frac{P_e}{P - I_a}$$

Del principio de continuidad

$$P = P_e + I_a + F_a$$

Combinando las ecuaciones anteriores y resolviendo para P_e se encuentra

$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S}$$

La cual es la ecuación básica para el cálculo de la profundidad de exceso de precipitación o escorrentía directa de una tormenta utilizando el método SCS.

Al estudiar los resultados obtenidos para muchas cuencas experimentales pequeñas, se desarrolló una ecuación empírica,

$$I_a = 0.2S$$

Con base en esto

$$P_e = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S} \quad \text{Ec. 2.13}$$

Al representar en graficas la información de P y Pe para muchas cuencas, el SCS encontró curvas como las que se muestran en la figura 2.15. Para estandarizar estas curvas, se define un número adimensional de curva CN, tal que $0 \leq CN \leq 100$. Para superficies impermeables y superficies de agua $CN=100$; para superficies naturales $CN < 100$.

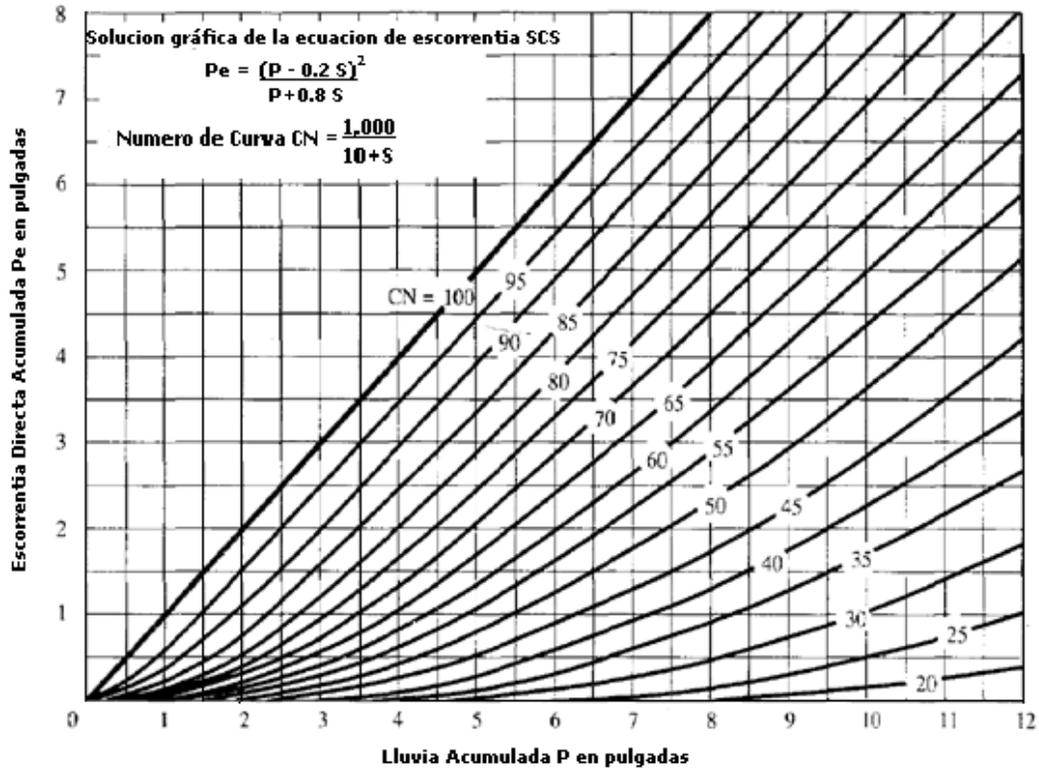


Figura 2.15. Solución de las ecuaciones de escorrentía del SCS. (Fuente; Soil Conservation Service, 1972.)

El número de curva y S se relacionan por,

$$S = \frac{1000}{CN} - 10 \quad (Ec. 2. 14)$$

Donde S esta en pulgadas.

Los números de curva han sido tabulados por el Soil Conservation Service con base en el tipo de suelo y el uso de la tierra (Tabla 2.2). Se definen en cuatro grupos de suelos:

- Grupo A:** Arena profunda, suelos profundos depositados por el viento, limos agregados.
- Grupo B:** Suelos poco profundos depositados por el viento, marga arenosa.
- Grupo C:** Margas arcillosas, margas arenosas poco profundas, suelos bajo contenido orgánico y suelos con altos contenidos de arcilla.
- Grupo D:** Suelos que se expanden significativamente cuando se mojan, arcillas altamente plásticas y ciertos suelos salinos.²⁷

Tabla 2.2 Números de curva de escorrentía para usos selectos de tierra agrícola, Suburbana y Urbana

Descripción del uso de la Tierra		Grupo Hidrológico del suelo			
		A	B	C	D
Tierra cultivada:	Sin tratamientos de conservación	72	81	88	91
	Con tratamientos de conservación	62	71	78	81
Pastizales:	Condiciones pobres	68	79	86	89
	Condiciones optimas	39	61	74	80
Vengas de ríos:	Condiciones optimas	30	58	71	78
Bosques:	troncos delgados, cubierta pobre sin hierbas	45	66	77	83
	cubierta buena	25	55	70	77
Áreas abiertas, césped, parques, campos de golf, cementerios, etc.		39	61	74	80
	Optimas condiciones: cubierta de pasto en el 75% o mas	49	69	79	84
	Condiciones aceptables: cubierta de pasto en el 50 al 75%	89	92	94	95
Áreas comerciales de negocios (85% impermeables)		81	88	91	93
Distritos industriales (72% impermeables)					
Residencial:					
Tamaño promedio del lote	Porcentaje promedio impermeable				
1/8 acre o menos	65	77	85	90	92
1/4 acre	38	61	75	83	87
1/3 acre	30	57	72	81	86
1/2 acre	25	54	70	80	85
1 acre	20	51	68	79	84
Parqueaderos pavimentados, techos, accesos, etc.		98	98	98	98
Calles y carreteras					
	Pavimentados con cunetas y alcantarillados	98	98	98	98
	Grava	76	85	89	91
	Tierra	72	82	87	89

²⁷ Hidrología Aplicada, Ven Te Chow, 1994, pág. 150-154

2.8 FACTOR DE SECCIÓN PARA CÁLCULO DE FLUJO UNIFORME

La expresión $AR^{2/3}$ se conoce como factor de sección para el cálculo de flujo uniforme, y es un elemento importante en el cálculo de flujo uniforme y puede ser expresado como:

$$AR^{2/3} = \frac{nQ}{1.49\sqrt{S}} \quad (\text{Ec. 2.15})$$

Donde:

$AR^{2/3}$ = Sección del Canal

n = Coeficiente de Rugosidad de Manning

Q = Caudal Uniforme

\sqrt{S} = Pendiente del canal

Esta ecuación se aplica a una sección de canal cuando el flujo es uniforme. La parte derecha de la ecuación contiene los valores de n , Q y S ; pero su parte izquierda corresponde solo a la geometría del área mojada. Por consiguiente para una determinada condición de n , Q y S , existe solo una profundidad posible para mantener el flujo uniforme siempre y cuando $AR^{2/3}$ aumente con incrementos en la profundidad. Esta profundidad es la profundidad normal. Cuando una sección de canal se conoce n y S , en la ecuación puede verse que puede existir solo un caudal para mantener un flujo uniforme a través de la sección, siempre y cuando $AR^{2/3}$ aumente siempre con un incremento en la profundidad. Este caudal es el Caudal Normal. La ecuación nos quedaría de la siguiente forma²⁸:

$$Q = \frac{1.49\sqrt{S} * AR^{2/3}}{n} \quad (\text{Ec. 2.16})$$

²⁸ Hidráulica de Canales Abiertos, Ven Te Chow, 1994, pág. 126-128

Los valores para n (coeficiente de rugosidad) se muestran dependiendo del tipo de canal en la Tabla 2.3

Tabla 2.3 Valores de coeficientes de rugosidad²⁹ n

Tipo de Canal y Descripción	mínimo	normal	máximo
D. Corrientes Naturales			
D-1 Corrientes menores (ancho superficial en nivel creciente <100 pies)			
<i>a. Corrientes en planicies</i>			
1. Limpias, rectas, máximo nivel, sin montículo ni pozos profundos	0,025	0,03	0,033
2. Igual al anterior, pero con mas piedras y malezas	0,03	0,035	0,04
3. Limpio, serpenteante, algunos pozos y bancos de arena	0,033	0,04	0,045
4. Igual al anterior, pero con algunos matorrales y piedras	0,035	0,045	0,05
5. Igual al anterior, niveles bajos, pendientes y secciones mas ineficientes	0,04	0,048	0,055
6. Igual al 4 pero con mas piedras	0,045	0,05	0,06
7. Tramos lentos, con malezas y pozos profundos	0,05	0,07	0,08
8. Tramos con muchas malezas, pozos profundos o canales de crecientes con muchos arboles con matorrales bajos	0,075	0,1	0,15
<i>b. Corrientes Montañosas sin vegetación en el canal, bancas usualmente empinadas, arboles y matorrales a lo largo de las bancas sumergidas en niveles altos</i>			
1. Fondo: Gravas, cantos rodados y algunas rocas	0,03	0,04	0,05
2. Fondo: Canto rodados con rocas grandes	0,04	0,05	0,07

²⁹ Fuente: Ven Te Chow, Hidráulica de Canales Abiertos, pág. 110

2.9 AVENIDAS

Una avenida (en algunos lugares se denomina también como *crecida* o *aguas altas*) es la elevación del nivel de un curso de agua significativamente mayor que el flujo medio de éste. Durante la crecida, el caudal de un curso de agua aumenta en tales proporciones que el lecho del río puede resultar insuficiente para contenerlo. Entonces el agua lo desborda e invade el lecho mayor, también llamado llanura aluvial.

Una crecida elemental sólo afecta a uno o varios afluentes y puede tener causas muy diferentes: *pluvial*, debido a las lluvias continuas sobre una cuenca poco permeable o que ya se ha empapado de agua; *nival*, provocada por la fusión de las nieves, el deshielo que provoca la ruptura del obstáculo congelado que retenía las aguas, etc. Muchas veces dos o más de estas causas simples suman sus efectos y el río, sobre todo después de haber recibido las aguas de varios afluentes importantes, experimenta una crecida compleja.

Por otra parte, las avenidas se pueden caracterizar según su variabilidad en el tiempo, así se pueden distinguir:

- **Avenidas periódicas**, que generalmente no causan daños, e incluso son benéficas. Este tipo de avenidas es de larga duración, pudiendo durar semanas o meses. Son causadas por las variaciones climáticas de vastas regiones de la cuenca hidrográfica. Son previsibles, pudiéndose tomar medidas de protección para evitar o minimizar los daños.
- **Avenidas excepcionales**: Estas son causadas por precipitaciones intensas sobre toda la cuenca o parte de esta. Son difícilmente previsibles, para ello se requiere de una red de monitoreo operada en tiempo real. Generalmente causan daños a las poblaciones y a la infraestructura económica.

- **Combinación de ambas:** Generalmente causan daños, son difícilmente previsibles si no se cuenta con una red de monitoreo en tiempo real.³⁰

2.9.1 Características de una avenida

Las principales características de una avenida son:

- Su caudal máximo o pico
- El volumen de la avenida;
- La velocidad con que aumenta su caudal.

Estas características, para un mismo tipo de precipitación (es decir, misma intensidad y tiempo de aguacero), varían en función de características intrínsecas de la cuenca: su extensión, la pendiente y tipo del terreno, etc., y también de características modificables por las actividades antrópicas: la cobertura vegetal, los tipos de preparación del suelo para la agricultura, las áreas impermeabilizadas como áreas urbanas, etc.³¹

2.9.2 Agravantes de las Crecidas

Entre las causas que agravan la importancia de las crecidas se encuentran:

- La impermeabilidad del suelo de la cuenca, además de su excesiva pendiente y falta de vegetación que hacen que el agua discurra velozmente y no se infiltre.
- Los lechos estrechos y con pendientes muy acentuadas, que no pueden conservar volúmenes suficientes de agua suplementaria.
- La existencia de confluencias muy próximas de unas a otras.

³⁰ [http://es.wikipedia.org/wiki/Avenida_\(hidrología\)](http://es.wikipedia.org/wiki/Avenida_(hidrología))

³¹ [http://es.wikipedia.org/wiki/Avenida_\(hidrología\)](http://es.wikipedia.org/wiki/Avenida_(hidrología))

Las crecidas más importantes no se deben a la torrencialidad de sus precipitaciones sino a la persistencia y a la repetición de lluvias muy intensas durante varios días. El suelo se satura y no puede absorber mucha más agua, y al no salir el sol, la evaporación es poco relevante. En todo caso, ello no excluye la existencia de crecidas devastadoras debidas a la onda potente formada en un río secundario por lluvias torrenciales.

2.9.3 Período de Retorno

También llamado de recurrencia, es un concepto estadístico de gran aplicación en el ámbito de la ingeniería. Intenta proporcionar, en términos de un determinado periodo de tiempo habitualmente expresado en años, una idea de hasta qué punto un suceso puede considerarse raro. En hidrología es frecuente considerar zona inundable a aquella que es cubierta por las aguas en tormentas de hasta quinientos años de período de retorno. Esto significa que la cantidad de lluvia caída en un sólo día para ese período de retorno solamente se iguala o supera, estadísticamente, una vez en el período de tiempo de 500 años. En términos numéricos se expresa que la probabilidad de que se presente una precipitación superior en un determinado año es $p = 1/500 = 0.002 = 0.2\%$; o bien, la probabilidad de que no se presente es la complementaria, $1 - p = 0.998 = 99,8\%$. Sin embargo eso no implica que no puedan producirse dos tormentas de tal o superior intensidad en dos años consecutivos, o incluso en un mismo año.³²

³² http://es.wikipedia.org/wiki/Periodo_de_retorno

2.10 EMBALSES

Son volúmenes de agua retenidos en un vaso topográfico natural o artificial gracias a la realización de obras hidráulicas.

2.10.1 Clasificación de Embalses

La clasificación de los embalses se puede hacer según su función y según su tamaño, de la siguiente manera:

1) Según su función

- ◆ Embalses de acumulación: retienen excesos de agua en períodos de alto escurrimiento para ser usados en épocas de sequía.
- ◆ Embalses de distribución: no producen grandes almacenamientos pero facilitan regularizar el funcionamiento de sistemas de suministro de agua, plantas de tratamiento o estaciones de bombeo.
- ◆ Pondajes: pequeños almacenamientos para suplir consumos locales o demandas pico.

2) Según su tamaño

La clasificación de los embalses de acuerdo al tamaño se hace más por razones de tipo estadístico que por interés desde el punto de vista técnico.

- ◆ Embalses gigantes $V > 100,000 \text{ Mm}^3$
- ◆ Embalses muy grandes $100,000 \text{ Mm}^3 > V > 10,000 \text{ Mm}^3$
- ◆ Embalses grandes $10,000 \text{ Mm}^3 > V > 1,000 \text{ Mm}^3$
- ◆ Embalses medianos $1,000 \text{ Mm}^3 > V > 1 \text{ Mm}^3$
- ◆ Embalses pequeños o pondajes $V < 1 \text{ Mm}^3$

Donde:

\forall : Volumen del embalse

Mm^3 : millones de metros cúbicos

2.10.2 Características de los Embalses

Lo más importante de un embalse es su capacidad de almacenamiento, que se representa por medio de las curvas características las cuales son, ver figura 2.16

- 1) Curva área-elevación: se construye a partir de información topográfica planimetrando el área comprendida entre cada curva de nivel del vaso topográfico. Indica la superficie inundada correspondiente a cada elevación.
- 2) Curva capacidad-elevación: se obtiene mediante la integración de la curva área-elevación.

Indica el volumen almacenado correspondiente a cada elevación.

Se requiere para determinar estas curvas de información topográfica consistente en un plano topográfico de la cuenca hidrográfica. Escalas usuales son 1:50.000, 1:25.000, 1:20.000, 1:10.000, 1:5.000, y 1:1.000, con curvas de nivel entre 20 m y 1 m, dependiendo de la magnitud del proyecto y del nivel de precisión requerido³³.

El incremento de volumen entre dos curvas de nivel consecutivas se calcula con la siguiente expresión:

$$\Delta\forall = \frac{\Delta h}{3} (A_i + A_s + \sqrt{A_i * A_s}) \quad (\text{Ec. 2.17})$$

³³ <http://atenea.unicauca.edu.co/~hdulica/embalse.pdf>

Donde:

ΔV = incremento de volumen entre curvas de nivel consecutivas

Δh = diferencia de nivel entre curvas de nivel consecutivas

A_i = área correspondiente a un nivel inferior

A_s = área correspondiente a un nivel superior

Tabla 2.4 Área Y Volumen de Embalse.

Elevación (msnm)	Área (Ha)	Área (m ²)	Δh (m)	ΔV (Mm ³)	V (Mm ³)
1158	0.0	0			0
1160	3.5	35,000	2	0.02	0.02
1162	12.5	125,000	2	0.15	0.17
1164	23.0	230,000	2	0.35	0.52
1166	36.0	360,000	2	0.59	1.11
1168	65.5	655,000	2	1.00	2.11
1170	93.0	930,000	2	1.58	3.69
1172	121.5	1,215,000	2	2.14	5.83
1174	167.8	1,678,000	2	2.88	8.71
1176	190.4	1,904,000	2	3.58	12.29
1178	240.8	2,408,000	2	4.30	16.59
1180	365.3	3,653,000	2	6.02	22.61

msnm: metros sobre el nivel del mar

Ha: hectáreas

Mm³: millones de metros cúbicos

V = volumen acumulado correspondiente a cada nivel

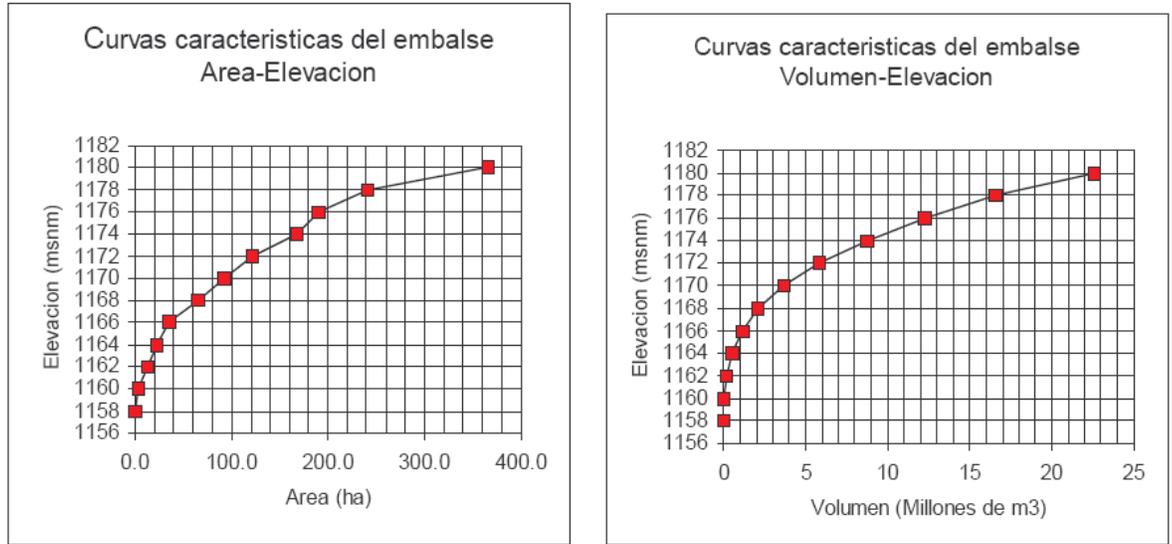


Figura 2. 16 Curvas características de los Embalses

2.11 HUMEDALES

Los humedales son zonas donde el agua es el principal factor controlador del medio y la vida vegetal y animal asociada a él. Los humedales se dan donde la capa freática se halla en la superficie terrestre o cerca de ella o donde la tierra está cubierta por aguas³⁴.

La Convención de Ramsar aplica un criterio amplio a la hora de determinar qué humedales quedan sujetos a sus disposiciones.

Según RAMSAR se entiende por Humedales:

“Las extensiones de marismas, pantanos y turberas, o superficies cubiertas de aguas, sean éstas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluidas las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda de seis metros”.

³⁴ Manual de la Convención de Ramsar, 4a. edición (2006), http://195.143.117.139/lib/lib_manual2006s.htm

2.11.1 Clasificación de los Humedales

En general, se reconocen cinco tipos de humedales principales³⁵:

- ◆ **Marinos** (humedales costeros, inclusive lagunas costeras, costas rocosas y arrecifes de coral);
- ◆ **Estuarinos** (incluidos deltas, marismas de marea y manglares);
- ◆ **Lacustres** (humedales asociados con lagos);
- ◆ **Ribereños** (humedales adyacentes a ríos y arroyos); y
- ◆ **Palustres** (es decir, “pantanosos” - marismas, pantanos y ciénagas).

La Convención de Ramsar ha adoptado un Sistema Ramsar de Clasificación de Tipos de Humedales que incluye 42 tipos, agrupados en tres categorías: humedales marinos y costeros, humedales continentales y humedales artificiales.

Hay humedales en todas partes. No se sabe con exactitud qué porcentaje de la superficie terrestre se compone actualmente de humedales. Según la estimación del PNUMA-Centro Mundial de Monitoreo de la Conservación sería de unos 570 millones de hectáreas (5,7 millones de km²) - aproximadamente el 6% de la superficie de la Tierra - de los cuales 2% son lagos, 30% turberas arbustivas o abiertas (“bogs”), 26% turberas de gramíneas o carrizo (“fens”), 20% pantanos y 15% llanuras aluviales.

2.11.2 Importancia de los Humedales

Los humedales figuran entre los medios más productivos del mundo. Son cunas de diversidad biológica y fuentes de agua y productividad primaria de las que innumerables especies vegetales y animales dependen para subsistir. Dan sustento a altas

³⁵ Manual de la Convención de Ramsar, 4a. edición (2006), http://195.143.117.139/lib/lib_manual2006s.htm

concentraciones de especies de aves, mamíferos, reptiles, anfibios, peces e invertebrados. Los humedales son también importantes depósitos de material genético vegetal.



Fotografía 2.1 Laguna de Olomega declarada sitio Ramsar

Los humedales son importantes, y a veces esenciales, para la salud, el bienestar y la seguridad de quienes viven en ellos o en su entorno. Figuran entre los medios más productivos del mundo y reportan un amplio abanico de beneficios³⁶.

2.11.3 Funciones de los Humedales

Las interacciones de los componentes físicos, biológicos y químicos de un humedal, como los suelos, el agua, las plantas y los animales, hacen posible que desempeñe muchas funciones vitales, como por ejemplo³⁷:

- 💧 Almacenamiento de agua;
- 💧 Protección contra tormentas y mitigación de crecidas;

³⁶ Manual de la Convención de Ramsar, 4a. edición (2006), http://195.143.117.139/lib/lib_manual2006s.htm

³⁷ Manual de la Convención de Ramsar, 4a. edición (2006), http://195.143.117.139/lib/lib_manual2006s.htm

- Estabilización de costas y control de la erosión;
- Recarga de acuíferos (movimiento descendente de agua del humedal al acuífero subterráneo);
- Descarga de acuíferos (movimiento ascendente de aguas que se convierten en aguas superficiales en un humedal);
- Depuración de aguas;
- Retención de nutrientes;
- Retención de sedimentos;
- Retención de contaminantes;
- Estabilización de las condiciones climáticas locales, particularmente lluvia y temperatura.

2.11.4 Valores de los Humedales

Los humedales reportan a menudo beneficios económicos enormes, como por ejemplo³⁸:

- Abastecimiento de agua (cantidad y calidad);
- Pesca (más de dos tercios de las capturas mundiales de peces están vinculadas a la salud de las zonas de humedales);
- Agricultura, gracias al mantenimiento de las capas freáticas y a la retención de nutrientes en las llanuras aluviales;
- Madera y otros materiales de construcción;
- Recursos energéticos, como turba y materia vegetal;
- Recursos de vida silvestre;

³⁸ Manual de la Convención de Ramsar, 4a. edición (2006), http://195.143.117.139/lib/lib_manual2006s.htm

- Transporte;
- Un amplio espectro de otros productos de humedales, incluidas hierbas medicinales;
- Posibilidades de recreación y turismo.

Los humedales poseen atributos especiales como parte del patrimonio cultural de la humanidad - están asociados a creencias religiosas y cosmológicas y a valores espirituales, constituyen una fuente de inspiración estética y artística, aportan información arqueológica sobre el pasado remoto, sirven de refugios de vida silvestre y de base a importantes tradiciones sociales, económicas y culturales locales.



Fotografía 2.2 La Laguna de Olomega alberga una gran cantidad de animales silvestres y es estación de aves migratorias.

2.12 CRECIDAS E INUNDACIONES

“Una crecida es la respuesta de una cuenca hidrográfica ante la ocurrencia de una precipitación que abarcó total o parcialmente a su área de aporte, dependiendo de las características de la cuenca y la precipitación. Una inundación es la condición temporaria de ocupación parcial o completa de tierras generalmente secas por parte del

agua proveniente del desborde de un río, y/o la acumulación inusual de agua desde cualquier fuente. De esto radica que una crecida no necesariamente provoca una inundación, ya que puede o no desbordarse de su cauce natural.

Una crecida puede preverse en un determinado lugar a corto o largo plazo. Cuando se prevé a corto plazo se le llama pronóstico en tiempo real e implica el seguimiento de la crecida cuando la precipitación es conocida o prevista. Esto se puede lograr de diversas maneras, como mediante el uso de un modelo matemático hidrológico-hidráulico que calcula el caudal (o nivel) del río en base a la precipitación conocida, mediante el uso de relaciones precipitación-nivel o relaciones nivel-nivel.

Cuando se prevé a largo plazo, se debe hacer de manera estadística, ya que no se puede estimar la precipitación o caudal de un lugar con demasiada anticipación. Al hacerlo estadísticamente implica tener que calcular las probabilidades de ocurrencia de cierto nivel caudal a partir de datos históricos del lugar, si se tienen, o de un lugar con características similares.

Las crecidas pueden clasificarse estadísticamente, dependiendo principalmente de su período de retorno. Si el período de retorno es menor a diez años, se le denomina como ordinaria. Si posee un período de retorno entre diez y cien años, se le llama extraordinaria, mientras que si es mayor a cien años se le conoce como excepcional. Sin embargo, es una crecida episódica cuando tiene un período de retorno de más de cien años y existen rasgos geológicos y geomorfológicos en el paisaje ³⁹

³⁹ Desarrollo y Aplicación de una Metodología de Ordenamiento Territorial en Zonas Susceptibles a Inundación en La Cuenca del Río Jiboa, Eduardo Antonio Chávez, pág. 11

2.12.1 Tipos de Inundaciones

2.12.1.1 Clasificación por causas de inundaciones⁴⁰

💧 *Inundaciones por precipitaciones “InSitu”*

Este tipo de inundación es la que se produce por la acumulación de agua de lluvia en un determinado lugar sin que ese fenómeno coincida necesariamente con el desbordamiento de un cauce fluvial. Este tipo de inundación es causado por una serie de precipitaciones intensas o persistentes, lo cual se puede dar en dos casos. Puede producirse por una lluvia intensa durante considerablemente poco tiempo o por una lluvia persistente o moderada durante un extenso período de tiempo. El primero de estos casos es el que posee el mayor peligro para la población y sus bienes y el que plantea los principales inconvenientes a los servicios de coordinación e intervención para prevenir y controlar sus daños, ya que hacen que el tiempo de respuesta de la población y de los servicios de emergencia sea más reducido.

💧 *Inundaciones por acciones del mar*

Estas inundaciones pueden clasificarse en dos tipos de acciones: dinámicas y estáticas. Son acciones dinámicas del mar aquellas que son provocadas por un tsunami o maremoto. Sin embargo, este tipo de inundaciones no es muy común en el país. Las acciones estáticas del mar no originan por sí solas las inundaciones pero contribuyen de manera directa a su generación, ya que con marea alta, por ejemplo, obstaculizan el

⁴⁰ Desarrollo y Aplicación de una Metodología de Ordenamiento Territorial en Zonas Susceptibles a Inundación en La Cuenca del Río Jiboa, Eduardo Antonio Chávez, pág. 12

drenaje de los ríos en sus desembocaduras y de esta manera frenan la evacuación de las aguas fluviales al mar abierto, que es su desagüe natural final.

💧 *Inundaciones por desbordamientos de los ríos*

Entre las causas de los desbordamientos de los ríos se encuentran los excedentes de agua o precipitación, los deslizamientos del terreno, los arrastres de sólidos, la acumulación de sedimentos, los estrechamientos, los puentes, la deforestación, entre otros. Pero la razón más trascendental del desbordamiento de los ríos es la provocada por las crecidas, suceso que sólo o combinado con las causas anteriormente citadas provocan el desbordamiento e inundación de sus márgenes. Algunos de los efectos de estos desbordamientos son el peligro de la vida de personas y animales, inundaciones de riberas, daños en las vías de comunicación, edificaciones y cambios en el curso del río. Son por ello especialmente vulnerables las zonas muy planas y los puntos en los que los ríos se estrechan o pierden profundidad, especialmente en las desembocaduras donde se acumula el sedimento arrastrado por la corriente.

💧 *Inundación por rotura u operación incorrecta de obras de infraestructura hidráulica*

Se trata de un hecho circunstancial poco probable y no necesariamente relacionado con los fenómenos meteorológicos, sino más bien con los geológicos o con la técnica. Pero es evidente que la rotura de una presa, por pequeña que ésta sea, puede llegar a causar una serie de problemas no sólo a la población sino también a sus bienes, a las infraestructuras y al medioambiente. La propagación de la onda en este caso resultará tanto más dañina cuanto mayor sea el caudal, el tiempo de propagación y los elementos existentes en la zona, como asentamiento humano o infraestructura.

2.12.1.2 Clasificación de Inundaciones de acuerdo a Zonas afectadas

Las zonas afectadas se pueden dividir en tres tipos⁴¹:

💧 *Zonas Montañosas*

Las inundaciones que se dan en las cuencas montañosas, o zonas con altas pendientes, se conocen como "crecidas instantáneas". Se caracterizan por tener una corta duración y un comienzo repentino. Aunque los daños ocurren en áreas limitadas, su alta velocidad de flujo y alto contenido de escombros ocasionan desastres fatales.

💧 *Valles*

En los valles, la carga de sedimentos de las zonas montañosas es depositada en los lechos de los ríos, elevando su nivel. Al mismo tiempo, la gran cantidad de escombros son detenidos o atrapados por puentes o acumulados en los canales. Como resultado de lo anterior, las crecientes tienden a fluir en forma desordenada produciendo efectos dañinos para las orillas del cauce o sus diques, donde éstos existen.

💧 *Llanuras o Planicies.*

Por último, las características principales de las inundaciones en llanuras aluviales son su amplia cobertura y su larga duración, debido a la atenuación de la onda de crecida a medida que se desplaza aguas abajo. Por lo tanto, los daños causados pueden ser enormes.

⁴¹ Desarrollo y Aplicación de una Metodología de Ordenamiento Territorial en Zonas Susceptibles a Inundación en La Cuenca del Río Jiboa, Eduardo Antonio Chávez, pág. 13

Algunos de los problemas que se presentan con las inundaciones son los siguientes:

- Anegamiento de las llanuras de inundación y daños en viviendas, vías de comunicación, y producción agropecuaria, con pérdida de vidas humanas en algunos casos.
- Drenaje lento de las áreas inundadas las cuales se convierten en depósito de aguas prácticamente estancadas. Esta situación genera problemas sanitarios sobre la población.
- Ataques del flujo sobre las márgenes del cauce principal lo cual produce cambios de curso permanentes y pérdida de áreas productivas.

2.12.2 Factores que Afectan una Inundación

Las inundaciones se dan por diversos factores, muchos de ellos climatológicos, ambientales, físicos, hidráulicos e inclusive por intervención del hombre.

Un factor importante es la *precipitación*, la cual es la medición recogida por un pluviómetro, registrada en milímetros o calculada en volumen de agua precipitada por unidad de tiempo, y es determinante para conocer el alcance de una inundación. Un alto índice de precipitaciones en un corto tiempo es peligroso en cuanto las escorrentías superficiales no logran filtrarse y por ende saturan la capacidad de evacuación de los cauces.

Otro factor es la topografía de la zona, especialmente las pendientes. Al aumentar la pendiente, aumenta el flujo de las escorrentías en su cauce y velocidad. Esto reduce el tiempo de concentración y aumenta la erosión del suelo, arrastrando a su paso elementos sólidos que se depositan en sus lechos, provocando la disminución de la sección de los ríos o su total o parcial obstrucción. Cuando la pendiente es pequeña, y el

terreno es casi plano, se produce el efecto contrario pero igualmente dañino. En este caso, el agua tiende a estancarse y el río no alcanza a evacuar el agua o lo hace muy lentamente, fenómeno aumentado en muchas ocasiones por la escasa permeabilidad o la saturación del subsuelo.

La permeabilidad del suelo contribuye a la disminución de los caudales superficiales, permitiendo la infiltración del agua para formar parte de las escorrentías subterráneas y la formación y regeneración de acuíferos. En suelos impermeables, como los arcillosos, se produce un volumen alto de escorrentía superficial o se forman lagunetas dependiendo del grado de inclinación del terreno. La permeabilidad del suelo depende en parte de la cubierta vegetal que posea, el cual es otro factor relevante.

La cubierta vegetal impide la erosión, al mismo tiempo que con sus raíces absorbe una parte de ella o dificulta su avance hacia los ríos, prolongando en éstos su tiempo de concentración. Además colabora en la disminución del transporte de residuos sólidos que posteriormente afectan a los cauces. Al remover la cubierta vegetal o deforestar una zona, se aumenta el riesgo a una inundación.

Otras veces las inundaciones son causadas por las intervenciones del hombre en el cauce del río. Entre las maneras en que el hombre interviene se encuentra el cambio del uso de la tierra, la deforestación, la invasión de asentamientos humanos en los cauces de los ríos, e inclusive es una forma indirecta de intervención la avería o rompimiento de una obra hecha por el hombre, como un dique o presa, la cual causa una crecida sustancial del nivel del agua y produce una inundación.⁴²

⁴² Desarrollo y Aplicación de una Metodología de Ordenamiento Territorial en Zonas Susceptibles a Inundación en La Cuenca del Río Jiboa, Eduardo Antonio Chávez, pág. 13

2.13 MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y CONTROL DE INUNDACIONES

Para hacerle frente a las inundaciones y sus efectos, se podrían dividir las acciones en dos grandes bloques: las emergentes y las preventivas. Las actuaciones emergentes son aquellas que se derivan de la propia situación de emergencia, como la evacuación de viviendas y el rescate de vidas. Las actuaciones preventivas son las que tiene como objetivo principal disminuir el posible daño ocasionado por amenazas naturales antes de que éstas ocurran.

Estas puede dividirse en tres grupos: acciones estructurales, acciones no-estructurales y planificación.⁴³

2.13.1 Acciones Estructurales

Se aplican con el objeto de obstaculizar, en lo posible, los fenómenos de formación y propagación de las avenidas. Son llamados estructurales porque suponen la construcción de una obra hidráulica o implican una manipulación del terreno por donde circula el agua. Como ejemplo de dichas acciones tenemos: trabajos de reforestación, limpieza de los cauces o dragados, encausamiento de los ríos, áreas inundables predeterminadas, presas y drenajes.

Las acciones estructurales son considerablemente costosas, pero no menos costosas que los daños producidos por las inundaciones si ocurrieren y no existiera la

⁴³ Desarrollo y Aplicación de una Metodología de Ordenamiento Territorial en Zonas Susceptibles a Inundación en La Cuenca del Río Jiboa, Eduardo Antonio Chávez, pág. 16

obra. Por ende, debe ser considerada una inversión a largo plazo para prevenir daños ocasionados por estas amenazas de la naturaleza.⁴⁴

2.13.2 Acciones No Estructurales

Las acciones no estructurales van encaminadas a impedir, reducir, minimizar o incluso anular los daños generados por las inundaciones. Sin embargo, ya no implican la construcción de una obra, sino una predicción del suceso y cálculo de las probabilidades de aparición en el tiempo y afección del entorno.

Entre las medidas no-estructurales se pueden nombrar: La elaboración de mapas de riesgo, la identificación y zonificación de las áreas inundables y la contratación de seguros. La elaboración de mapas de riesgos, identificación y zonificación de áreas inundables, provee de una herramienta útil para las personas que viven en zonas de inundación y para el futuro desarrollo del área, siendo éste el objeto del estudio realizado.⁴⁵

2.13.3 Acciones Preventivas

Su objetivo es el de prever el riesgo y sus efectos para estar preparados en caso de desastre, pudiendo ser a corto o a largo plazo. Las prevenciones a corto plazo son alertar a la población ribereña, la evacuación preventiva de las zonas inundables, la creación de defensas provisionales con sacos de arena u otros materiales más sólidos, la

⁴⁴ Desarrollo y Aplicación de una Metodología de Ordenamiento Territorial en Zonas Susceptibles a Inundación en La Cuenca del Río Jiboa, Eduardo Antonio Chávez, pág. 16

⁴⁵ Desarrollo y Aplicación de una Metodología de Ordenamiento Territorial en Zonas Susceptibles a Inundación en La Cuenca del Río Jiboa, Eduardo Antonio Chávez, pág. 17

restricción de la circulación por carretera, el desalojo de maquinaria agrícola y otros bienes costosos y el traslado del ganado hacia zonas altas.

Las prevenciones a largo plazo pueden incluir la concientización de la población en zonas de riesgo y su educación.⁴⁶

2.14 ELABORACION DE MAPAS

La elaboración de mapas es una acción no estructural para el control de las inundaciones, generalmente se construyen tres tipos de mapas; Mapa de Amenaza, Mapa de Vulnerabilidad y Mapa de Riesgos. A continuación veremos algunas definiciones para una mejor comprensión:

Amenazas

Es la probabilidad de ocurrencia de un evento (sismos, deslizamientos, inundaciones, huracanes, tsunamis, erupciones volcánicas, etc.) potencialmente dañino, caracterizado por una cierta intensidad, dentro de un período dado y en un área determinada.

Vulnerabilidades

Es el sistema de condiciones y procesos resultado de los factores físicos, sociales, económicos, culturales y ambientales, que aumentan o disminuyen la susceptibilidad de una comunidad o infraestructura al impacto de las amenazas.

⁴⁶ Desarrollo y Aplicación de una Metodología de Ordenamiento Territorial en Zonas Susceptibles a Inundación en La Cuenca del Río Jiboa, Eduardo Antonio Chávez, pág. 17

💧 Riesgos

Es la probabilidad de que se produzcan pérdidas socio-económicas en un determinado momento y en un área del territorio determinada, a causa de una amenaza.

Se obtiene de relacionar la amenaza con la vulnerabilidad de los elementos expuestos.⁴⁷

2.14.1 Mapas de Amenaza

La amenaza está en función de la probabilidad de ocurrencia del fenómeno y de su intensidad. La intensidad a su vez se puede definir en función de la profundidad y la velocidad del agua, así como de la duración de las inundaciones. Por tanto, la definición de amenaza por inundaciones (en función del daño potencial), debe tener en cuenta, tanto la probabilidad o frecuencia de ocurrencia de la inundación, como los niveles o altura del agua⁴⁸.

$$\text{Amenaza por inundación} = f(\text{Intensidad} \times \text{Probabilidad de ocurrencia})$$

Donde:

Intensidad = f (profundidad de agua, duración, velocidad)

Probabilidad = f (precipitaciones, eventos desencadenantes (huracanes y tormentas), cambios climáticos).

⁴⁷ Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales, Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación, Proyecto MET-ALARN, Inundaciones Fluviales, Mapas de Amenaza, Recomendaciones Técnicas para su Elaboración pág. 11

⁴⁸ Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales, Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación, Proyecto MET-ALARN, Inundaciones Fluviales, Mapas de Amenaza, Recomendaciones Técnicas para su Elaboración pág. 15

2.14.1.1 Criterios para la Evaluación de la Intensidad o Magnitud de la Inundación

La intensidad y los efectos potenciales de las inundaciones dependen de varios aspectos, no sólo de aspectos meteorológicos, sino también de las características propias del terreno, como son los tipos y usos del suelo, el tipo y la distribución de la vegetación, la litología, las características de la red de drenaje, magnitud de las pendientes de la cuenca, obras realizadas en los cauces etc. Otros aspectos importantes a considerar son los meandros y las zonas en los que los ríos se estrechan o pierden profundidad por falta de dragado, especialmente en las desembocaduras donde se acumula el limo y la tierra arrastrada por la corriente.

Los criterios recomendados para evaluar la intensidad de las inundaciones son diferentes en dependencia del tipo de inundación. Para inundaciones estáticas se considera la profundidad o altura del flujo. Mientras que para inundaciones dinámicas se recomienda utilizar el producto de la velocidad por la profundidad del flujo.

Los umbrales entre los niveles de intensidad alta, media y baja, han sido definidos considerando la peligrosidad que una determinada columna de agua puede significar para la infraestructura o las viviendas y la vida de los pobladores. En la Tabla 2.5 se presentan los rangos definidos para cada nivel de intensidad para inundaciones.

TABLA 2.5 Niveles de Intensidad en Inundaciones

Inundaciones Estáticas			Inundaciones Dinámicas			
Profundidad	≥ 1.00 m	Intensidad Alta	1.50 m	0.75	1.50	2.25
	0.5 - 1.00 m	Intensidad Media	1.00 m	0.50	1.00	1.50
	0.25 - 0.50 m	Intensidad Baja	0.50 m	0.25	0.50	0.75
			Velocidad (m/s)			
				0.50	1.00	1.50

Leyenda de Colores

- Intensidad Alta
- Intensidad Media
- Intensidad Baja

Las inundaciones de alta intensidad corresponden a aquellas que presentan profundidades de flujo mayores a 1m o el producto resultante de la velocidad por altura ($V*H$) es mayor a $1.5 \text{ m}^2/\text{s}$. Los daños causados por una inundación de alta intensidad generalmente son altos en pérdidas de vidas y para la economía.

Las inundaciones de media intensidad son aquellas con altura (H) de agua entre 0.5 y 1m o el producto resultante de la velocidad por altura ($V*H$) entre 0.5 y $1.5 \text{ m}^2/\text{s}$. Los daños económicos y a la población son menores que en el caso de la inundación intensa, pero no despreciables.

Las inundaciones de baja intensidad corresponden a aquellas con profundidad del flujo superiores a 0.25m pero inferiores a los 0.5m, o $V*H$ menor a $0.5 \text{ m}^2/\text{s}$.

Los daños asociados son generalmente leves, no se esperan pérdidas en vidas humanas, aunque sí pueden darse pérdidas en áreas de cultivo y animales⁴⁹.

2.14.1.2 Determinación de los Niveles de Amenaza por Inundaciones.

Los niveles de amenaza por inundación de un área dada, resultan de la relación entre frecuencia de las inundaciones y su intensidad (es decir su profundidad, o el producto de la profundidad por la velocidad).

Los niveles de amenaza considerados son tres: **Alta, Media y Baja**, que resultan de la combinación de tres niveles de periodo de retorno y 3 intensidades o profundidades (H) del flujo de agua (Tabla 2.6)

⁴⁹ Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales, Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación, Proyecto MET-ALARN, Inundaciones Fluviales, Mapas de Amenaza, Recomendaciones Técnicas para su Elaboración. pág. 15-17

TABLA 2.6 Niveles de Amenazas

Intensidad	Alta ≥ 1.00 m	Alta	Alta	Alta
	Media $50 \leq H < 1.00$ m	Alta	Media	Baja
	Baja $0.25 \text{ m} \leq H < 0.5$	Media	Baja	Baja
		Alta $Tr \leq 10$	Media $10 < Tr \leq 50$	Baja $50 < Tr \leq 200$
		Frecuencia		

2.14.1.3 Zonificación de la Amenaza por Inundaciones

Conocida el área de inundación para diferentes períodos de retorno, los criterios para determinar el nivel de amenaza son definidos con los mismos criterios de período de retorno e intensidad (profundidad de flujo) tanto para mapas a escala 1:50'000 como a escala 1:10,000 y 1: 5,000

Las zonas inundables se clasificarán en la forma siguiente:

- **Zonas de amenaza alta.** Son aquellas zonas en donde la inundación de cualquier frecuencia supera 1m o 1.5 m²/s produciendo graves daños a la población e infraestructura expuesta a ésta. También se considera zona de alta amenaza aquella inundación de alta frecuencia con profundidades de agua desde 0.5 a 1m o 0.5 a 1.5m²/s.
- **Zonas de amenaza media** Son aquellas zonas en donde la inundación de frecuencia alta es menor a 0.5m, y la inundación de frecuencia moderada es menor a 1m o 1.5m²/s, y producirá generalmente daños reparables a viviendas e infraestructura, pero no destrucción total, y algunas pérdidas de vidas.

• **Zonas de amenaza baja** Son aquellas zonas en donde la inundación de frecuencia moderada no supera 0.5m o 0.5m²/s produciendo daños leves a la población e infraestructura. Las inundaciones de frecuencia baja pueden llegar hasta 1m o 1.5 m²/s.⁵⁰

2.14.2 Mapas de Vulnerabilidad

La vulnerabilidad es el grado de pérdida de un conjunto dado de elementos, como resultado de la ocurrencia de un fenómeno (s). Los elementos que pueden ser afectados dentro de las áreas de ocurrencia de la amenaza; se tienen calles, edificaciones, población, parcelas.

Vulnerabilidad = Grado de Destrucción

Vulnerabilidad = f (Magnitud del evento y tipo de elementos bajo riesgo)

El proceso de la asignación de valores de ponderación es similar al de la amenaza y está basado en la importancia del elemento dentro del desenvolvimiento social en términos económicos y de sustentabilidad.

A continuación se presenta como ejemplo la ponderación asignada por el SNET en el mapeo de la vulnerabilidad en una zona metropolitana de San Salvador (Tabla 2.7)⁵¹.

⁵⁰ Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales, Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación, Proyecto MET-ALARN, Inundaciones Fluviales, Mapas de Amenaza, Recomendaciones Técnicas para su Elaboración pág. 19

⁵¹ Análisis De Riesgo Por Inundaciones Y Deslizamientos De Tierra En La Microcuenca Del Arenal De Montserrat, San Salvador, SNET.

TABLA 2.7 Ponderaciones según Nivel de Importancia

Descripción de Parámetros para Uso del Suelo	Ponderación
Habitacional ADI	7
Habitacional MDI	7
Habitacional BDI	7
Comercial	10
Industrial	10
Institucional	5
Educativo	10
Recreativo	3
Deportivo	3
Salubridad	10
Hidráulico	10
Eléctrico	10
Café	3
Plantaciones Permanentes	3
Plantaciones Temporales	3
Praderas (pastos)	1
Bosques (áreas protegidas)	1
Plantaciones Heterogéneas	1
Arboledas, Matorral	1
Plantaciones Heterogéneas, Arboles	1
Ríos	1
Cementerio (Parque Jardín)	3
Habitacional + Comercial ADI	10
Habitacional + Comercial + Industrial	10
Cultural	3
Industria Turística	5
Radiocomunicación	10
Predio Baldío	0
Industria y Comercio	10

Los parámetros deben agruparse, generalmente los grupos son; Calles, Edificaciones, Poblaciones, Parcelas. Luego se debe ponderar cada parámetro, por ejemplo (ver Tabla 2.8):

TABLA 2.8 Parámetros para diferentes Edificaciones

Descripción de Parámetros para Edificaciones	Ponderación
Fabricas, comercios, hospitales, escuelas, electrificación y acueductos	10
Viviendas	7
Servicios Institucionales	5
Otros	3
Descripción de Parámetros para Calles	Ponderación
Boulevard, autopista, calles o avenidas importantes	9
Calles o avenidas	5
Pasajes o accesos	3
Descripción de Parámetros para Densidad de Poblacion	Ponderación
Sin o muy baja: menores de 50 habitantes/km ²	1
Baja: de 50 a 500 habitantes /km ²	4
Moderada: de 500 a 2000 habitantes /km ²	6
Alta: de 2000 a 5000 habitantes /km ²	8
Muy alta: mayores de 5000 habitantes /km ²	10
Descripción de Parámetros para Densidad de Parcelas	Ponderación
Sin o muy baja: áreas con 200 a 9.5 parcelas/km ²	1
Baja: áreas con 850 a 200 parcelas/km ²	3
Moderada: áreas con 2667 a 850 parcelas/km ²	55
Alta: áreas con 7500 a 2667 parcelas/km ²	7
Muy alta: áreas con 15000 a 7500 parcelas/km ²	9

Los parámetros de vulnerabilidad se obtienen de la suma de las diferentes ponderaciones para los parámetros asignados en cada factor o agrupación evaluada (calles, edificaciones, población, parcelas, uso detallado del suelo) (Tabla 2.9)

TABLA 2.9 Parámetros de Vulnerabilidad

Descripción de Clases de Vulnerabilidad	Ponderación
Áreas sin o muy baja vulnerabilidad	0 - 3
Áreas con baja vulnerabilidad	3 - 5
Áreas con moderada vulnerabilidad	5 - 15
Áreas con alta vulnerabilidad	15 - 28
Áreas con muy alta vulnerabilidad	28 - 50

2.14.3 Mapas de Riesgo

El riesgo se define como el *grado de perdida* debido a fenómenos naturales particulares; por lo cual el mapa de Riesgo se obtiene del producto de la amenaza (periodo de retorno del fenómeno natural) multiplicado la vulnerabilidad por los Costos. Es decir del cruce del mapa de amenaza con el mapa de vulnerabilidad.

El análisis puede iniciarse con una definición cualitativa del riesgo. Se genera la matriz amenaza-vulnerabilidad y con el producto de estos dos factores podremos tener una idea del riesgo existente en la zona de estudio. Ver tabla 2.10

Tabla 2.10 Definición Cualitativa del Riesgo.

		Vulnerabilidad				
		Sin o muy bajo	Bajo	Moderado	Alto	Muy alto
Amenaza	Sin o muy bajo	Sin o muy bajo riesgo	Sin o muy bajo riesgo	Bajo riesgo	Bajo riesgo	Bajo riesgo
	Bajo	Sin o muy bajo riesgo	Bajo riesgo	Bajo riesgo	Bajo riesgo	Bajo riesgo
	Moderado	Sin o muy bajo riesgo	Bajo riesgo	Moderado riesgo	Moderado riesgo	Moderado riesgo
	Alto	Sin o muy bajo riesgo	Bajo riesgo	Moderado riesgo	Alto riesgo	Muy alto riesgo
	Muy alto	Sin o muy bajo riesgo	Bajo riesgo	Moderado riesgo	Muy alto riesgo	Muy alto riesgo

Después de describir cualitativamente las zonas de alto o bajo riesgo a estas se les debe calcular el área para poder multiplicarlas por su costo por metro cuadrado. La estimación de los valores está influenciada por factores de ubicación, acceso a vías de comunicación, agua potable, electricidad, telefonía, centros comerciales, topografía, tipo de suelo, uso del suelo y de sus alrededores entre otros.

Para la obtención del dato final del riesgo tenemos que multiplicar los datos de las áreas con el valor estimado en términos de costos monetarios (\$/m²) ver Tabla 2.11

Tabla 2.11 Datos Finales de Riesgo

Municipio	Clase Riesgo	Costo del Riesgo (millones \$)
San Marcos	Áreas sin o muy bajo riesgo	3.5
San Salvador	Áreas sin o muy bajo riesgo	144.5
San Salvador	Áreas con bajo riesgo	7392.0
San Salvador	Áreas con moderado riesgo	18.0
San Salvador	Áreas con alto riesgo	3.0
San Salvador	Áreas con muy alto riesgo	1.0
Nueva San Salvador	Áreas sin o muy bajo riesgo	432.0
Nueva San Salvador	Áreas con bajo riesgo	2526.0
Nueva San Salvador	Áreas con moderado riesgo	6.0
Nueva San Salvador	Áreas con alto riesgo	12.0
Nueva San Salvador	Áreas con muy alto riesgo	2.0
Antiguo Cuscatlán	Áreas sin o muy bajo riesgo	562.0
Antiguo Cuscatlán	Áreas con bajo riesgo	2958.0
Antiguo Cuscatlán	Áreas con moderado riesgo	57.0
Antiguo Cuscatlán	Áreas con alto riesgo	22.0
Antiguo Cuscatlán	Áreas con muy alto riesgo	15.0

2.14.3.1 Leyendas y formatos recomendados para la elaboración de mapas de amenaza por inundaciones fluviales

Considerando que los mapas de amenazas son mapas temáticos, pero que se basan en la base cartográfica existente a nivel nacional, se debe considerar que en lo referente a hidrografía, proyección, curvas de nivel, asentamientos humanos, red vial, etc., éstos deben ser elaborados tomando en consideración los lineamientos de las

Instituciones nacionales como el Sistema Nacional de Estudios Territoriales (SNET, MARN, Protección Civil, etc.)

En lo referente a la leyenda y simbología de la parte temática en la figura 2.17 se presentan ejemplos de leyendas y colores para representar los fenómenos identificados, así como los niveles de amenaza.

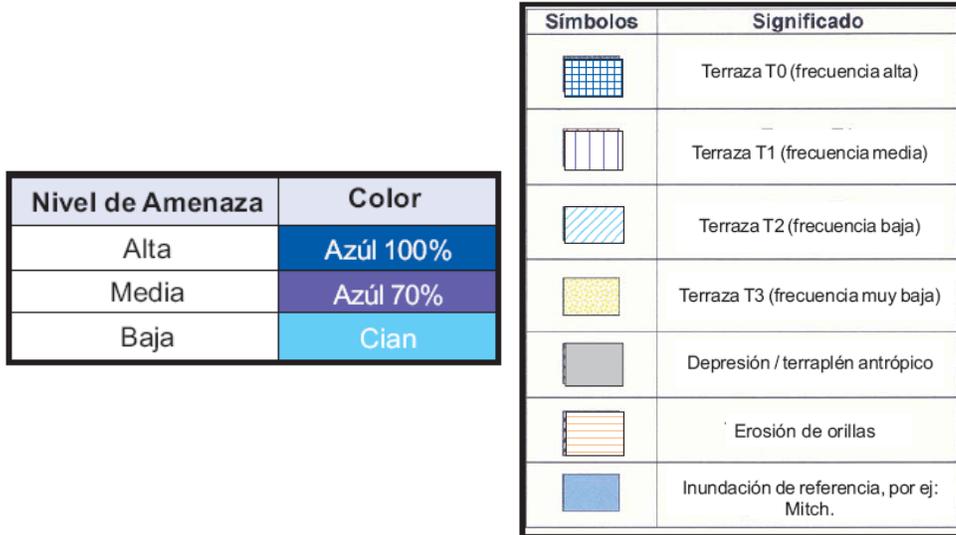


Figura 2.17 Ejemplo de Leyendas

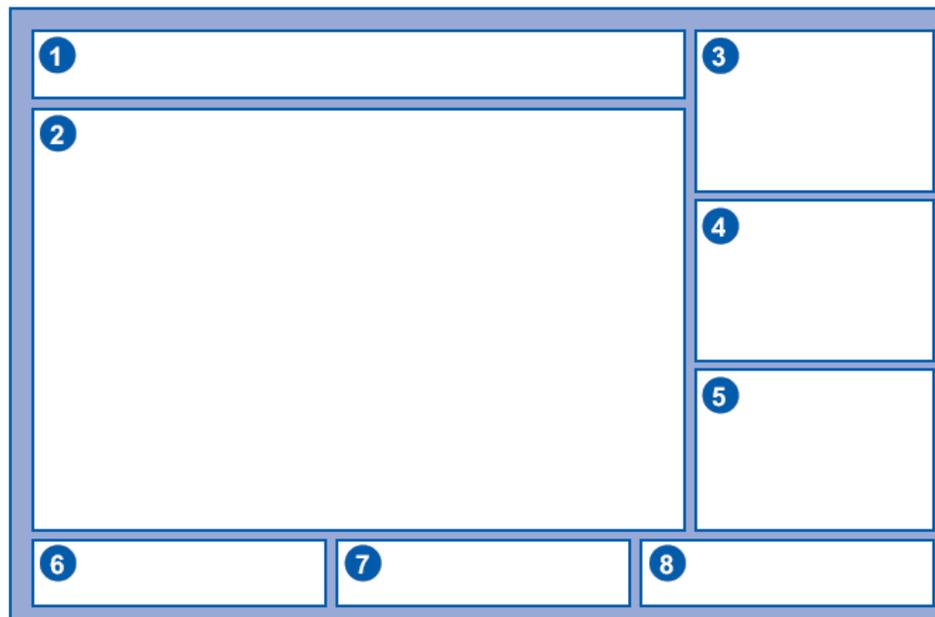


Figura 2.18 Forma, Tamaño y Distribución de Información en la elaboración de un Mapa

La forma y tamaño del mapa así como la distribución de la información que contiene, estará en dependencia del área a cartografiar, sin embargo en la medida de lo posible se tratará de utilizar un formato horizontal que contenga lo siguiente (Figura 2.19)⁵²:

1. Zona de título, Lista de autores y personas que han contribuido, logotipos de las instituciones
2. Cuerpo del mapa temático conteniendo el Norte, y la malla con las coordenadas geográficas, Curvas de nivel principales y secundarias, red vial, red hídrica, poblados y caseríos e infraestructura importante.
3. Leyenda con la explicación de los símbolos utilizados; tanto los símbolos cartográficos básicos como los temáticos, presentados de forma separada y claramente descrita.
4. Texto en el cual se explica los objetivos del mapa y la metodología utilizada o el procedimiento de elaboración del mapa y su nivel de precisión. También incluir resumen de los resultados y los criterios utilizados para elaborar el mapa con gráficos y / o fotos.
5. Lugar y ubicación del área de estudio.
6. Declinación magnética, fuente de datos básicos, referencias, sistema de coordenadas y datum utilizados.
7. Escala gráfica y numérica.
8. Mosaico con la ubicación de las hojas topográficas que abarcan el área de estudio.

⁵² Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales, Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación, Proyecto MET-ALARN, Inundaciones Fluviales, Mapas de Amenaza, Recomendaciones Técnicas para su Elaboración. pág. 23

2.14.4 Metodología para la Elaboración de Mapas de Amenaza por Inundación

2.14.4.1 Método Geomorfológico

El método geomorfológico, es basado en criterios geomorfológicos e históricos. El criterio básico para la realización del mapeo y diferenciación de las zonas inundables utilizando el método geomorfológico, consiste en que la frecuencia de la inundación depende de la altura o cota de las terrazas fluviales del río⁵³. (Ver figura 2.19)

Para elaborar el mapa de amenaza a escala 1: 10,000 se trabaja sobre la base de ortofotomapas a escala 1:10,000, al mínimo 1:20,000 que permiten diferenciar con bastante precisión las diferentes zonas de inundación a diferentes frecuencias.

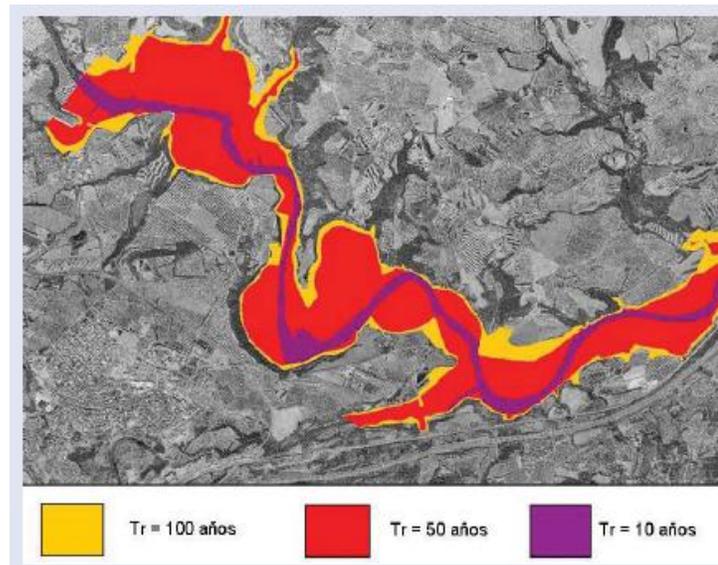


Figura 2.19 Ejemplo de mapa de Inundación con diferentes períodos de retorno

⁵³ Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales, Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación, Proyecto MET-ALARN, Inundaciones Fluviales, pág. 28

2.14.4.2 Método Hidrometeorológico

La modelación hidrológica, tiene por objetivo calcular los caudales para cada uno de los cauces y tramos considerados en el área de estudio, a partir de datos de precipitación existentes.

Los caudales calculados están asociados a los eventos de lluvia utilizados para su cálculo y pueden, por lo tanto, clasificarse en función de su probabilidad de ocurrencia.

Un estudio de modelación hidrológica solo es necesario si no se dispone de datos de caudales para los cauces considerados. En caso de existir registros de caudales, los valores pico de caudal para diferentes periodos de retorno se pueden calcular utilizando el método de análisis estadístico⁵⁴.

Los datos meteorológicos comprenden:

- a. Precipitación diaria, mensual y anual.
- b. Precipitación máxima diaria.
- c. Precipitación de corta duración (intensidades máximas anuales para diferentes duraciones).
- d. Para eventos extremos precipitación horaria.
- e. Evaporación
- f. Temperatura

Los datos hidrométricos comprenden:

- a. Caudales diarios, mensuales y anuales.
- b. Caudales máximos instantáneos anuales.
- c. Para eventos extremos caudales horarios.

⁵⁴ Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales, Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación, Proyecto MET-ALARN, Inundaciones Fluviales, Mapas de Amenaza, Recomendaciones Técnicas para su Elaboración pág. 32

Capítulo III



Diagnóstico

3.1 ORIGEN DE LA LAGUNA DE OMEGA

Desarrollo de la Depresión Central. Las fuerzas que ejercían compresión por la subducción de la Placas de Cocos bajo la Placa del Caribe, produjo una deformación en la corteza continental que se tradujo en el surgimiento de una estructura anticlinal (de forma convexa) orientada este-oeste, donde se fueron desarrollando una serie de fallas con ese mismo rumbo y cuya parte central comenzó, gradualmente a hundirse, dando paso a la formación a una de las estructuras más importantes del país donde se ha establecido el cinturón de volcanes jóvenes. Esa estructura es el Graben Central o Depresión Central que empezó su formación entre el Plioceno Inferior y se extendió hasta Plioceno Medio (5-3 m.a.). En virtud de esta deformación la costa se levantó e hizo que el mar retrocediera.

La intensa actividad tectónica durante el Plioceno Inferior produjo fallamientos intensos en todo el país que se manifestó con la formación de áreas con bajos (grabens) y altos estructurales (horsts), al sur de la cadena volcánica antigua, y que están orientados de modo general Este-Oeste. Estas estructuras fueron determinantes en el desarrollo y formación de algunos cuerpos de agua (Lagos y Ríos).

El nacimiento del Río Lempa tuvo lugar a lo largo de varios procesos que iniciaron con la existencia de dos lagos situados en la parte noroeste y norte de El Salvador, que se denominan Lago Metapán y Lago Lempa. Simultáneamente se encontraban otros lagos y lagunas, en la parte suroriental de San Miguel también existía el lago conocido como Olomega, el cual tenía dimensiones mayores al de la actual Laguna de Olomega. En la parte noreste del país se había formado el pequeño lago Torola cuyo desagüe, posteriormente, desembocó en el río Lempa, el cual corría en ese sector donde ahora se encuentra Nuevo Edén de San Juan.⁵⁵

⁵⁵ Nacimiento y Desarrollo del río Lempa, Walter Hernández, Geólogo/SNET

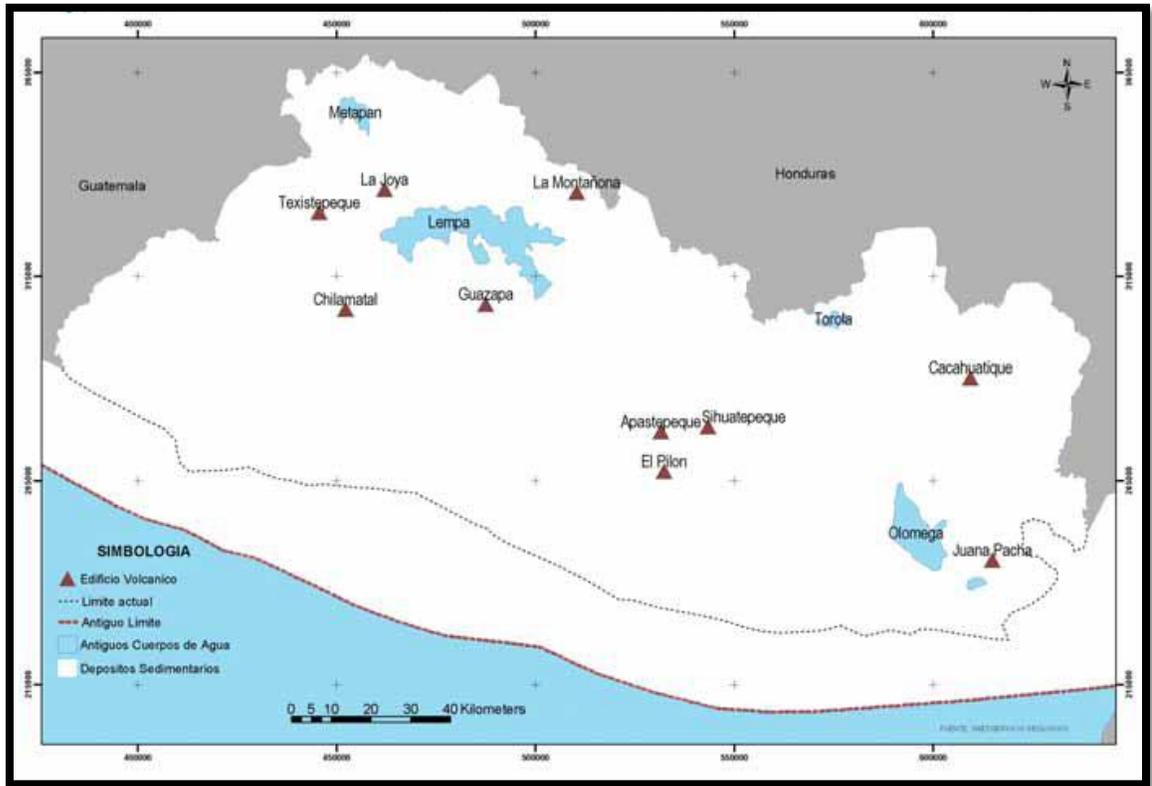


Figura 3. 1 Historia Geológica de El Salvador hace cinco millones de años ⁵⁶

⁵⁶ FUENTE: Nacimiento y Desarrollo del río Lempa, Walter Hernández, Geólogo/SNET

3.2 UBICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LA LAGUNA DE OMEGA

El territorio que comprende el área natural de la Laguna de Olomega está ubicado al oriente del país (Figura 3.2) y se adscribe política y administrativamente a los municipios de San Miguel y Chirilagua, del departamento de San Miguel; y al municipio de El Carmen del departamento de La Unión. Los municipios a la vez se dividen en cantones y caseríos.

El área natural de la Laguna de Olomega se encuentra entre los 13º 12' y 13º 22' Latitud norte y 88º 07' y 88º 00' Longitud Oeste, en un gradiente altitudinal que va de los 64 a 766 msnm. Y pertenece a la cuenca hidrográfica del Río Grande de San Miguel.

El área de la Laguna de Olomega, clasificada como un humedal de agua dulce, es una unidad natural del Sistema Nacional de Áreas Protegidas, teniendo la calificación internacional como sitio *RAMSAR*⁵⁷, pues constituye uno de los eslabones de la cadena de biodiversidad del Pacífico Centroamericano⁵⁸.

Este humedal natural corresponde a los Grandes Paisajes del Complejo Interior de Valles Interiores dispersos y de la Cadena Costera, subunidad Macizo de Jucuarán, dentro de las Zonas de Vida Bosque Húmedo Subtropical (caliente)⁵⁹

⁵⁷ Convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional especialmente como Hábitat de Aves Acuáticas, conocida en forma abreviada como Convenio de Ramsar, fue firmada en la ciudad de Ramsar (Irán) el 2 de febrero de 1971 y entró en vigor en 1975.

⁵⁸ Jiménez y otros. Inventario Nacional y Diagnóstico de los Humedales de El Salvador. MARN, San Salvador, 2004.

⁵⁹ Plan de Manejo del Área Natural Humedal de Olomega, MARN – OTC – EL Salvador, 2004, pág. 26

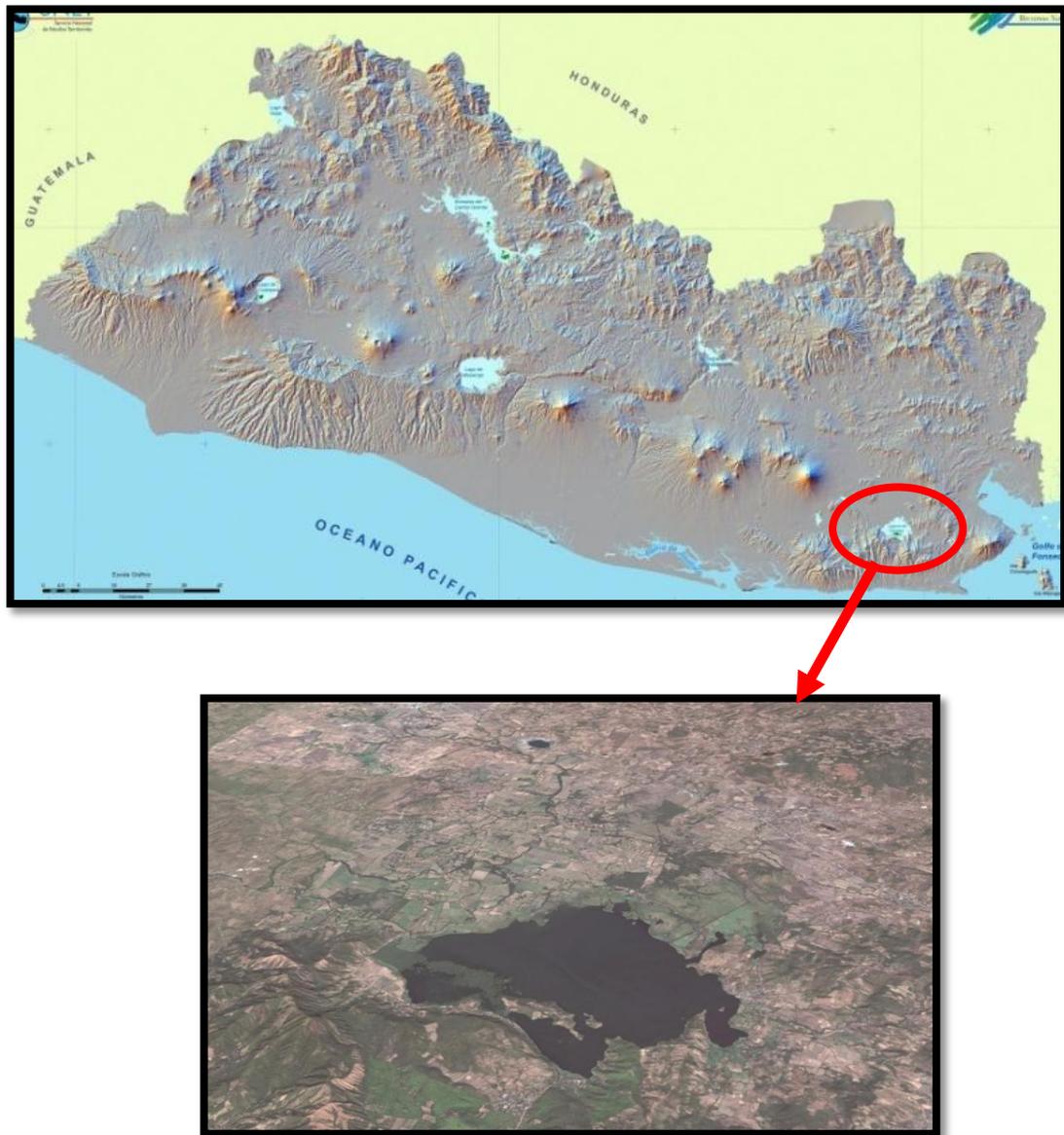


Figura 3. 2 Ubicación del Área Natural de Laguna de Olomega

3.3 HIDROLOGÍA DE LA LAGUNA DE OMEGA

La Laguna de Olomega se encuentra en la cuenca del Río Grande San Miguel teniendo su drenaje en la parte oeste hacia el mismo río. El espejo de agua de la Laguna tiene una extensión aproximada de 2,685 Ha. Entre los afluentes más importantes están los ríos: San Antonio, El Mono, El Carmen, La Pelota, San Pedro, Chiquito y Las Pilas.

Todos los afluentes tienen una serie de quebradas que durante la época lluviosa incrementan enormemente su caudal, erosionando los suelos como consecuencia de la deforestación existente en la zona, principalmente en las zonas altas. Estos materiales se depositan en la laguna creando problemas de colmatación.

Debido a la variedad topográfica de la zona hay diferencias notables en cuanto al drenaje; en las zonas de planicies bajas el drenaje es malo, lo que hace que estas tierras sean de difícil manejo en la estación seca e imposible en la época lluviosa. Sin embargo en las partes inclinadas y fuertemente disecionadas el drenaje es de bueno a excesivo, estas tierras son bastante secas en la época no lluviosa y normalmente el drenaje interno es moderado (Ver fotografía 3.1).



Fotografía 3.1

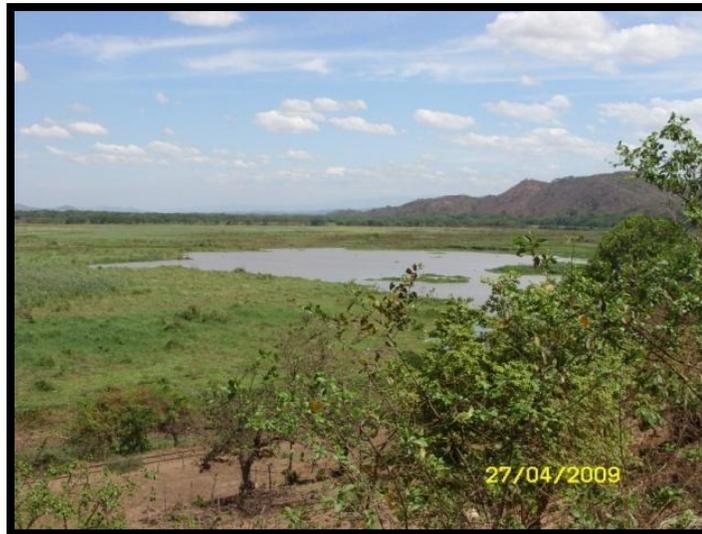


Fotografía 3.2

En la fotografía 3.1 Se observan las planicies bajas de drenaje malo en las cercanías al caserío La Pelota al oeste de la Laguna. En la fotografía 3.2 se observa el “cerro nariz del diablo” una de las partes mas altas ubicadas al sur de la Laguna.

Dentro de su topografía las altitudes varían de 62 msnm hasta una altura máxima de 766.99 m en el Cerro Nariz del Diablo, siendo su fisiografía muy variable. El terreno es muy accidentado en las montañas al suroeste de la Laguna donde las elevaciones alcanzan hasta 700 msnm y las pendientes oscilan entre 25% y 75%. En la parte sur de la laguna, comprende áreas inclinadas y altamente diseccionadas de las montañas y el relieve es de moderada altura. Las pendientes predominantes son entre 10% y 40%. (Ver fotografía 3.1)

Los pantanos se encuentran en los alrededores de la parte norte de la laguna; son planicies bajas e inundadas (ver fotografía 3.3). Son campos irregulares que debido a su posición, permanecen inundados la mayor parte del año y las pendientes son menores al 2%. Por último las áreas adyacentes al Río Grande de San Miguel; están sujetas a inundaciones casi todos los años, las pendientes varían de 0% a 2%.⁶⁰ (Ver fotografía 3.4)



Fotografía 3.3 Pantanos ubicados al Norte de la Laguna cubiertos por pastizales, ninfas y árboles.

⁶⁰ Plan de Manejo del Área Natural Humedal de Olomega, MARN – OTC – EL Salvador, 2004, pág. 45



Fotografía 3.4 (180°) Planicies ubicadas en la cercanía del Río Grande de San Miguel, utilizadas para la agricultura. Estas planicies se encuentran protegidas por una borda, las cuales se indican en la fotografía por medio de flechas rojas. Al fondo a la derecha el cerro nariz del diablo al Sur de la Laguna de Olomega.

En un inicio el Río Grande de San Miguel cada vez que desbordaba inundaba las zonas del sector del cantón Miraflores, enviando grandes cantidades de volúmenes de agua a la Laguna de Olomega, como todo proceso natural Río-Humedal.

La Laguna de Olomega y el Río Grande están conectados, y se considera que la Laguna es parte del sistema hidrológico ya que esta dentro de su cuenca hidrográfica. La Laguna de Olomega es capaz de retener grandes cantidades de agua actuando como reguladora del caudal del Río Grande de San Miguel, es decir un embalse natural que retiene el exceso de agua de una crecida devolviéndola lentamente después que ha pasado la crecida.

La Laguna de Olomega ofrece muchas bondades como lo son la pesca y tierras aptas para la agricultura muy productiva. Por lo que alrededor de ella, se han asentado poblaciones y muchas tierras se usan para cultivo y granos básicos, especialmente en la zona oeste y noroeste de la Laguna.

Para proteger las tierras y habitantes del desborde del Río Grande, los dueños de las tierras empezaron a construir bordas hace más de 20 años, pero éstas; eran bordas pequeñas “de emergencias” sin ningún diseño. A partir del año 2,000 después del paso

del huracán Mitch el Ministerio de Agricultura y Ganadería se preocupó por reparar las bordas para proteger los cultivos y a la vez las familias que habitan en las zonas aledañas al Río, pero las bordas aun seguían siendo pequeñas y sin ningún diseño pero protegían a las familias ante crecidas pequeñas. Fue hasta el período 2,007 – 2,008 después del paso del huracán Stan que se presentó un diseño integral de canalización por medio de bordas en el Río Grande de San Miguel, tomando en cuenta los caudales de desborde.

Las bordas se empezaron a construir en el año 2008 para la zona del cantón Miraflores y Puerto Parada.

La construcción de la borda en el cantón Miraflores aun no se ha terminado, pero el margen izquierdo del Río (el lado que conecta con la Laguna) se finalizó en julio de 2009. De esta manera se han protegido a las familias y los cultivos ubicados en la parte Oeste y Noroeste de la Laguna de Olomega, sin embargo con la construcción de la borda la comunicación natural Río-Humedal ha sido intervenida.



a) Construcción de Borda (abril de 2009)

b) Borda Finalizada (septiembre de 2009)

Fotografía 3.5 Construcción de Borda al margen izquierdo del Río Grande de San Miguel, Cantón Miraflores.

3.3.1 Factores que afectan el comportamiento de la Laguna

El Río La Pelota era un afluente importante que aportaba volúmenes de agua desde el Río Grande de San Miguel hacia la Laguna, pero hace más de 20 años el cauce fue desviado y utilizado para riego, además un muro construido para obstruir el desagüe de la Laguna evitaba que los volúmenes de agua que transportaba el Río La Pelota se depositaran en la Laguna de Olomega. Ahora el Río La Pelota es un cauce seco que no aporta volúmenes de agua a la Laguna de Olomega.

La Laguna actualmente posee problemas en su desagüe ya que los dueños de las tierras por donde éste atraviesa, han obstruido el cauce por diferentes razones; principalmente para evitar que el pescado se escape de la laguna según manifiestan los pobladores del lugar. La obstrucción del desagüe implica que la laguna no evacua con libertad los volúmenes de agua en exceso y esto puede ser un factor importante que aporta a las inundaciones principalmente en el caserío La Pelota ubicado en el sector del desagüe de la Laguna.



Figura 3. 3 Ilustración de los problemas en el Desagüe de La Laguna de Olomega.



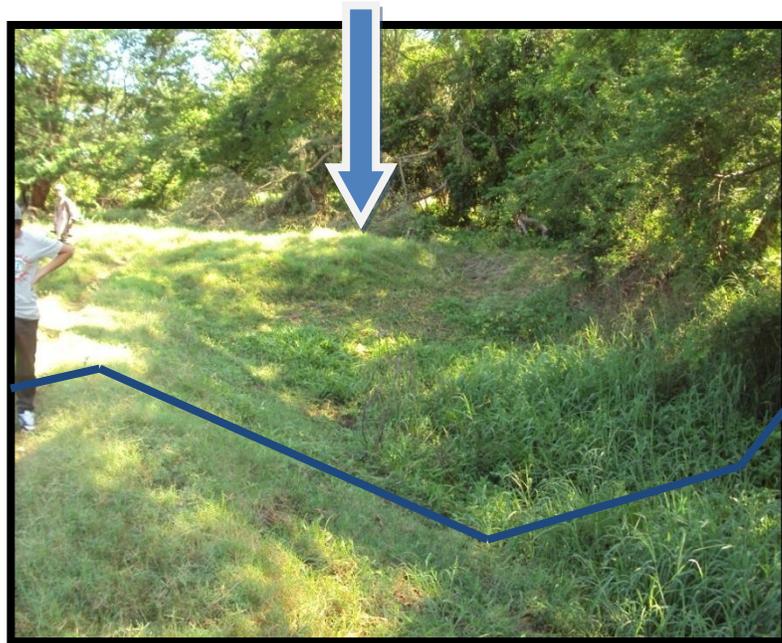
Fotografía 3.6 Desagües Alternos. Después que se obstruyó el desagüe original, La Laguna creó otros dos desagües alternos para evacuar sus aguas, en la imagen puede apreciarse como La Laguna ha abierto paso por la planicie para evacuar sus aguas.



Fotografía 3.7 Obstrucción en el cauce. Los dueños de las tierras por donde pasa el desagüe alternativo lo han obstruido para evitar que la laguna les siga erosionando el suelo.



Fotografía 3.8 Muro de Obstrucción. Construido hace mas de 20 años funcionaba como vertedero y evitaba que los peces se escaparan. Obstruye la conexión entre el Río La Pelota y la Laguna de Olomega



Fotografía 3.9 Relleno de Tierra en el cauce del Desagüe. Construido hace 8 años con el objeto de evitar que los peces se escapen de la Laguna. Evita que la Laguna se desagüe con normalidad.

Otro factor que afecta a la Laguna es que alrededor de ella, en los diferentes asentamientos poblacionales, pueden observarse varios muros de mampostería de piedra, algunos contruidos por los mismos pobladores y otros contruidos por las respectivas alcaldías. Los muros han sido contruidos para evitar que la Laguna al elevar su nivel de agua les afecte inundando sus terrenos y casas; sin embargo esto afecta su comportamiento normal, provocando que la laguna busque otras áreas para expandirse y depositar esos volúmenes de agua, que ya no pueda almacenar donde se contruyó el muro. (Ver fotografías 3.9)



Fotografía 3.10 Muros de Piedra y Bloque contruidos alrededor de la Laguna de Olomega.

3.4 CLIMA

Según la clasificación de Köppen⁶¹ el área está representada por un clima de Sabana Tropical Caliente con dos estaciones claramente diferenciadas y marcadas por la lluvia o su ausencia. Se halla dentro de esta categoría debido a que el rango altitudinal de la zona se corresponde con el de dicha clasificación. La época seca transcurre de noviembre a abril alternándose con la estación lluviosa, que va de mayo a octubre.

En cuanto a los datos climáticos son muy generales debido a la escasa disponibilidad de datos existentes de la zona referentes a este rubro. Las precipitaciones medias anuales oscilan en un rango que va de 1,500 a 2,000 mm. El mes con mayor precipitación es el de septiembre. La temperatura media anual que oscila entre 26°C y 30°C.⁶²

A continuación se presentan en la Figura 3.4 las temperaturas y precipitaciones promedio de los últimos 50 años de la estación más cercana a la laguna de Olomega, Estación El Papalón.

⁶¹ Clasificación climática de Köppen, fue creada en 1900 por el científico alemán Wladimir Peter Köppen. Consiste en una clasificación climática mundial basada en las temperaturas y precipitaciones otorgando letras a los diferentes valores que toman estas dos variables.

⁶² Plan de Manejo del Área Natural Humedal de Olomega, MARN – OTC – EL Salvador, 2004, pág. 46

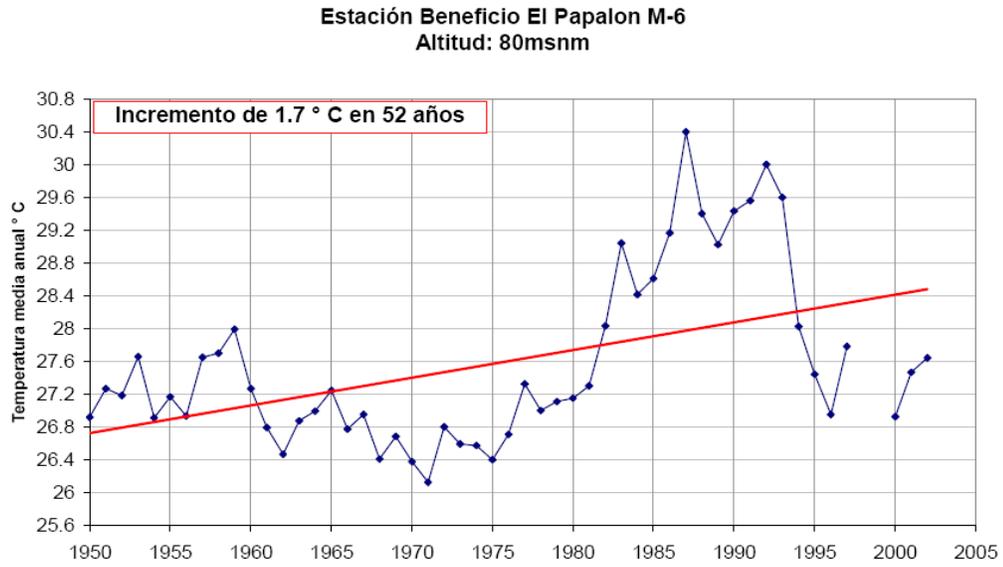


Figura 3.4 Temperaturas desde hace 50 años registradas en la Estación El Papalón⁶³

⁶³ Fuente: Variaciones Hidroclimáticas o Evidencias de cambio climático En El Salvador/SNET

3.5 CONTEXTO REGIONAL

3.5.1 Marco Biofísico

El ámbito regional que se considera es el que se circunscribe a la Subcuenca de Olomega del Río Grande de San Miguel. La Subcuenca tiene una superficie de 21,796 Ha y limita al occidente con el propio Río Grande de San Miguel.

El espejo de agua representa una superficie de 2,685 Ha y tiene su drenaje hacia el Río Grande de San Miguel en el punto en que el río deja de ser frontera de la Subcuenca. Los afluentes que circulan por esta Subcuenca en la época de lluvias aumentan su caudal causando problemas de erosión como consecuencia de la deforestación existente en el en las partes más altas de la zona.

La topografía es variable determinando así su fisiografía. La parte norte de la Laguna está formada por pantanos o pastizales inundables consistentes en planicies a nivel que permanecen inundadas la mayor parte del año. La parte colindante con el río son zonas de pendientes muy suaves (0 -2%) que se inundan prácticamente todos los años. La parte sur de la Laguna limita con áreas inclinadas y diseccionadas con buen drenaje con problemas de erosión debido a la desaparición del bosque por los continuos incendios a que está sometido el bosque. En el extremo norte de la microcuenca se encuentra un área montañosa accidentada en el que las pendientes son superiores al 20% llegando al 50% con una red de drenaje constituida por quebradas. Hay zonas que con medidas correctivas pueden aumentar su drenaje y ser aprovechados durante la mayor parte del año.

Los principales afluentes que se localizan en la subcuenca son: El Mono, San Antonio que tiene a Las Pilas y El Carmen como subafluentes; El Espino, La Pelota, San Pedro, Chiquito. Están situados en la mitad norte de la Laguna.

El área es propensa a sufrir inundaciones en la época de crecidas del Río Grande de San Miguel y se ha comprobado que las obras realizadas para sistemas de regadío que desviaron el cauce del río han incrementado este factor de riesgo.⁶⁴

3.5.2 Marco Socioeconómico

Para los pobladores de los caseríos aledaños a la Laguna de Olomega, la agricultura de subsistencia y la pesca son casi las únicas opciones económicas.

3.5.2.1 Actividades Agropecuarias

“La principal actividad que generan ingresos a la población que habita la ribera de la Laguna es la pesca artesanal. En la zona sur de la Laguna, además de los cultivos tradicionales se explota el cultivo de marañón.

De acuerdo con el diagnóstico realizado en el PNOTD⁶⁵ (MARN/VMVDU, 2003) sobre el sistema agropecuario a nivel nacional, en la zona de Olomega existen los siguientes sistemas productivos agropecuarios: Zona suroeste maíz, frijol y sorgo; en la zona noroeste, caña de azúcar y algodón. Y de acuerdo con informantes locales, en la zona aún existen algunas parcelas cultivadas con henequén para la obtención de las fibras naturales.”⁶⁶

⁶⁴ Plan de Manejo del Área Natural Humedal de Olomega, MARN – OTC – EL Salvador, 2004, pág. 23

⁶⁵ Plan Nacional de Ordenamiento y Desarrollo Territorial

⁶⁶ Plan de Manejo del Área Natural Humedal de Olomega, MARN – OTC – EL Salvador, 2004, pág. 28

Tabla 3.1 Actividades económicas y productivas de las comunidades alrededor de la Laguna de Olomega

Comunidad/Caserío	Actividades económicas y productivas existentes
Olomega y Guayabito	Pesca artesanal, ganadería, maíz, maicillo, frijol comercio de ropa y calzado, comedores y talleres de estructuras metálicas
El Tejar	Maíz, maicillo, ganadería
El Espino	Maíz, maicillo, pesca
El Achotal	Maíz, ganadería
El Zapotal	Maíz, maicillo ganadería, henequén, sandía, guineo, pipián, ejote, ayote, coco, marañón, mango, jocote. Pesca
Punta de Navarro	Pesca, maíz, maicillo
Tierra Blanca, Los Pajaritos y Puerto Viejo	Maíz, maicillo, marañón, ganadería, pesca y 35 Mz de bosque
La Estrechura y Los Rillitos	Pesca, maíz, maicillo, henequén, ganadería y comercio
Playa Grande	Maíz, sandía, maicillo, pipián, chile, henequén, ganadería, pesca temporal
Los Ranchos	Maíz, maicillo, pipián, chile, tomate, ganadería, quesos
Las Tablas	Maíz, maicillo pipián, chile, caña de azúcar y ganadería
El Cedral	Maíz, maicillo pipián, caña de azúcar, chile y ganadería
La Pelota	Maíz, maicillo, pipián, chile, ganadería

Fuente: Propuesta para el Desarrollo Ecoturístico de La Laguna de Olomega, a partir del Proyecto del Cantón Olomega.

3.5.2.2 Ganadería.

En la zona norte existen crianzas de ganado de aproximadamente 50 a 100 cabezas. De acuerdo con el PNOTD⁶⁷ (MARN/VMVDU, 2003), estas crianzas de ganado son principalmente para la producción de leche. Además, algunas familias que habitan las riberas de la Laguna poseen crianzas de ganado de 2 a 10 cabezas, que se observan alrededor de la Laguna.⁶⁸

3.5.2.3 Comercio y Turismo

La actividad comercial y los servicios se concentran en el caserío Olomega y en los cascos urbanos de los municipios de El Carmen, Chirilagua y San Miguel. Las mujeres comercializan el pescado ya sea en la localidad o en dichos centros urbanos. En los caseríos existen pequeñas actividades comerciales como tiendas y ventas para los habitantes de la localidad y los turistas.

La actividad comercial en la zona sur de Olomega está muy vinculada a la actividad turística, la construcción de un muelle de atracó para las lanchas y la construcción de un malecón ha contribuido al desarrollo de tal actividad, diferentes familias intentan establecer pequeños comedores y tiendas que proveen de alimentación a los turistas.

El turismo es una actividad tradicional en la zona, que se incrementa en las temporadas de vacaciones y se proyecta a desarrollarse como una de las opciones económicas de mediano y largo plazo; la gestión de las organizaciones de la comunidad orienta sus acciones hacia ese fin.⁶⁹

⁶⁷ Plan Nacional de Ordenamiento y Desarrollo Territorial

⁶⁸ Plan de Manejo del Área Natural Humedal de Olomega, MARN – OTC – EL Salvador, 2004, pág. 28

⁶⁹ Plan de Manejo del Área Natural Humedal de Olomega, MARN – OTC – EL Salvador, 2004, pág. 28



Fotografía 3. 11 Alto potencial turístico en la Laguna de Olomega.

3.5.3 Estrategias y programas regionales de desarrollo y ordenamiento territorial

A nivel regional, y en el marco del PNODT⁷⁰, esta área se encuentra en el Catalogo de Espacios Naturales como Unidad Ambiental Laguna de Olomega y por consiguiente sujeta a la normativa, directrices y programa de actuaciones propuestas por el PEPMF⁷¹. Asimismo, la Agencia Española de Cooperación Internacional (AECI) está financiando un proyecto de Apoyo a la Gestión Integral de Manglares y Humedales Costeros que desarrolla un sistema integrado de acciones prioritarias de conservación y/o restauración de manglares y humedales, y de mejora de los niveles de calidad de vida de las comunidades humanas que los habitan, con enfoque de ordenamiento regional del patrimonio natural. En la Laguna de Olomega concretamente se está apoyando la

⁷⁰ Plan Nacional de Ordenamiento y Desarrollo Territorial

⁷¹ Plan Especial de Protección del Medio Físico

creación de un vivero de especies nativas, una iniciativa para la conservación de suelos y un seguimiento fotográfico.

Finalmente, la Unión Europea está financiando un proyecto de Concientización y Educación Ambiental Integral en el Ámbito Local y Cuencas Seleccionadas (PROCEDAMO) que tiene como objetivos (i) fortalecer la educación ambiental a nivel local, con el apoyo y la participación del MARN en coordinación con el Ministerio de Educación, (ii) implementar la educación ambiental y (iii) aportar al manejo de cuencas un enfoque participativo a nivel comunal/municipal. En este marco, el proyecto está apoyando una iniciativa de desarrollo de la acuicultura en la Laguna.

3.5.4 Marco Legal

Los artículos más relevantes con respecto a las Normativas relacionadas con nuestro objeto de estudio son las siguientes:

LEY DE MEDIO AMBIENTE

Art. 53, Cap. IV Contingencias, Emergencias y Desastres Ambientales.

PREVENCION DE DESASTRES NATURALES

“El Estado y sus instituciones tienen el deber de adoptar medidas para prevenir, evitar y controlar desastres ambientales.”

Art. 53, Cap. IV Contingencias, Emergencias y Desastres Ambientales.

OBLIGACION DE ELABORAR PLANES DE PREVENCION Y CONTINGENCIA AMBIENTAL

“El Ministerio en coordinación con el Comité de Emergencias Nacional, elaborara el plan Nacional de Prevención y Contingencia Ambiental, siendo este ultimo el que lo ejecutara. El plan pondrá énfasis en 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”

Manejo de los Suelos y Ecosistemas Terrestres.

Art. 75.- El Presidente de la República, a propuesta del Ministerio, formulará los reglamentos relativos al manejo de los suelos y ecosistemas terrestres, tomando en cuenta los siguientes criterios:

- a) El uso del suelo y de los ecosistemas terrestres deberá ser compatible con su vocación natural y capacidad productiva, sin alterar su equilibrio.
- b) Deberá evitarse las prácticas que provoquen la erosión, la degradación de los suelos por contaminación o la modificación de sus características topográficas y geomorfológicas;
- c) Deberán llevarse a cabo prácticas de conservación y recuperación de los suelos, por quienes realicen actividades agrícolas, pecuarias, forestales, mineras, urbanísticas, de infraestructura u otras que afecten o puedan afectar negativamente sus condiciones;
- d) En los casos de construcción de obras civiles y aprovechamiento de los recursos naturales no renovables, que puedan directa o indirectamente provocar deterioros significativos de los suelos, deberán realizarse las acciones de regeneración y restauración requeridas; y
- e) En áreas de recarga acuífera y cuencas hidrográficas se priorizará la protección de los suelos, las fuentes y corrientes de agua, procurando que éstas mantengan y aumenten sus caudales básicos.

Para el cumplimiento de lo establecido en los literales anteriores, el Ministerio promoverá programas especiales de capacitación y transferencia de tecnología, así como un Plan Nacional de lucha contra la deforestación, la erosión y la desertificación.

Reglamento General de la Ley del Medio Ambiente

Art. 76, inciso b y c, Título V, De Los riesgos y Desastres Ambientales

CAPITULO UNICO DE LAS CONTINGENCIAS, EMERGENCIAS Y DESASTRES NATURALES.

“Elaborar un mapa de Nacional de Riesgos Ambientales, con el apoyo de Instituciones Especializadas, el cual debe señalar las áreas ambientalmente frágiles o de alto riesgo; y dictar las medidas de control de desastres ambientales en cuanto a las actividades y obras de infraestructuras necesarias para cumplir con los objetivos propuestos”

ORDENANZA PARA LA PROTECCIÓN Y MANEJO INTEGRAL DE LA LAGUNA DE OLOMEGA, ALCALDÍA EL CARMEN

Art.6, inciso c, d, e y j, Cap. II

OBLIGACIONES Y PROVICIONES.

Son obligaciones de la Municipalidad:

Controlar la calidad y cantidad de las descargas de los desechos sólidos y vertidos en los ríos y quebradas que vierten a La Laguna. Controlar y regular la extracción de material pétreo en las riberas de La Laguna. Promover estudios e investigaciones científicas tendientes a la conservación de los ecosistemas. Coordinar con otras municipalidades, instituciones gubernamentales y no gubernamentales esfuerzos coordinados en la protección de las cuencas hidrográficas.

Art. 8, inciso c, d y e

PROHIBICIONES A LOS PARTICULARES

Construir diques, muros, rellenos en la línea de marea baja de las riberas de La Laguna con el propósito de construir terrazas para nivelar o aprovechar terrenos que se forman por la fluctuación de las crecidas. Verter de aguas de tipo ordinario y especial en la Laguna, ríos y quebradas que viertan en esta sin haber recibido tratamiento previo.

Derramar aceites y grasas provenientes de talleres automotores y otros similares en la Laguna, ríos y quebradas que viertan en esta.

Art. 14, Cap. III

MEDIDAS PREVENTIVAS

Cualquier institución que realicen actividades que se relacionen con el área natural protegida de la Laguna y sus zonas de amortiguamiento, deberá coordinar con la municipalidad para la ejecución des sus proyectos.

3.6 DINÁMICA POBLACIONAL

La Laguna de Olomega al igual que otros cuerpos de agua, constituye un atractivo para el asentamiento de población, tanto por el recurso hídrico, pesquero y por las posibilidades de desarrollar turismo como una opción económica para la población que allí se asienta.

Datos del Censo 2007 para los Municipios que comparten el Área Natural de la Laguna de Olomega, se presentan en la Tabla 3.2

Tabla 3.2 Poblacion en el área de la Laguna de Olomega. Distribución por municipios

Municipio	Población 2007		
	<i>Urbana</i>	<i>Rural</i>	<i>Total</i>
El Carmen	1,787	10,537	12,324
Chirilagua	3,107	16,877	19,984
San Miguel	158,136	60,274	218,410
Total.	163,030	87,688	250,718

FUENTE: Datos del Censo 2007

Tabla 3.3 Poblacion en el área de la Laguna de Olomega. Distribución por Cantones y Caseríos.

Municipio	Cantones y Caseríos	Población 2007	
		# de Viviendas	# de Población
San Miguel	El Cedral	142	513
	Los Ranchos	222	813
	Tablas	50	158
	La Pelota	78	208
Chirilagua	Puerto Viejo		700
	Los Rillitos		570
	Pajaritos		480
	Olomeguita		150
	Tierra Blanca	1717	3960
	Estrechura	237	1020
El Carmen	Espino		256
	Zapotal		519
	Punta de Navarro		453
	Los Pasitos		322
	Olomega		1719

FUENTE: SIBASI San Miguel y La Unión, 2007. / Propuesta para el Desarrollo Ecoturístico de la Laguna de Olomega, a partir del Proyecto del Cantón Olomega.

3.7 ANTECEDENTES HISTÓRICOS

3.7.1 Registro de Inundaciones en la Laguna de Olomega.

1965 Septiembre: Se registran inundaciones en el departamento de San Miguel en los alrededores de la Laguna de Olomega.

1966 Junio: Se registran inundaciones en el departamento de San Miguel en los alrededores de la Laguna de Olomega.

1974: Inundaciones en el departamento de San Miguel producidas por el huracán Fifi

1988: El comité de emergencias Nacional COEN reporto grandes problemas por inundaciones en los cantones de Chilanguera, Cuco, San Pedro, La estrechura y Tierra Blanca (estos últimos 2 situados en los alrededores de la laguna de Olomega.)

1998: Inundaciones en el departamento de San miguel causadas por el huracán MITCH

2005: Depresión Tropical provoca fuertes lluvias generalizadas, ocasionando el desbordamiento de varios ríos en diferentes departamentos del país. La lluvia promedio registrada en todo el país fue de 64 mm. Con máximos aislados de: 320 mm en los Naranjos.

2006 Junio: Las lluvias generaron incrementos en los caudales de los ríos, sobre todo en el Goascorán, en La Unión, y en el río Grande de San Miguel.

“Las precipitaciones ocasionaron el incremento de nivel en todos los ríos hasta alcanzar su capacidad máxima, lo cual generó desbordamientos e inundaciones en algunas áreas bajas de dichos ríos”

En las comunidades Puerto Viejo y Los Pajaritos, ubicadas en los alrededores de la laguna de Olomega, ambas del cantón Tierra Blanca, municipio migueleño de Chirilagua, se reportaron inundaciones y evacuaciones. Según Protección Civil, estas fueron preventivas, porque los desbordamientos no ocasionaron daños.

Se realizaron evacuaciones alrededor de la laguna de Olomega. Debido a que se registro crecida del Río Grande de San Miguel.

2008 Agosto: La calle que conduce al caserío Los Ranchos, del cantón Miraflores en San Miguel y la calle que conduce a los caseríos La Pelota y El Cedral, se cerraron por el desborde de la Laguna de Olomega. (Ver fotografía 3.10)



Fotografía 3. 12 Calle inundada a causa de desborde de la Laguna de Olomega.

2008 Septiembre 30: Protección Civil hace un llamado de atención a las comunidades localizadas a las orillas de lagos, embalses y lagunas, especialmente el lago de Güija y Laguna de Olomega en San Miguel, ya que mantienen un nivel de agua alto.”⁷²

⁷² REGISTRO HISTORICO DE INUNDACIONES, SNET, (Recopilada a partir de bases de datos, documentos e informes de prensa) <http://mapas.snet.gob.sv/hidrologia/select.php>

Según el Estudio de Control Integral de Crecidas del Río Grande de San Miguel (1996), las inundaciones mayores que ocurrieron han sido en los años 1969, 1975, 1980, 1988, 1989, 1991, 1992 y 1995; durante los meses de agosto a octubre. Entre estas la inundación más grande de ese período fue en 1988.

La crecida de 1995 inundó un área alrededor de Olomega de 85.5km² excluyendo el área de la Laguna. La profundidad y la duración de la inundación para 1995, fue de 0.2mt y 8 días respectivamente.⁷³

3.8 ANTECEDENTES DE ESTUDIOS REALIZADOS

En lo referente al Mapeo de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo por inundaciones, son pocos los estudios que se han realizado en la Laguna de Olomega, existiendo mapas basados únicamente en la topografía del terreno y no en Estudios Hidrológicos que analicen precipitación y volúmenes almacenados en la Laguna.

Los principales mapas con que se cuentan fueron elaborados de forma general para todo El Salvador por el SNET/MARN en los años 2001-2003 post Mitch.

Sin embargo se han realizado varios estudios enfocados en otras áreas como Tratamiento de Aguas Residuales en Cantón Olomega, Calidad del agua de la Laguna, Conteo de aves, etc.

A continuación se presentan algunos de los estudios relevantes realizados en la Laguna de Olomega, relacionados con nuestro objeto de estudio.

⁷³ El Estudio de Control Integral de Crecidas en el Río Grande de San Miguel en la República de El Salvador (JICA/MAG), Reporte Intermedio, 1996

1. Mapa de Amenaza por Inundaciones y Deslizamiento de El Salvador MARN 2001

Este mapa es una ilustración de amenaza por deslizamiento e inundaciones complementado con aquellos puntos donde se ha comprobado la ocurrencia de deslizamientos por sismos. Aunque no tiene la suficiente comprobación de campo y la escala en la que se encuentra no es la adecuada para la toma de decisiones el mapa solo proporciona la idea del peligro y no debe ser utilizado para efectos de planificación.

2. Mapa Preliminar de Áreas con Susceptibilidad a Inundaciones SNET- MARN 2002

La zona susceptible a inundaciones se delimitó en base a las curvas de nivel de los cuadrantes topográficos 1:25000 del IGN. La delimitación del tipo de susceptibilidad se hizo basándose a la curva a 10 mt mas cercana del cause principal de los ríos y zonas costeras de los cuales se tienen reportes de inundaciones. Se tomaron de referencia algunos puntos donde se habían identificado inundaciones y la imagen LandSat TM de diciembre de 1998 post- Mitch.

La delimitación fue realizada por el SIG del SNET y se considera preliminar ya que se deben hacer estudios más detallados para detallar con precisión las planicies de inundación.

3. Plan de Manejo del Área Natural Humedal de Olomega. MARN 2004

El objetivo general de este trabajo fue crear un instrumento de planificación que contribuya a que los ecosistemas de la laguna de Olomega puedan cumplir sus fines, tal y como son descritos en la Ley de Medio Ambiente. Por lo que se plantearon una serie de fases metodológicas: fase de diagnóstico ambiental y social, la fase de zonificación, Simultáneamente al proceso de zonificación, el equipo técnico perfiló los principales programas de manejo. Esta propuesta consensuada se convirtió en el documento base

del Plan de Manejo a partir de la participación y nuevo proceso de obtención de consenso por parte de los técnicos del MARN y el equipo planificador. Después de esto se realizaron actividades sobre terreno para verificación y por último las actividades de seguimiento quedan planteadas para que los técnicos del Ministerios de Medio Ambiente y Recursos Naturales las verifiquen.

4. Propuesta de diseño para la resolución evacuación y tratamiento de las aguas residuales del Cantón Olomega, El Carmen y La Unión, 2006 (Tesis UES)

Los resultados del análisis físico-químico practicado en este estudio al agua residual vertida a La Laguna de Olomega, indican que los valores sobrepasan los parámetros establecidos en las normas Salvadoreñas CONACYT. Se realizo una propuesta de alcantarillado sanitario u un modelo de tratamiento de agua residual. El documento se enfoca al problema que generan las aguas residuales y domesticas en La Laguna de Olomega así también a los pobladores.

5. Diagnostico de la calidad del agua de La Laguna de Olomega, noviembre de 2007 (Tesis UES)

En esta investigación se realizo un análisis físico-químico, bacteriológico y el análisis DBO. Los resultados obtenidos se compararon con la norma Salvadoreña de agua para regadillo y la noma Chilena. Al comparar los datos se encontró que resultados de color, turbiedad, temperatura, coliformes fecales, sólidos flotantes visibles y espuma, sustancias que producen olor, sabor inconveniente, desechos flotantes, aceites, espumas y materiales que producen vida acuática indeseable, sobrepasan los límites establecidos por la norma Chilena. Los valores de aluminio, conductividad, hierro, oxigeno disuelto, PH no sobrepasan los valores normales y por lo tanto no presentan un riesgo de contaminación.

El índice de calidad del agua ICA encontrado fue de 42.6 lo cual demostró que el agua de La Laguna de Olomega es de mala calidad, por lo que no es apto para el abastecimiento humano, fines turísticos, recreación y agropecuario.

6. Balance Hídrico Integrado y Dinámico de El Salvador, (Estudio Realizado por el SNET 2005)

Con el Balance Hídrico Integrado y Dinámico se buscó determinar el estado actual y proyecciones futuras del recurso hídrico en cuanto a cantidad y calidad, estableciendo la presión sobre el mismo al considerar su distribución espacial y temporal de oferta, disponibilidad y demanda, con el fin de ser una herramienta que permita desarrollar lineamientos de protección del recurso, ordenación de usos, ordenamiento territorial, mejorar la calidad de vida de la población y asegurar la inversión.

El Balance Hídrico Integrado y Dinámico se ha realizando a nivel de cuenca hidrográfica, en el periodo comprendido entre 1971 a 2001.

Se considera dinámico porque se actualizará de forma periódica y automáticamente, puede ser consultado en la página web del SNET.

7. Estudio de Control Integral de Crecidas en el Rio Grande de San Miguel, en La República de El Salvador. (JICA/MAG 1995-1996)

El Estudio para el Control Integral de Crecidas en el Rio Grande de San Miguel es una propuesta de Diseño que se realizó con la finalidad de utilizar la Laguna de Olomega como embalse regulador para el amortiguamiento de las crecidas, se buscaba reducir también el área inundable de la Laguna de Olomega.

Se proponen obras hidráulicas tales como: Excavaciones (Dragado), Construcción de bordas, canalizar varios kilómetros del cauce del rio Grande de San Miguel.

8. Análisis de Crecidas de 2003 en Río Grande de San Miguel para Fortalecimiento de SAT. (SNET 2003)

Esta Investigación se llevó a cabo con el fin de mejorar el SAT de la cuenca del Río Grande de San Miguel, el cual se basa en niveles del río en las estaciones Villerías y Delirio. Se analizaron eventos ocurridos en junio y septiembre del 2003, con el fin de establecer la relación entre las lluvias precipitadas en la cuenca y las crecidas del río.

3.9 INFORMACIÓN OBTENIDA EN CAMPO

Se entrevistaron a personas que residen en el cantón Olomega y caserío La Pelota, las cuales son 2 de las comunidades que se han visto afectadas por desborde de la Laguna de Olomega.

Las personas que viven en el cantón Olomega expresaron que sufren muy poco a causa del desborde de la Laguna, esto se debe a que la topografía les es favorable y las casas están en un nivel mas o menos elevado respecto del nivel de la Laguna (2-3mt las mas cercanas). Únicamente son afectados cuando ocurren eventos extremos como el caso del huracán Gilberto 1988 y huracán Mitch de 1998, ambos eventos provocaron que el agua alcanzara algunas viviendas e inundara la calle principal del cantón Olomega.



Fotografía 3.13 Entrevista a persona residente en el cantón Olomega afectadas por inundaciones



Fotografía 3. 14 Viviendas construidas en el cantón Olomega a las orillas de la Laguna, con 2 a 3 metros de altura respecto al nivel de agua

En el caso de los residentes del caserío La Pelota, expresaron que ellos son los más afectados a causa del desborde de la Laguna, las inundaciones que más recuerdan son: Huracán Gilberto (1988) y Huracán Mitch (1998) que provocaron una inundación de 1.5mt. de altura aproximadamente en el caserío la Pelota. Las personas expresaron que las mayores pérdidas que han sufrido son: pérdida de bienes materiales, pérdida de los cultivos, pérdida de algunas viviendas y animales.

En el caso del huracán Stan los pobladores del caserío La Pelota manifestaron que la inundación provocada no fue de tan alta intensidad como la provocada por el Huracán Mitch, la altura que alcanzó la inundación para el huracán Stan fue 0.5mt aproximadamente.



Fotografía 3. 15 Inundación en el caserío La Pelota después del paso del huracán Stan y evacuación de familias (Diario de Hoy, 6 de octubre de 2005)



Fotografía 3.16 Persona residente en el caserío La Pelota, indicando la altura que alcanzó el agua para el Huracán Mitch (1998)

Fotografía 3.17 Persona residente en el caserío La Pelota, indicando la altura que alcanzó el agua para el Huracán Stan (2005)



Debido a las frecuentes inundaciones de baja intensidad algunos pobladores han construido sus casas usando un relleno de aproximadamente 0,5 mt para evitar que el agua se introduzca en sus viviendas. Ver fotografía



Fotografía 3.18 Persona residente en el caserío La Pelota que se dedica al cultivo de maíz y una de las personas que a construido su vivienda sobre relleno de aproximadamente 0.5 mt para protegerse de inundaciones leves frecuentes.

Los meses en que la Laguna presenta su nivel de agua mas alto son en los meses de Septiembre y Octubre, incrementando su nivel aproximadamente 1.0 metro, mientras que su nivel de agua mas bajo lo presenta en los meses de abril y mayo.

Capítulo IV



**Estudio
Hidrológico**

4.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y FORMA DE LA SUBCUENCA

La Subcuenca de La Laguna de Olomega está inmersa dentro de la Cuenca del Río Grande de San Miguel, pero ella posee características Físicas y de Forma propia, y en nuestro estudio se determinaron algunas características como son; Área, Perímetro, Elevación Media, Pendiente Media, Ancho, Orden de Corrientes, Longitud del Cauce más Largo de la Subcuenca de La Laguna de Olomega. Estas se detallan a continuación.

4.1.1 Área de la Subcuenca de la Laguna de Olomega:

El área de la Subcuenca se obtuvo con ayuda del programa Land Desktop, en el cual se digitalizaron los cuadrantes en escala 1:50,000, luego se procedió a delimitar la Subcuenca. Una vez delimitada la Subcuenca se calculó con ayuda del programa el área.

$$A= 1,607.11 \text{ km}^2$$

4.1.2 Perímetro de la Subcuenca

El perímetro se obtuvo midiendo la longitud de la línea divisoria (parte aguas) de la Subcuenca de la Laguna de Olomega, para ello nos auxiliamos del programa Land Desktop. (Ver figura 4.1).

$$P= 218.93 \text{ km}$$

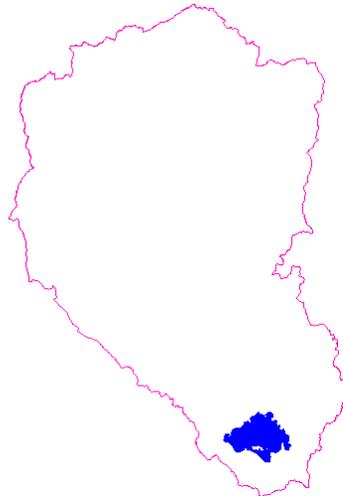


Figura 4.1 Área de la Subcuenca, delimitada por línea divisoria (parte agua)

4.1.3 Longitud del cauce más largo

Al igual que las características anteriores la longitud del cauce más largo fue calculado con ayuda del programa Land Desktop donde se digitalizaron los ríos principales y quebradas que se encuentran ubicadas dentro de la Subcuenca de la Laguna de Olomega. Los cuadrantes utilizados para la digitalización de los cauces fueron en escala 1:50,000

$$L= 98.97 \text{ km}$$

4.1.4 Ancho de la Cuenca (W)

El ancho que tiene la Subcuenca de la Laguna de Olomega se calculó a partir de la ecuación 2.1 descrita en el Capítulo II, donde: $W= A/L$

Debido a que anteriormente hemos calculado el Área y la Longitud, procedemos a sustituir valores:

$$W = \frac{1607.11 \text{ km}^2}{98.97 \text{ (km)}}$$

Teniendo como resultado:

$$W = 16.2 \text{ km}$$

4.1.5 Orden de Corrientes

Para conocer el orden de corrientes que posee la Subcuenca se clasificaron sus cauces según Strahler, criterio descrito en el Capítulo II.

Presentando la Subcuenca un orden de corrientes Nº 6. (Anexo A, Mapa #1 y Mapa #5)

4.1.6 Elevación Media

Para determinar la elevación media, primero se delimitó la Subcuenca de la Laguna y se dibujaron las curvas de nivel a cada 100mt (Anexo A, Mapa #2), luego se calcularon las áreas entre curvas; para esto nos auxiliamos de cuadrantes 1:50,000 y del programa Land Desktop. A la vez se creó la superficie del terreno para elaborar el Mapa Altimétrico (Anexo A Mapa #3). El cálculo para la determinación de la elevación media se realizó utilizando el método descrito en el capítulo II, estos cálculos se expresan en la Tabla 4.1

Tabla 4.1 Cálculo de Elevación Media

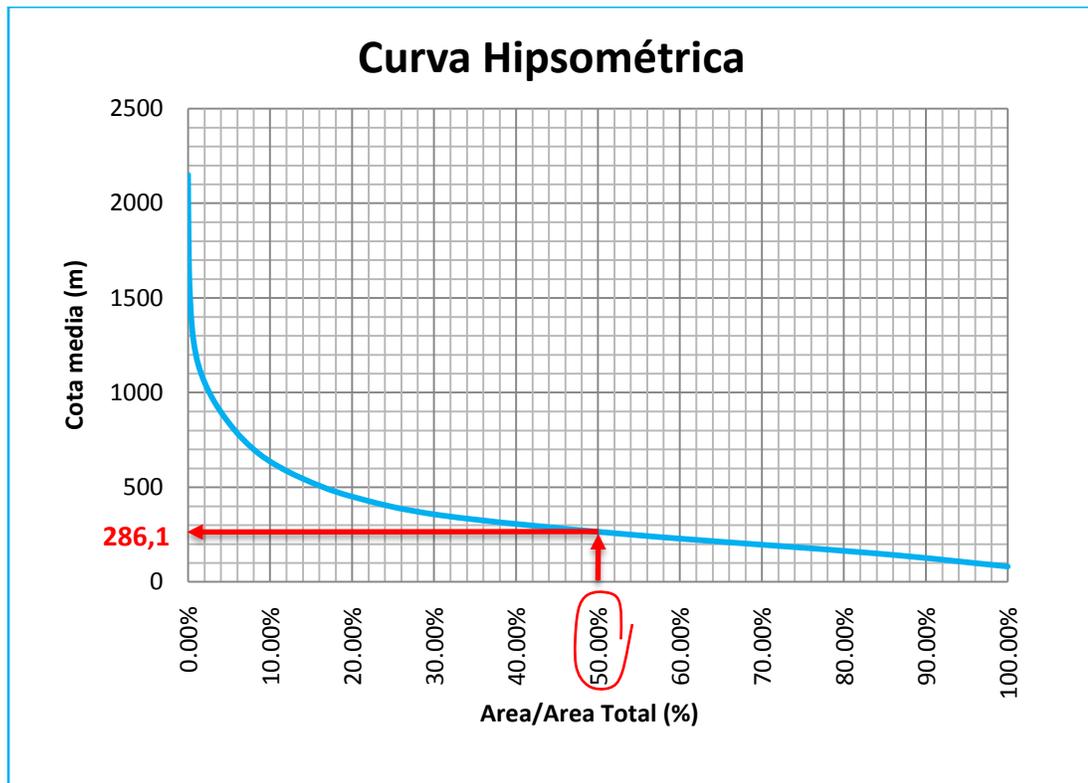
Intervalos entre curvas de nivel (m)	Cota media "ci" (m)	Área Entre Curvas "ai" (Km2)	Área (ai) / Área Total (%)	Porcentaje de área acumulado (%)	ci * ai
> 2100	2150	0,008	0,00%	0,00%	17,2
2100 - 2000	2050	0,162	0,01%	0,01%	332,1
2000 - 1900	1950	0,29	0,02%	0,03%	565,5
1900 - 1800	1850	0,402	0,03%	0,05%	743,7
1800 - 1700	1750	0,454	0,03%	0,08%	794,5
1700 - 1600	1650	0,599	0,04%	0,12%	988,35
1600 - 1500	1550	1,096	0,07%	0,19%	1698,8
1500 - 1400	1450	1,882	0,12%	0,30%	2728,9
1400 - 1300	1350	2,536	0,16%	0,46%	3423,6
1300 - 1200	1250	4,513	0,28%	0,74%	5641,25
1200 - 1100	1150	7,693	0,48%	1,22%	8846,95
1100 - 1000	1050	13,163	0,82%	2,04%	13821,15
1000 - 900	950	18,816	1,17%	3,21%	17875,2
900 - 800	850	25,17	1,57%	4,78%	21394,5
800 - 700	750	31,55	1,96%	6,74%	23662,5
700 - 600	650	43,799	2,73%	9,47%	28469,35
600 - 500	550	68,017	4,23%	13,70%	37409,35
500 - 400	450	100,532	6,26%	19,95%	45239,4
400 - 300	350	176,401	10,98%	30,93%	61740,35
300 - 200	250	363,753	22,63%	53,56%	90938,25
200 - 100	150	483,319	30,07%	83,64%	72497,85
100 - 60	80	262,959	16,36%	100,00%	21036,72
Total		1607,11	100,00%		459865,47

Cálculo de la elevación media utilizando ecuación 2.2 del Capítulo II y sustituyendo en ella los valores correspondientes a los totales de la tabla 4.1. Se tiene:

$$H = \frac{\sum(c_i * a_i)}{A} = \frac{459865.47}{1607.11} = \mathbf{286.1m}$$

La elevación media también puede conocerse a partir de la Curva Hipsométrica de la Subcuenca. Para ello se graficaron los valores de porcentaje de área acumulada en el eje de las abscisas y los valores de cotas medias (ci) en el eje de las ordenadas, de la tabla 4.1.

Una vez construida la curva hipsométrica, se procedió a ubicar el valor de la elevación media que corresponde al 50% del área total de la Subcuenca. (Ver Gráfica 4.1):



Gráfica 4.1 Curva Hipsométrica de la Subcuenca de la Laguna de Olomega

4.1.7 Pendiente media

Para conocer la Pendiente media de la Subcuenca se utilizó el criterio de Horton, tal como se explicó en el Capítulo II. La cuadrícula fue trazada sobre la Subcuenca con

curvas de nivel a cada 100mt como se muestra en la figura 4.2 y los valores requeridos para el cálculo de la pendiente media obtenidos se muestran en la Tabla 4.2

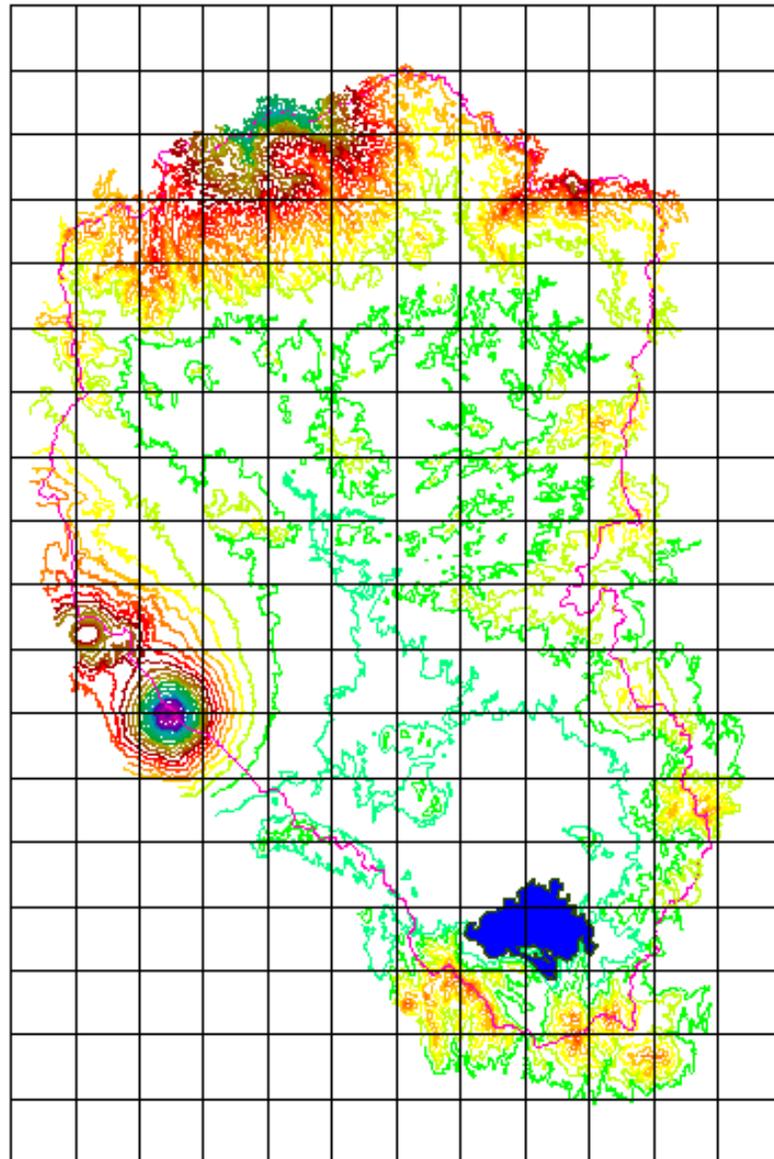


Figura 4.2 Rejilla para el cálculo de la Pendiente Media

Tabla 4.2 Valores Obtenidos a través en la Maya

Numero de línea de malla	Intersecciones		Longitudes en Km	
	Nx	Ny	Lx	Ly
1	30	15	15,911	20,001
2	51	22	30,344	28,18
3	55	38	36,51	36,23
4	30	29	35,889	42,104
5	18	43	34,4	45,38
6	15	36	35,74	51,07
7	16	43	35,619	54,98
8	17	38	31,698	54,81
9	17	42	29,819	48,876
10	36	17	30,786	19,107
11	13	-	26,846	-
12	11	-	23,25	-
13	9	-	16,105	-
14	20	-	11,306	-
15	5	-	2,42	-
<i>Sumas Parciales</i>	343	323	396,643	400,738
<i>Suma Total</i>	666		797,381	

Utilizando la ecuación 2.3 y los valores presentados en la tabla 4.2, se calculó la pendiente media en dirección X y Y de la Subcuenca, obteniendo los siguientes valores:

$$S_x = \frac{(N_x * D)}{L_x}$$

$$S_y = \frac{(N_y * D)}{L_y}$$

$$S_x = \frac{(343 * 100)}{396.643}$$

$$S_y = \frac{(323 * 100)}{400.738}$$

$$S_x = 0.086475748$$

$$S_y = 0.098978135$$

Una vez obtenidas las pendientes medias en dirección X y Y, se calcula la Pendiente que presenta la Subcuenca utilizando la ecuación 2.4 (Promedio Aritmético de Pendiente) y la ecuación 2.5 (Promedio Geométrico de Pendiente)

Promedio Aritmético de Pendiente

Promedio Geométrico de Pendiente

$$S = \frac{(0.086475748 + 0.098978135)}{2}$$

$$S = \sqrt{0.086475748 * 0.098978135}$$

$$S = 0.093$$

$$S = 0.093$$

$$S = 9.3\%$$

$$S = 9.3\%$$

4.1.8 Factor de Forma de la Subcuenca

El factor a dimensional de forma designado como “Kf” fue calculado a partir de la ecuación 2.6, tal como se explicó en el Capítulo II, con una longitud L = 59.34Km, dando como resultado:

$$Kf = \frac{A}{L^2}$$

$$Kf = \frac{1607.11Km^2}{(59.34Km)^2}$$

$$Kf = 0.456$$

4.1.9 Índice de Compacidad

Para el cálculo del Índice de compacidad de la Subcuenca se utilizó la ecuación 2.7 descrita en el Capítulo II:

$$Kc = 0.282 \frac{P}{A}$$

$$Kc = 1.54$$

4.2 BALANCE HÍDRICO APLICADO A TORMENTA HURACÁN STAN EN LA SUBCUENCA DE LA LAGUNA DE OLOMEGA

El cálculo del Balance Hídrico para la Subcuenca de la Laguna de Olomega se realizó de forma diaria, tomando en cuenta únicamente los días en que incidió la Tormenta Stan en el país (del 1 al 6 de octubre de 2005) y analizando únicamente los siguientes elementos: Precipitación, Escorrentía, Almacenamiento Superficial y Evapotranspiración. El Huracán Stán fue la decimoctava tormenta tropical y el décimo huracán de la temporada de huracanes del Océano Atlántico en 2005. Fue una tormenta relativamente fuerte que, mientras se estableció como huracán de Categoría 1 durante un corto período de tiempo, causó inundaciones y desprendimientos en los países centroamericanos durante los días 3, 4 y 5 de octubre de 2005.

El ojo del huracán impactó a cientos de kilómetros de nuestro país, sin embargo aquí en El Salvador hubo inundaciones, muertes y pérdidas significativas, además es una

tormenta reciente y muy fácil de recordar para las personas afectadas. Es por esta razón que se ha tomado como una tormenta de referencia y el balance que se presenta a continuación, proporciona una idea de cómo se distribuyeron los volúmenes de Agua en la Subcuenca de La Laguna de Olomega.

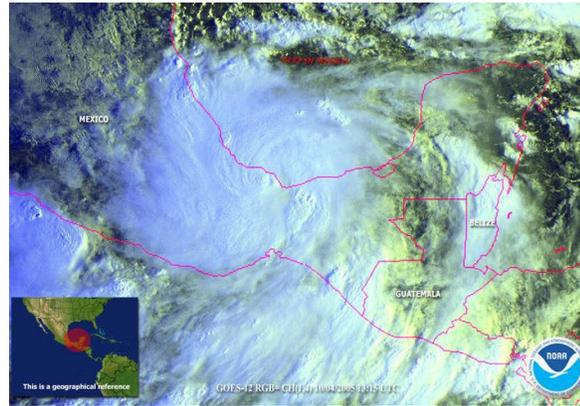


Figura 4.3 Imagen Satelital del Huracán Stan Tomada el día 4 de Octubre de 2005.

4.2.1 Cálculo de la Precipitación Media Diaria

Para calcular la precipitación media diaria se utilizó el Método de Polígonos de Thiessen, descritos en el Capítulo II, ya que este método proporciona una precipitación media más cercana a la realidad y es un método práctico para nuestra finalidad.

Los polígonos de Thiessen se dibujaron teniendo en cuenta las estaciones Chapeltique, Gotera, Osicala, Villerías y El Delirio (ver figura 4.4). La estación San Miguel no se tomó en consideración debido a que presentó problemas en su funcionamiento por lo cual no se tiene registro de datos de precipitación para los días del 1 al 4 de octubre.

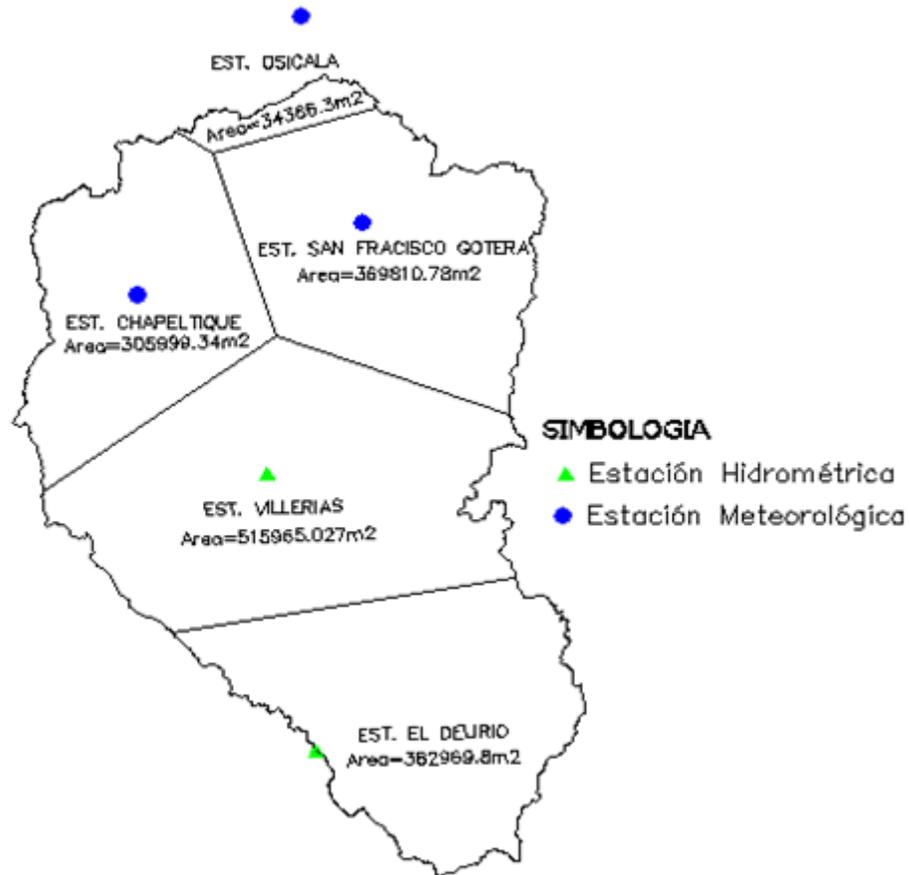


Figura 4.4 Polígonos de Thiessen en la Subcuenca de Olomega

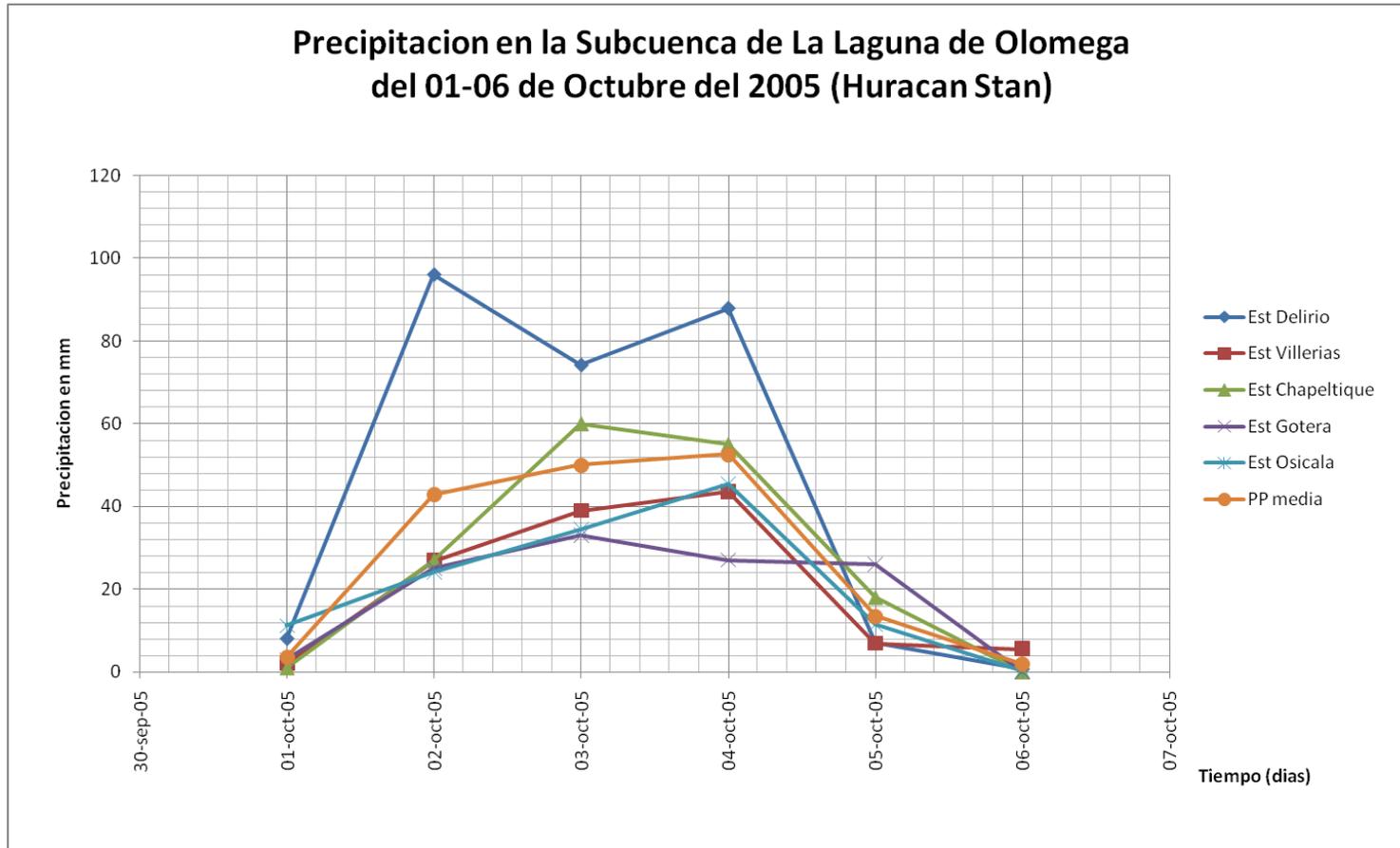
Se procedió a determinar la precipitación media diaria ponderada utilizando la Ecuación 2.8 la cual se expresa a continuación:

$$\bar{P} = \frac{1}{A} \sum_{j=1}^J A_j P_j$$

Los resultados del cálculo se presentan en la Tabla 4.3 y de manera gráfica se muestran en el gráfico 4.2

Tabla 4.3 Precipitación Media Diaria

Fecha	Estaciones	Precipitación (mm/día)	Área (m2)	PP mm/día
01-oct-05	Chapeltique	1	305999340,6	3,708903371
	Gotera	3	369810781,4	
	Osicala	11,18	34366313,63	
	Villerías	2,03	515965027	
	Delirio	8,13	382969841,7	
02-oct-05	Chapeltique	27	305999340,6	42,93455642
	Gotera	25	369810781,4	
	Osicala	24,13	34366313,63	
	Villerías	26,93	515965027	
	Delirio	96,01	382969841,7	
03-oct-05	Chapeltique	60	305999340,6	49,98394323
	Gotera	33	369810781,4	
	Osicala	34,38	34366313,63	
	Villerías	39,11	515965027	
	Delirio	74,17	382969841,7	
04-oct-05	Chapeltique	55	305999340,6	52,62589551
	Gotera	27	369810781,4	
	Osicala	45,47	34366313,63	
	Villerías	43,69	515965027	
	Delirio	87,88	382969841,7	
05-oct-05	Chapeltique	18	305999340,6	13,55768087
	Gotera	26	369810781,4	
	Osicala	11,43	34366313,63	
	Villerías	6,88	515965027	
	Delirio	7,11	382969841,7	
06-oct-05	Chapeltique	0	305999340,6	1,983517479
	Gotera	0	369810781,4	
	Osicala	0,25	34366313,63	
	Villerías	5,59	515965027	
	Delirio	0,77	382969841,7	



Gráfica 4.2 Precipitación en la Subcuenca de La Laguna de Olomega, Huracán Stán 01-06 de Octubre de 2005.

4.2.2 Cálculo de Evapotranspiración de Referencia (ET_o)

Para conocer el valor de la Evapotranspiración de Referencia se utilizó la ecuación 2.10 (método de Hargreaves) del Capítulo II la cual se expresa de la siguiente manera:

$$ET_o = 0,0135 (t_{med} + 17,78) R_s$$

Las temperaturas registradas por la Estación San Miguel para el período en estudio (del 1 al 6 de octubre de 2005) se muestran en la Tabla 4.4

Tabla 4.4 Temperaturas Max y Min registradas en Estación San Miguel

Datos de Temperatura (Estación San Miguel)						
Día	1	2	3	4	5	6
Temperatura Max (°C)	31,5	28	27	25,5	27,5	30
Temperatura Mínima (°C)	23	22	22	21	22	23
Temperatura Promedio (°C)	27,25	25	24,5	23,25	24,75	26,5

✓ *Calculando radiación solar incidente (R_s)*

Haciendo uso de la ecuación 2.11 del Capítulo II y tomando K_T = 0.19 (regiones costeras), tenemos:

$$R_s = R_o * K_T \sqrt{(T_{max} - T_{min})}$$

- *Determinando la Radiación Solar Extraterrestre R_o*

Ubicación de Laguna de Olomega: **13° 12' Latitud Norte**

Mes de Análisis: **Octubre**

Con los datos de ubicación y mes de estudio, utilizamos la tabla 2.1 del Capítulo II de la cual tenemos:

Latitud Norte	12°	14°
Ro =	34.5	33.9

Debido a que en la tabla 2.1 del Capítulo II no se encuentra un valor de Ro para la ubicación de la Laguna, interpolando para 13° lo cual nos da como resultado de

$$Ro = 34.17$$

Una vez conocidos los datos de Ro, KT, T_{máx} y T_{mín}, sustituimos valores en la ecuación de la Radiación Solar Incidente (Rs) para cada día del período en estudio. Los valores se presentan en la Tabla 4.5

Tabla 4.5 Valores de Radiación Solar obtenidos para el período de análisis

Día	1	2	3	4	5	6
Rs (MJulios/m ² /día)	18,93	15,90	14,52	13,77	15,23	17,18
Rs (mm/día)	7,72	6,49	5,92	5,62	6,21	7,01

NOTA: Para convertir la Radiación Solar de MJulios/m²/día, a unidades de mm/día, se multiplico por un factor de 0.408

Conocidos todos los valores de la expresión para el cálculo de la Evapotranspiración de Referencia, procedemos al cálculo de ETo. Los resultados obtenidos son:

Día	1	2	3	4	5	6
ETo (mm/día)	12,17	9,72	8,76	8,07	9,25	10,86

4.2.3 Cálculo de Evapotranspiración de Cultivo

Para obtener el valor de la Evapotranspiración de cultivo se utilizó la ecuación 2.9 del Capítulo II, la cual se expresa de la siguiente manera:

$$ET_c = K_c \times ETo.$$

El producto de Kc por ETo proporciona la lámina de agua evapotranspirada correspondiente a cada cultivo en mm/día y para conocer el volumen total de agua evapotranspirada en la Subcuenca se realizó la ponderación respectiva por medio de las áreas correspondientes a cada tipo de cultivo.

Los coeficientes de cultivo fueron tomados del documento Balance Hídrico Dinámico e Integrado de El Salvador/SNET (Tabla 4.6).

Tabla 4.6 Coeficiente de Cultivo para diferentes uso de suelo

Uso del Suelo	Octubre (Kc)
Árboles Frutales	0,6
Bosque Caducifolio	0,6
Bosque de Galería	0,6
Caña de Azúcar	1,15
Café	0,7
Cultivos Anuales Asociados con Cultivos	1
Granos Básicos	1
Lagos, lagunas y lagunetas	1,1
Marismas interiores	1,15
Mosaico de Cultivos y Pastos	1
Mosaico de Cultivos, Pastos y Vegetación	1
Otros Cultivos Irrigados	1,05
Pastos Cultivados	1,1
Pastos naturales	1,1
Roqueda, lavas	0
Vegetación acuática sobre cuerpos de agua	1,05
Vegetación Arbustiva Baja	0,7
Vegetación herbácea natural	1,1
Zonas de Extracción Minera	0
Zonas Quemadas	1
Zonas Urbanas y Semi-urbanas	0,1

Para el cálculo de áreas para los diferentes usos del suelo en la Subcuenca, se utilizó el mapa de usos de suelos del CNR (Proyecto Sherpa 2003). Con ayuda del programa Land Desktop se digitalizó la parte correspondiente a la Subcuenca de la Laguna de Olomega y se determinaron las áreas para los diferentes usos de suelo. (Anexo A, Mapa #4).

Los valores de las áreas obtenidas se muestran en la tabla 4.7

Tabla 4.7 Área de los diferentes Usos de Suelo en la Subcuenca de la Laguna de Olomega

Uso de Suelo de la Subcuenca Olomega		
Uso de Suelo	Área	%
Árboles Frutales	8,190	0,51%
Bosque Caducifolio	29,760	1,85%
Bosque de Galería	11,360	0,71%
Caña de Azúcar	30,670	1,91%
Café	59,500	3,70%
Cultivos Anuales Asociados con Cultivos	5,470	0,34%
Granos Básicos	192,480	11,98%
Lagos, lagunas y lagunetas	28,150	1,75%
Marismas interiores	1,840	0,11%
Mosaico de Cultivos y Pastos	301,680	18,77%
Mosaico de Cultivos, Pastos y Vegetación	350,460	21,81%
Otros Cultivos Irrigados	3,100	0,19%
Pastos Cultivados	43,350	2,70%
Pastos naturales	174,800	10,88%
Roqueda, lavas	1,720	0,11%
Vegetación acuática sobre cuerpos de agua	19,470	1,21%
Vegetación Arbustiva Baja	244,580	15,22%
Vegetación herbácea natural	43,930	2,73%
Zonas de Extracción Minera	1,750	0,11%
Zonas Quemadas	1,970	0,12%
Zona Urbana Continua	31,710	1,97%
Zona Urbana Discontinua	21,170	1,32%
Total	1607,110	100,00%

Una vez obtenidos los datos de ETo, Kc y conociendo el área correspondiente a cada uso de suelo se procedió a realizar el cálculo de ETc para el período analizado. Los resultados se muestran en la Tabla 4.8

Tabla 4.8 Evapotranspiración de Cultivo según Uso de Suelo en la Subcuenca de la Laguna de Olomega

Día	1					2				
	Uso de Suelo	Kc	Eto (mm)	Etc (mm)	Área Km ²	Etc m ³ /día	Kc	Eto (mm)	Etc (mm)	Área Km ²
Árboles Frutales	0,6	12,17	7,302	8,190	59803,38	0,6	9,71501	5,82901	8,190	47739,55262
Bosque Caducifolio	0,6	12,17	7,302	29,760	217307,52	0,6	9,71501	5,82901	29,760	173471,1949
Bosque de Galería	0,6	12,17	7,302	11,360	82950,72	0,6	9,71501	5,82901	11,360	66217,49911
Caña de Azúcar	1,15	12,17	13,9955	30,670	429241,985	1,15	9,71501	11,1723	30,670	342653,2134
Café	0,7	12,17	8,519	59,500	506880,5	0,7	9,71501	6,80051	59,500	404630,1112
Cultivos Anuales Asociados con Cultivos	1	12,17	12,17	5,470	66569,9	1	9,71501	9,71501	5,470	53141,09744
Granos Básicos	1	12,17	12,17	192,480	2342481,6	1	9,71501	9,71501	192,480	1869944,869
Lagos, lagunas y lagunetas	1,1	12,17	13,387	28,150	376844,05	1,1	9,71501	10,6865	28,150	300825,2435
Marismas interiores	1,15	12,17	13,9955	1,840	25751,72	1,15	9,71501	11,1723	1,840	20556,95835
Mosaico de Cultivos y Pastos	1	12,17	12,17	301,680	3671445,6	1	9,71501	9,71501	301,680	2930823,816
Mosaico de Cultivos, Pastos y Vegetación	1	12,17	12,17	350,460	4265098,2	1	9,71501	9,71501	350,460	3404721,939
Otros Cultivos Irrigados	1,05	12,17	12,7785	3,100	39613,35	1,05	9,71501	10,2008	3,100	31622,35323
Pastos Cultivados	1,1	12,17	13,387	43,350	580326,45	1,1	9,71501	10,6865	43,350	463260,1885
Pastos naturales	1,1	12,17	13,387	174,800	2340047,6	1,1	9,71501	10,6865	174,800	1868001,868
Roqueda, lavas	0	12,17	0	1,720	0	0	9,71501	0	1,720	0
Vegetación acuática sobre cuerpos de agua	1,05	12,17	12,7785	19,470	248797,395	1,05	9,71501	10,2008	19,470	198608,7798
Vegetación Arbustiva Baja	0,7	12,17	8,519	244,580	2083577,02	0,7	9,71501	6,80051	244,580	1663267,775
Vegetación herbácea natural	1,1	12,17	13,387	43,930	588090,91	1,1	9,71501	10,6865	43,930	469458,3641
Zonas de Extracción Minera	0	12,17	0	1,750	0	0	9,71501	0	1,750	0
Zonas Quemadas	1	12,17	12,17	1,970	23974,9	1	9,71501	9,71501	1,970	19138,56708
Total m ³					17948802,8					14328083,39
Total en Mm³/día					17,9488028					14,32808339

Día	3					4				
	Uso de Suelo	Kc	Eto (mm)	Etc (mm)	Área Km ²	Etc m ³ /día	Kc	Eto (mm)	Etc (mm)	Área Km ²
Árboles Frutales	0,6	8,76	5,256	8,190	43046,64	0,6	8,07	4,842	8,190	39655,98
Bosque Caducifolio	0,6	8,76	5,256	29,760	156418,56	0,6	8,07	4,842	29,760	144097,92
Bosque de Galería	0,6	8,76	5,256	11,360	59708,16	0,6	8,07	4,842	11,360	55005,12
Caña de Azúcar	1,15	8,76	10,074	30,670	308969,58	1,15	8,07	9,2805	30,670	284632,935
Café	0,7	8,76	6,132	59,500	364854	0,7	8,07	5,649	59,500	336115,5
Cultivos Anuales Asociados con Cultivos	1	8,76	8,76	5,470	47917,2	1	8,07	8,07	5,470	44142,9
Granos Básicos	1	8,76	8,76	192,480	1686124,8	1	8,07	8,07	192,480	1553313,6
Lagos, lagunas y lagunetas	1,1	8,76	9,636	28,150	271253,4	1,1	8,07	8,877	28,150	249887,55
Marismas interiores	1,15	8,76	10,074	1,840	18536,16	1,15	8,07	9,2805	1,840	17076,12
Mosaico de Cultivos y Pastos	1	8,76	8,76	301,680	2642716,8	1	8,07	8,07	301,680	2434557,6
Mosaico de Cultivos, Pastos y Vegetación	1	8,76	8,76	350,460	3070029,6	1	8,07	8,07	350,460	2828212,2
Otros Cultivos Irrigados	1,05	8,76	9,198	3,100	28513,8	1,05	8,07	8,4735	3,100	26267,85
Pastos Cultivados	1,1	8,76	9,636	43,350	417720,6	1,1	8,07	8,877	43,350	384817,95
Pastos naturales	1,1	8,76	9,636	174,800	1684372,8	1,1	8,07	8,877	174,800	1551699,6
Roqueda, lavas	0	8,76	0	1,720	0	0	8,07	0	1,720	0
Vegetación acuática sobre cuerpos de agua	1,05	8,76	9,198	19,470	179085,06	1,05	8,07	8,4735	19,470	164979,045
Vegetación Arbustiva Baja	0,7	8,76	6,132	244,580	1499764,56	0,7	8,07	5,649	244,580	1381632,42
Vegetación herbácea natural	1,1	8,76	9,636	43,930	423309,48	1,1	8,07	8,877	43,930	389966,61
Zonas de Extracción Minera	0	8,76	0	1,750	0	0	8,07	0	1,750	0
Zonas Quemadas	1	8,76	8,76	1,970	17257,2	1	8,07	8,07	1,970	15897,9
Total m ³					12919598,4					11901958,8
Total en Mm³/día					12,9195984					11,9019588

Día	5					6				
	Uso de Suelo	Kc	Eto (mm)	Etc (mm)	Área Km ²	Etc m ³ /día	Kc	Eto (mm)	Etc (mm)	Área Km ²
Árboles Frutales	0,6	9,25	5,55	8,190	45454,5	0,6	10,86	6,516	8,190	53366,04
Bosque Caducifolio	0,6	9,25	5,55	29,760	165168	0,6	10,86	6,516	29,760	193916,16
Bosque de Galería	0,6	9,25	5,55	11,360	63048	0,6	10,86	6,516	11,360	74021,76
Caña de Azúcar	1,15	9,25	10,6375	30,670	326252,125	1,15	10,86	12,489	30,670	383037,63
Café	0,7	9,25	6,475	59,500	385262,5	0,7	10,86	7,602	59,500	452319
Cultivos Anuales Asociados con Cultivos	1	9,25	9,25	5,470	50597,5	1	10,86	10,86	5,470	59404,2
Granos Básicos	1	9,25	9,25	192,480	1780440	1	10,86	10,86	192,480	2090332,8
Lagos, lagunas y lagunetas	1,1	9,25	10,175	28,150	286426,25	1,1	10,86	11,946	28,150	336279,9
Marismas interiores	1,15	9,25	10,6375	1,840	19573	1,15	10,86	12,489	1,840	22979,76
Mosaico de Cultivos y Pastos	1	9,25	9,25	301,680	2790540	1	10,86	10,86	301,680	3276244,8
Mosaico de Cultivos, Pastos y Vegetación	1	9,25	9,25	350,460	3241755	1	10,86	10,86	350,460	3805995,6
Otros Cultivos Irrigados	1,05	9,25	9,7125	3,100	30108,75	1,05	10,86	11,403	3,100	35349,3
Pastos Cultivados	1,1	9,25	10,175	43,350	441086,25	1,1	10,86	11,946	43,350	517859,1
Pastos naturales	1,1	9,25	10,175	174,800	1778590	1,1	10,86	11,946	174,800	2088160,8
Roqueda, lavas	0	9,25	0	1,720	0	0	10,86	0	1,720	0
Vegetación acuática sobre cuerpos de agua	1,05	9,25	9,7125	19,470	189102,375	1,05	10,86	11,403	19,470	222016,41
Vegetación Arbustiva Baja	0,7	9,25	6,475	244,580	1583655,5	0,7	10,86	7,602	244,580	1859297,16
Vegetación herbácea natural	1,1	9,25	10,175	43,930	446987,75	1,1	10,86	11,946	43,930	524787,78
Zonas de Extracción Minera	0	9,25	0	1,750	0	0	10,86	0	1,750	0
Zonas Quemadas	1	9,25	9,25	1,970	18222,5	1	10,86	10,86	1,970	21394,2
Total m ³					13642270					16016762,4
Total en Mm³/día					13,64227					16,0167624

4.2.4 Cálculo de la Evaporación en Cuerpos de Agua.

La evaporación en cuerpos de agua se realizo para el periodo de análisis utilizando la siguiente expresión:

$$Ev = Ku * ETo$$

Los valores de ETo fueron calculados anteriormente en la sección 4.2.2 y el valor de la constante Ku se tomo de 1.1 correspondiente al mes de Octubre (factor utilizado por el SNET para el cálculo de la Evaporación en cuerpos de agua)

Los resultados del cálculo de la evaporación en cuerpos de agua se presentan en la tabla 4.9

Tabla 4.9 Evaporación en cuerpos de agua dentro de la Subcuenca de la Laguna de Olomega

Área de Cuerpos de Agua = 28150000 m² = 28.15km²

Día	1	2	3	4	5	6
Eto mm/día	12,1713	9,7150	8,7649	8,0693	9,2471	10,8613
Ku	1,1000	1,1000	1,1000	1,1000	1,1000	1,1000
Evaporación mm/día	13,3885	10,6865	9,6414	8,8762	10,1718	11,9475
Evaporación Mm ³ /día	0,3769	0,3008	0,2714	0,2499	0,2863	0,3363

4.2.5 Cálculo de la Evaporación en Zonas Urbanas

Para el cálculo de la evaporación en zonas urbanas se siguió el mismo procedimiento que para la evaporación en cuerpos de agua descrito en la sección 4.2.4.

El valor de Ku para el mes de octubre es 0.1. Este valor fue tomado del Balance Hídrico integrado y dinámico de El Salvador, realizado por e SNET.

Los datos obtenidos se presentan en la tabla 4.10

Tabla 4.10 Evaporación en Zonas Urbanas dentro de la Subcuenca

Área de Zonas Urbanas (total)= 52880000m² =52.88km²

Día	1	2	3	4	5	6
Eto mm/día	12,1713	9,7150	8,7649	8,0693	9,2471	10,8613
Ku	0,1000	0,1000	0,1000	0,1000	0,1000	0,1000
Evaporación mm/día	1,2171	0,9715	0,8765	0,8069	0,9247	1,0861
Evaporación Mm ³ /día	0,0644	0,0514	0,0463	0,0427	0,0489	0,0574

4.2.6 Cálculo de la Escorrentía Superficial

El volumen escurrido para el período de análisis se obtuvo de los registros de la estación hidrométrica el Delirio ubicada en el cauce del Río Grande de San Miguel. El volumen escurrido se obtiene al calcular el área bajo la curva del Hidrógrama que describe el cauce para cada día analizado y la lámina de agua escurrida resulta de dividir el volumen total escurrido entre el área de la cuenca. Los resultados se muestran en la Tabla 4.11

Tabla 4.11 Volumen Escurrido por el Río Grande de San Miguel

Día	1	2	3	4	5	6
Q mm/día	4,3941	4,9646	8,5077	11,8937	11,4521	7,6906
Q Mm ³ /día	7,0619	7,9786	13,6728	19,1144	18,4048	12,3597

Durante la Tormenta Stan el Río Grande de San Miguel transportó por su cauce grandes cantidades de volúmenes de agua los cuales no fueron evacuados en su totalidad.

En la tabla 4.12 se muestran los volúmenes de agua almacenados en el cauce del Río Grande para los días de análisis y los volúmenes de agua acumulados al final de este período. También se pueden observar estos valores en forma gráfica, ver Gráfico 4.4

Tabla 4.12 Volumen Almacenado en el Cauce del Río Grande de San Miguel

Día	Volumen de Entrada m ³	Volumen de Salida m ³	Volumen almacenado m ³	Volumen Acumulado m ³
1	5891598	7065699,854	-1174101,85	-1174101,85
2	8496774	7741224,446	755549,55	-418552,30
3	20393496	13365497,79	7027998,21	6609445,91
4	22797378	18387429,07	4409948,93	11019394,84
5	11675862	17541149,69	-5865287,69	5154107,16
6	6774372	11811678,65	-5037306,65	116800,51
Total		75912679,49	116800,51	

El comportamiento observado del Río Grande de San Miguel para la Tormenta Stan se muestra en el Gráfico 4.3. En ella se observan los caudales de entrada registrados por la Estación Villerías y los caudales de salida registrados por la Estación El Delirio.

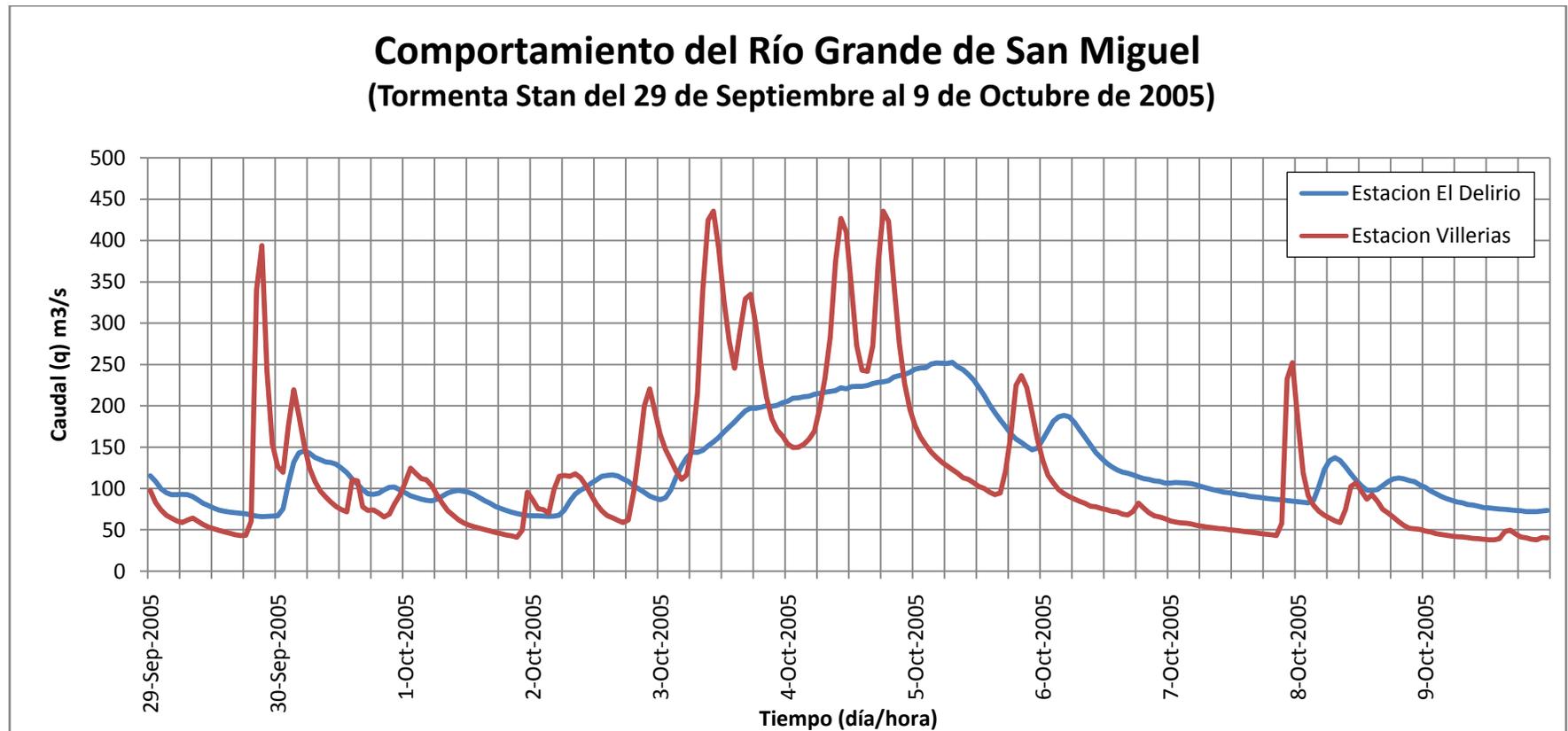


Gráfico 4.3 Hidrógrama del Río Grande de San Miguel durante Tormenta Stan (del 29 de septiembre al 9 de Octubre de 2005).

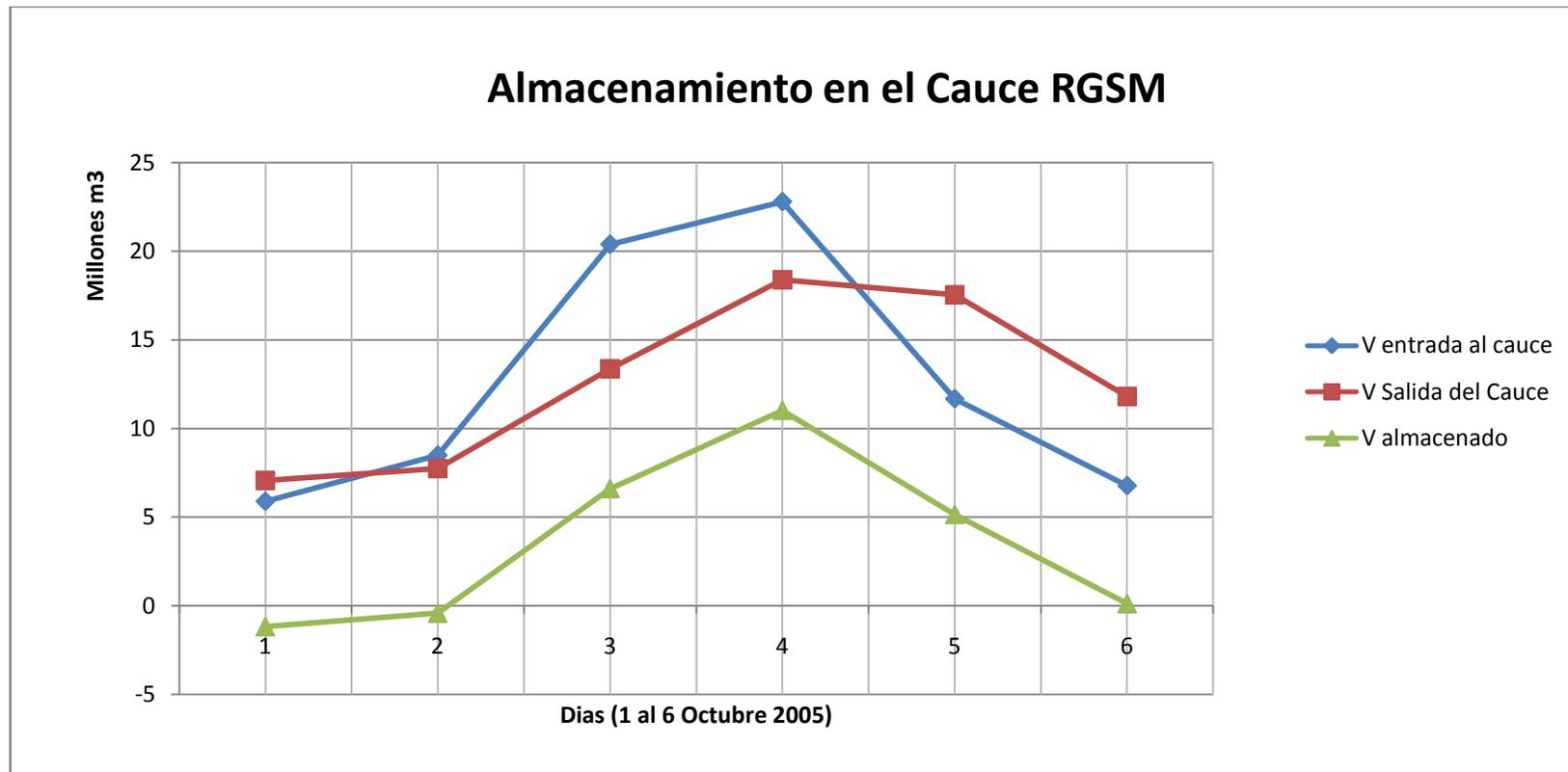


Gráfico 4.4 Volumen de Agua Almacenado en el cauce del Río Grande de San Miguel durante los días 1 al 6 de octubre de 2005

4.2.7 Aplicación del Balance Hídrico en La Subcuenca de La Laguna de Olomega.

Aplicamos el Método del Balance Hídrico para conocer el volumen de agua acumulado en la Subcuenca debido a la Tormenta Stan, basándonos en la ecuación 2.12 del Capítulo II.

Las entradas de agua a la Subcuenca se representan a través de las precipitaciones promedio, mientras que para las salidas de agua se consideran la escorrentía, la evaporación de cuerpos de agua, evaporación de zonas urbanas y la evapotranspiración de cultivos.

Los valores de entra y salida de agua a la Subcuenca, así como los volúmenes acumulado en ella, se presentan en la tabla 4.13

Tabla 4.13 Balance Hídrico Diario de la Subcuenca de La Laguna de Olomega en Mm³ (1-6 Octubre 2005)

Día	Precipitación	Escorrentía	Evaporación Cuerpos de Agua	Evaporación Zonas Urbanas	Evapotrans- piración de Cultivos	Exceso de Agua en la Subcuenca	Exceso de Agua Acumulado
1	5,96	7,06	0,3769	0,0644	17,949	-19,49	-19,49
2	69,00	7,98	0,3008	0,0514	14,328	46,34	26,85
3	80,33	13,68	0,2714	0,0463	12,920	53,41	80,26
4	84,58	19,11	0,2499	0,0427	11,902	53,27	133,53
5	21,79	18,40	0,2863	0,0489	13,642	-10,59	122,94
6	3,19	12,36	0,3363	0,0574	16,017	-25,58	97,35
Total	264,84	78,60	1,82	0,31	86,76	97,35	

4.3 ANALISIS DE LA MICROCUENCA DE LA LAGUNA DE OMEGA.

La Laguna de Olomega puede analizarse también delimitando una microcuenca a su alrededor, que es la suma de las pequeñas cuencas de sus afluentes de esta manera el área de análisis se reduce. Como se explicó en el Capítulo III el Río la Pelota ya no es un afluente importante de La Laguna de Olomega debido a las modificaciones en su cauce por lo tanto no se tomó en cuenta como afluente (ver figura 4.4)

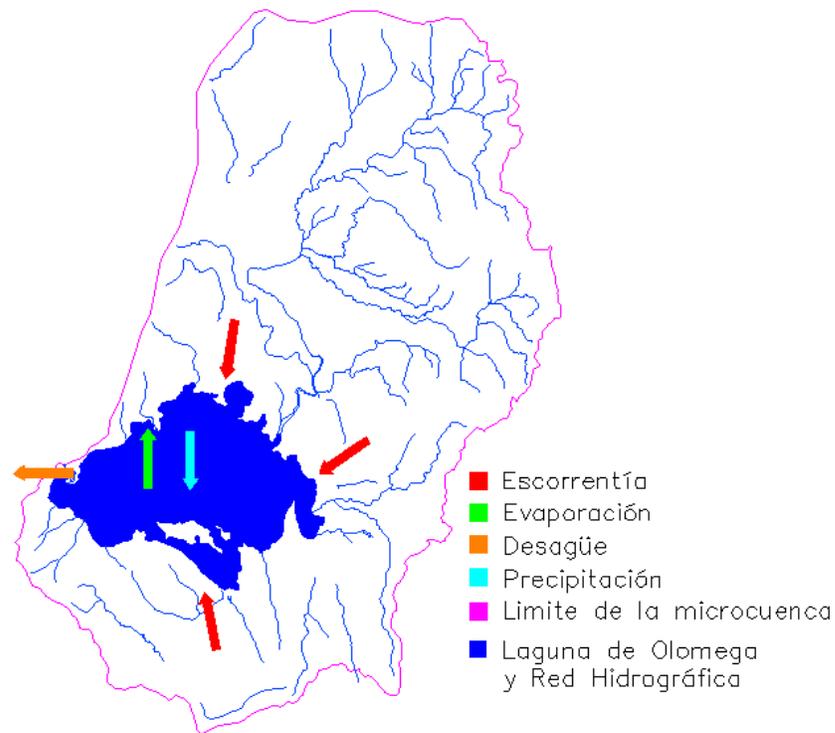


Figura 4.5 Microcuenca de la Laguna de Olomega y factores involucrados en el análisis.

La Microcuenca posee las siguientes características físicas:

Área = 214.314 km²

Perímetro = 69.195km

4.3.1 Cálculo de la Precipitación Efectiva en la Microcuenca utilizando el Método SCS

Para calcular las abstracciones en la microcuenca de la Laguna de Olomega, primero se agruparon las áreas por tipo de cultivo, luego se determinó el Grupo Hidrológico de Suelo que rige en la microcuenca; siendo Grupo de Suelo **D** (suelos arcillosos).

Por medio de la Tabla de Ven Te Chow para abstracciones, se obtuvieron los números de curvas relacionados con el Tipo de Uso de Suelo y Grupo Hidrológico de Suelo (Ver tabla 2.2 del Capítulo II).

Los resultados se muestran a continuación en la Tabla 4.14

Tabla 4.14 Ponderación de Número de Curvas (CN)

Uso de Suelo	Área Km ²	% de área	CN	(% de área * CN)
cultivos	37,41	19,8	81	1603,3
Pastizales	128,38	67,9	89	6045,4
Bosques	13,84	7,3	83	607,8
Zona Urbana	8,6	4,6	87	395,9
Áreas Abiertas	0,77	0,4	80	32,6
Total	189	100		8684,9

$$CN \text{ Ponderado} = \frac{\sum(\% \text{ de área} * CN)}{\sum(\% \text{ de área})}$$

$$CN \text{ Ponderado} = (8684,9)/(100) = 87$$

Calculando las abstracciones por medio de la ecuación 2.14 del Capítulo II

$$S = (1000)/CN - 10$$

$$S = (1000)/87 - 10$$

$$S = 1,49 \text{ pulg.}, \quad S = 38,0 \text{ mm (Abstracciones en la microcuenca)}$$

Calculando la precipitación neta o escorrentía directa utilizando la ecuación 2.13 del Capítulo II.

$$Pe = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S}$$

$$Pe = \frac{(P - 0.2(1.49))^2}{P + 0.8(1.49)}$$

$$Pe = 9,18 \text{ pulg.}, Pe = 233,3 \text{ mm (Precipitación Neta)}$$

Luego de calcular las abstracciones (S) en la microcuenca, se procedió a elaborar el Hietograma de precipitación efectiva o neta, sustrayendo de la precipitación real las abstracciones.

La Tabla 4.15 muestra los cálculos realizados para obtener la precipitación efectiva horaria.

En la segunda columna de la tabla 4.15 se muestra la precipitación registrada en forma horaria por la estación el Delirio, la cual cubre el área de la microcuenca de la Laguna de Olomega. En la tercera columna se muestra la precipitación acumulada para las diferentes horas de cada día, luego; en la cuarta columna se calculó la precipitación efectiva acumulada, utilizando la ecuación 2.13 explicada anteriormente.

Por ejemplo: Para la segunda hora del día dos, la precipitación acumulada es de 33.78mm; pero la precipitación efectiva (Pe) es cero porque las abstracciones (S=38 mm), aun son mayores que la precipitación acumulada hasta esa hora de la tormenta.

Luego; para la tercer hora del día dos, la precipitación acumulada es de 38.61mm mayor que las abstracciones, entonces ocurre la precipitación efectiva (Pe). Ésta se calculó de la siguiente manera:

$$Pe = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S}$$

Sustituyendo valores en la ecuación anterior tenemos:

$$P = 38.61 \text{ mm}$$

$$S = 38.00 \text{ mm}$$

$$Pe = \left[\frac{\left(\frac{38.61 \text{ mm}}{25.4 \text{ mm/pulg.}} - 0.2(1.49 \text{ pulg.}) \right)^2}{\left(\frac{38.61 \text{ mm}}{25.4 \text{ mm/pulg.}} + 0.8(1.49 \text{ pulg.}) \right)} \right] * 25.4 \text{ mm/pulg.}$$

$$\mathbf{Pe = 13.95 \text{ mm}}$$

De esta manera se va calculando la precipitación efectiva acumulada para cada hora de la tormenta, quedando solamente la quinta columna en donde se muestra la precipitación efectiva desaccumulada.

Tabla 4.15 Cálculo de Precipitación Efectiva.

Día/Hora		Precipitación (mm) Est. Delirio	Precipitación Acumulada (mm)	Precipitación Efectiva Acumulada (mm)	Precipitación Efectiva (Pe) (mm)	Día/Hora		Precipitación (mm) Est. Delirio	Precipitación Acumulada (mm)	Precipitación Efectiva Acumulada (mm)	Precipitación Efectiva (Pe) (mm)
Día 1	0	0	0	0	0	Día 2	0	14,98	23,11	0	0
	1	0	0	0	0		1	6,86	29,97	0	0
	2	0	0	0	0		2	3,81	33,78	0	0
	3	0	0	0	0		3	4,83	38,61	13,9502042	13,9502042
	4	0	0	0	0		4	2,54	41,15	15,7484116	1,79820734
	5	0	0	0	0		5	1,78	42,93	17,0392126	1,29080105
	6	0	0	0	0		6	0,5	43,43	17,4060429	0,36683031
	7	0	0	0	0		7	0	43,43	17,4060429	0
	8	0	0	0	0		8	1,27	44,7	18,3457679	0,93972499
	9	0	0	0	0		9	0	44,7	18,3457679	0
	10	0	0	0	0		10	0,26	44,96	18,539526	0,19375808
	11	0	0	0	0		11	0,25	45,21	18,7262617	0,18673568
	12	0	0	0	0		12	0,51	45,72	19,1084916	0,38222996
	13	0,25	0,25	0	0		13	2,54	48,26	21,0368322	1,9283406
	14	0	0,25	0	0		14	13,21	61,47	31,6113031	10,5744708
	15	0,26	0,51	0	0		15	5,33	66,8	36,0808223	4,46951928
	16	0	0,51	0	0		16	2,29	69,09	38,0294484	1,94862605
	17	0	0,51	0	0		17	8,13	77,22	45,0648802	7,03543186
	18	0	0,51	0	0		18	7,62	84,84	51,7992316	6,73435136
	19	0	0,51	0	0		19	3,04	87,88	54,5177557	2,71852414
	20	2,79	3,3	0	0		20	10,67	98,55	64,1794172	9,66166148
	21	2,03	5,33	0	0		21	3,05	101,6	66,9711525	2,79173526
	22	0,77	6,1	0	0		22	1,02	102,62	67,9074254	0,9362729
23	2,03	8,13	0	0	23	1,52	104,14	69,3050118	1,39758639		

Día/Hora		Precipitación (mm) Est. Delirio	Precipitación Acumulada (mm)	Precipitación Efectiva Acumulada (mm)	Precipitación Efectiva (Pe) (mm)	Día/Hora		Precipitación (mm) Est. Delirio	Precipitación Acumulada (mm)	Precipitación Efectiva Acumulada (mm)	Precipitación Efectiva (Pe) (mm)
Día 3	0	1,02	105,16	70,2444054	0,93939362	Día 4	0	5,33	183,64	144,826416	5,15806835
	1	0,5	105,66	70,705334	0,46092861		1	5,59	189,23	150,245065	5,41864838
	2	3,81	109,47	74,2267866	3,52145257		2	2,79	192,02	152,952765	2,70770018
	3	3,31	112,78	77,2985752	3,07178863		3	4,07	196,09	156,906344	3,95357948
	4	7,62	120,4	84,4099423	7,11136713		4	1,27	197,36	158,140868	1,23452409
	5	16,76	137,16	100,214027	15,8040851		5	10,16	207,52	168,030698	9,88982932
	6	2,79	139,95	102,863165	2,64913715		6	7,11	214,63	174,964959	6,93426132
	7	1,53	141,48	104,317859	1,45469457		7	9,14	223,77	183,89349	8,92853119
	8	1,52	143	105,764362	1,44650296		8	3,31	227,08	187,130612	3,23712128
	9	2,8	145,8	108,432293	2,66793082		9	17,27	244,35	204,048851	16,9182396
	10	1,01	146,81	109,395678	0,96338521		10	3,81	248,16	207,787121	3,7382702
	11	0,51	147,32	109,882341	0,4866632		11	1,27	249,43	209,033646	1,24652418
	12	3,05	150,37	112,795527	2,91318583		12	5,84	255,27	214,768381	5,73473534
	13	0,76	151,13	113,522151	0,72662426		13	0,76	256,03	215,514998	0,74661687
	14	0,51	151,64	114,009911	0,48775941		14	1,02	257,05	216,517147	1,00214967
	15	1,27	152,91	115,225065	1,21515446		15	0	257,05	216,517147	0
	16	2,79	155,7	117,897207	2,67214167		16	3,05	260,1	219,514519	2,99737191
	17	0,26	155,96	118,146404	0,24919657		17	0,76	260,86	220,261577	0,74705768
	18	4,82	160,78	122,771447	4,62504391		18	3,55	264,41	223,752007	3,49042968
	19	0,51	161,29	123,261393	0,48994555		19	0,26	264,67	224,0077	0,25569344
	20	0,51	161,8	123,751445	0,490052		20	0	264,67	224,0077	0
	21	0,25	162,05	123,991705	0,24026019		21	1,01	265,68	225,001043	0,99334246
	22	10,16	172,21	133,77622	9,78451516		22	0,26	265,94	225,256773	0,2557303
23	6,1	178,31	139,668348	5,89212765	23	0,25	266,19	225,502674	0,24590158		

Día/Hora		Precipitación (mm) Est. Delirio	Precipitación Acumulada (mm)	Precipitación Efectiva Acumulada (mm)	Precipitación Efectiva (Pe) (mm)	Día/Hora		Precipitación (mm) Est. Delirio	Precipitación Acumulada (mm)	Precipitación Efectiva Acumulada (mm)	Precipitación Efectiva (Pe) (mm)
Día 5	0	1,27	267,46	226,751961	1,24928628	Día 6	0	0	273,3	232,49894	0
	1	0,26	267,72	227,007742	0,25578116		1	0,26	273,56	232,754882	0,25594181
	2	0,25	267,97	227,253692	0,24595036		2	0,25	273,81	233,000987	0,24610443
	3	0,51	268,48	227,755452	0,50175974		3	0	273,81	233,000987	0
	4	0,76	269,24	228,503224	0,74777245		4	0	273,81	233,000987	0
	5	0,51	269,75	229,005054	0,5018294		5	0	273,81	233,000987	0
	6	0,25	270	229,251059	0,24600494		6	0	273,81	233,000987	0
	7	0,26	270,26	229,506911	0,25585218		7	0,26	274,07	233,256942	0,2559554
	8	0,76	271,02	230,254828	0,74791664		8	0	274,07	233,256942	0
	9	0,25	271,27	230,500866	0,24603852		9	0	274,07	233,256942	0
	10	0,26	271,53	230,756753	0,25588702		10	0	274,07	233,256942	0
	11	0	271,53	230,756753	0		11	0	274,07	233,256942	0
	12	0	271,53	230,756753	0		12	0	274,07	233,256942	0
	13	0	271,53	230,756753	0		13	0	274,07	233,256942	0
	14	0,25	271,78	231,002805	0,24605189		14	0	274,07	233,256942	0
	15	0	271,78	231,002805	0		15	0	274,07	233,256942	0
	16	0	271,78	231,002805	0		16	0	274,07	233,256942	0
	17	0	271,78	231,002805	0		17	0	274,07	233,256942	0
	18	0,76	272,54	231,750843	0,74803776		18	0	274,07	233,256942	0
	19	0	272,54	231,750843	0		19	0	274,07	233,256942	0
	20	0	272,54	231,750843	0		20	0	274,07	233,256942	0
	21	0	272,54	231,750843	0		21	0	274,07	233,256942	0
	22	0,76	273,3	232,49894	0,74809764		22	0	274,07	233,256942	0
23	0	273,3	232,49894	0	23	0	274,07	233,256942	0		

Con el cálculo de la precipitación efectiva, es decir la precipitación que se transforma en escorrentía, se calcularon los volúmenes diarios y acumulados que produjo la escorrentía, estos se muestran en la Tabla 4.16

Tabla 4.16 Precipitación Efectiva Diaria (Escorrentía) y Volúmenes Acumulados

Día	Pp Mm/día	Vol. Almacenado Mm ³	Vol. Acumulado Mm ³
01/10/05	0	0	0
02/10/05	69,31	13,10	13,10
03/10/05	70,36	13,30	26,40
04/10/05	85,83	16,22	42,62
05/10/05	7,00	1,32	43,94
06/10/05	0,76	0,14	44,09

4.3.2 Precipitación en espejo de agua

El agua precipitada directamente en la Laguna de Olomega es uno de los mayores aportes significativos debido a su área de extensión. A continuación se muestra la Tabla 4.17 con los valores de los volúmenes precipitados en la laguna de Olomega.

Área del Espejo de Agua: 32144629.71 m²

Tabla 4.17 Precipitación sobre el espejo de agua

Día	PP mm/día	Vol. Precipitado	Vol. Acumulado	Volumen en Mm ³
1	8.13	261335.8395	261335.8	0.26133584
2	96.01	3086205.898	3347541.7	3.34754174
3	74.17	2384167.186	5731708.9	5.73170892
4	87.88	2824870.059	8556579.0	8.55657898
5	7.11	228548.3172	8785127.3	8.7851273
6	0.77	24751.36488	8809878.7	8.80987866

4.3.3 Evaporación del en espejo de agua

Para este cálculo se siguió el mismo procedimiento utilizado en la sección 4.2.4

Tabla 4.18 Evaporación sobre el espejo de agua

Área de La Laguna: 32144629.71 m²

Día	1	2	3	4	5	6
Eto mm/día	12.1713	9.7150	8.7649	8.0693	9.2471	10.8613
Ku	1.1000	1.1000	1.1000	1.1000	1.1000	1.1000
Evaporación mm/día	13.3885	10.6865	9.6414	8.8762	10.1718	11.9475
Evaporación Mm³/día	0.4304	0.3435	0.3099	0.2853	0.3270	0.3840

4.3.4 Volumen escurrido por el Desagüe

Para conocer el volumen de agua desalojado por la laguna de Olomega se realizó el levantamiento de la sección transversal del desagüe. Se determinó el área y el perímetro mojado para diferentes alturas y se utilizó la ecuación de Manning para el cálculo de caudales tomando un n=0.03 para cauces naturales. (Tabla 4.19)

Tabla 4.19 Cálculo de capacidad de Desagüe de la Laguna de Olomega

$$AR^{2/3} = \frac{(n * Q)}{S^{1/2}}$$

Yc (m)	Pm (m)	Ah (m ²)	R (m) = A/P	S	n Manning	Q m ³ /seg	Qm ³ /día
0,25	4,765	0,703	0,1475341	0,001	0,03	0,21	17876,2365
0,5	7,709	2,246	0,29134778	0,001	0,03	1,04	89896,6229
1	17,477	9,069	0,51891057	0,001	0,03	6,17	533351,556
2	20,144	27,167	1,34863979	0,001	0,03	34,96	3020170,66
3	39,4	51,5	1,3071066	0,001	0,03	64,90	5607126,94



Figura 4.6 Sección del desagüe de la Laguna de Olomega

4.3.5 Balance Hídrico Aplicado a La Laguna de Olomega (Volumen Almacenado en la Laguna)

El Balance de la Laguna de Olomega se realizó tomando en cuenta los siguientes elementos: La escorrentía, que se calculó a partir de la precipitación caída en la microcuenca, la precipitación sobre el cuerpo de agua que es la precipitación que directamente se almacena en la Laguna, la evaporación del cuerpo de agua y el volumen evacuado por el desagüe. Este último se calculó tomando las siguientes consideraciones; el día 1 y 2 a un nivel de un metro, día 3 a un nivel de 2 metros, día 4 y 5 a un nivel de 3 metros, y el día 6 a un nivel de 2 metros sobre el nivel más bajo de la laguna. (Ver tablas 4.20 y 4.21)

Tabla 4.20 Balance Hídrico en La Laguna de Olomega del día 1-4 de Octubre del 2005 (valores en Mm³)

Día	Precipitación	Entradas a la Laguna		Salidas de la Laguna		Almacenamiento	
		PP efectiva	PP en Laguna	Ev. en Laguna	Desagüe	Vol. Almacenado	Vol. Acumulado
1	1,74	0	0,26	0,42	0,53	-0,70	-0,70
2	20,58	13,10	3,09	0,34	0,53	15,31	14,62
3	15,90	13,30	2,38	0,31	3,02	12,36	26,98
4	18,83	16,22	2,82	0,28	5,61	13,16	40,13
Total	57,05	42,62	8,56	1,35	9,69	40,13	
Porcentaje	100,00%	74,71%	15,00%	2,36%	16,99%	70,35%	

Tabla 4.21 Balance Hídrico en La Laguna de Olomega del día 1-6 de Octubre del 2005 (valores en Mm³)

Día	Precipitación	Entradas a la Laguna		Salidas de la Laguna		Almacenamiento	
		PP Efectiva	PP en Laguna	Ev. en Laguna	Desagüe	Vol. Almacenado	Vol. Acumulado
1	1,74	0,00	0,26	0,42	0,53	-0,70	-0,70
2	20,58	13,10	3,09	0,34	0,53	15,31	14,62
3	15,90	13,30	2,38	0,31	3,02	12,36	26,98
4	18,83	16,22	2,82	0,28	5,61	13,16	40,13
5	1,52	1,32	0,23	0,32	5,61	-4,38	35,76
6	0,17	0,14	0,02	0,38	3,02	-3,23	32,53
Total	58,74	44,09	8,81	2,05	18,32	32,53	
Porcentaje	100,00%	75,06%	15,00%	3,49%	31,19%	55,38%	

4.4 CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO DE LA LAGUNA DE OMEGA

Para conocer la capacidad que tiene la Laguna de almacenar volúmenes de agua según la Topografía que presenta el terreno, se procedió a digitalizar los cuadrantes en escala 1:25,000 con ayuda del programa Land Desktop, luego se construyó la superficie del terreno y se interpolaron curvas a cada 0.5 mt.

Para conocer los cambios de volúmenes ΔV en la Laguna se utilizó la ecuación 2.17 descrita en el capítulo II. Los resultados obtenidos se muestran a continuación en la tabla 4.22

Tabla 4.22 Capacidad de Almacenamiento de la Laguna de Olomega

$$\Delta V = \frac{\Delta h}{3} (A_i + A_s + \sqrt{A_i * A_s})$$

msnm	Área m ²	ΔV m ³	V Acumulado m ³
65.00	32144629.71		0
65.50	37523829.69	17399783.33	17399783.33
66.00	39240874.59	19189575.61	36589358.94
66.50	41031588.66	20066451.14	56655810.08
67.00	42895971.91	20980164.27	77635974.35
67.50	44834024.33	21930714.94	99566689.29
68.00	46845745.92	22918103.05	122484792.34
68.50	48931136.69	23942328.51	146427120.85
69.00	51090196.63	25003391.21	171430512.05
69.50	53322925.74	26101291.04	197531803.09

En la Tabla 4.23 se muestran las áreas y la capacidad de almacenamiento que posee la Laguna según su elevación para la construcción del gráfico Elevación - Volumen y Elevación - Área presentados en los Gráficos 4.5 y 4.6 respectivamente.

Tabla 4.23 Relación Elevación-Área-Volumen

msnm	Área Ha	V Mm ³
65.00	3214.46	0.00
65.50	3752.38	17.40
66.00	3924.09	36.59
66.50	4103.16	56.66
67.00	4289.60	77.64
67.50	4483.40	99.57
68.00	4684.57	122.48
68.50	4893.11	146.43
69.00	5109.02	171.43
69.50	5332.29	197.53

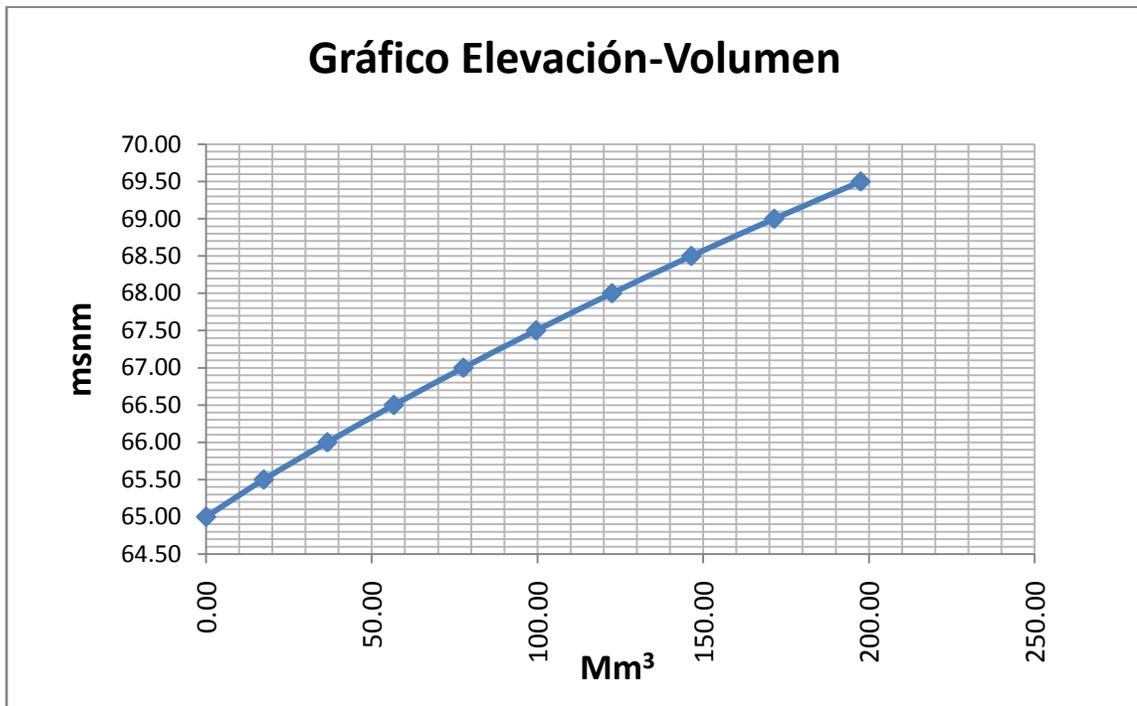


Gráfico 4.5 Relación Elevación – Volumen Almacenado de la Laguna de Olomega

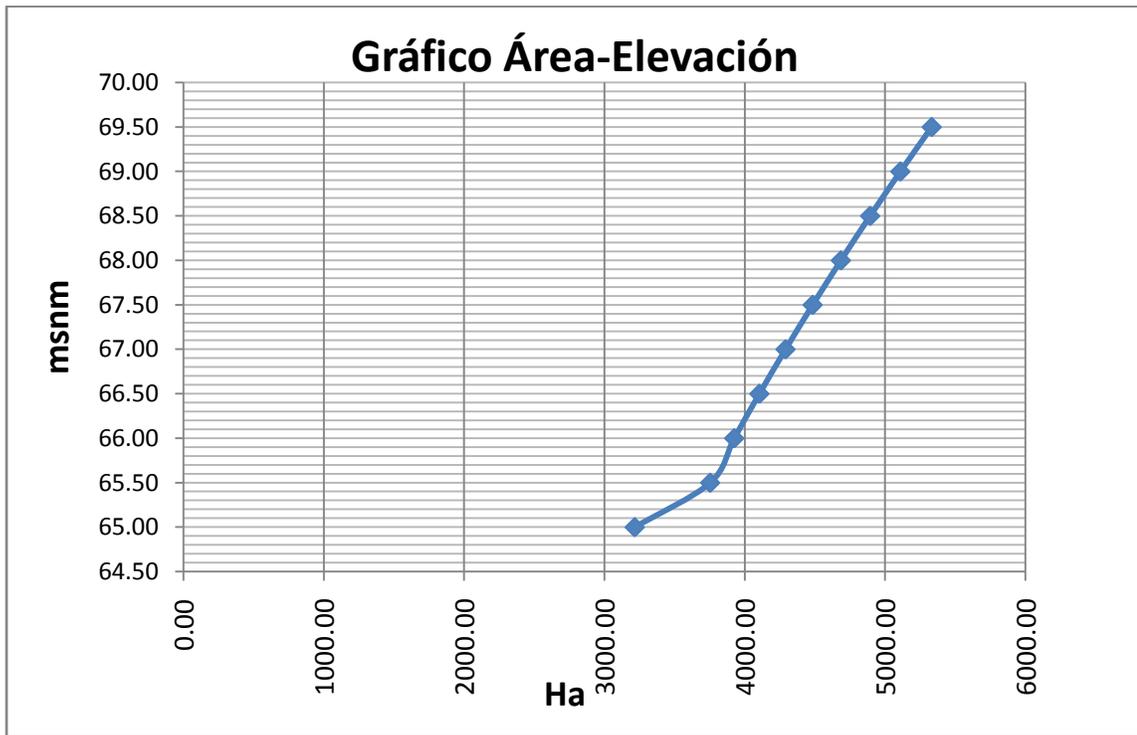


Gráfico 4.6 Relación Elevación – Área de expansión de la Laguna de Olomega

4.5 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

De los resultados obtenidos al determinar las características Físicas de la Subcuenca de la Laguna de Olomega, podemos decir:

La Subcuenca posee un área de 1,607.11 km² haciéndola una Subcuenca de gran extensión territorial, siendo determinante en los volúmenes de agua que ingresan por precipitación al sistema.

Con un factor de forma de 0.456 y un índice de compacidad de 1.54, la Subcuenca presenta una forma Ovalada, con probabilidad media que se produzcan crecidas máximas, pero a la vez tiende a evacuar sus aguas de forma rápida.

Posee una pendiente media de 9.3%, lo que indica la inclinación promedio que tiene los drenajes desde su nacimiento hasta su desembocadura, también indica que existen áreas de posible inundación debido a crecidas o desborde de la Laguna.

Las áreas de la Subcuenca que presentan las menores pendientes están ubicadas las Norte y Noroeste de la Laguna de Olomega y en efecto, son áreas que se ven afectadas por inundaciones.

4.5.1 Distribución del Agua en la Subcuenca de La Laguna de Olomega.

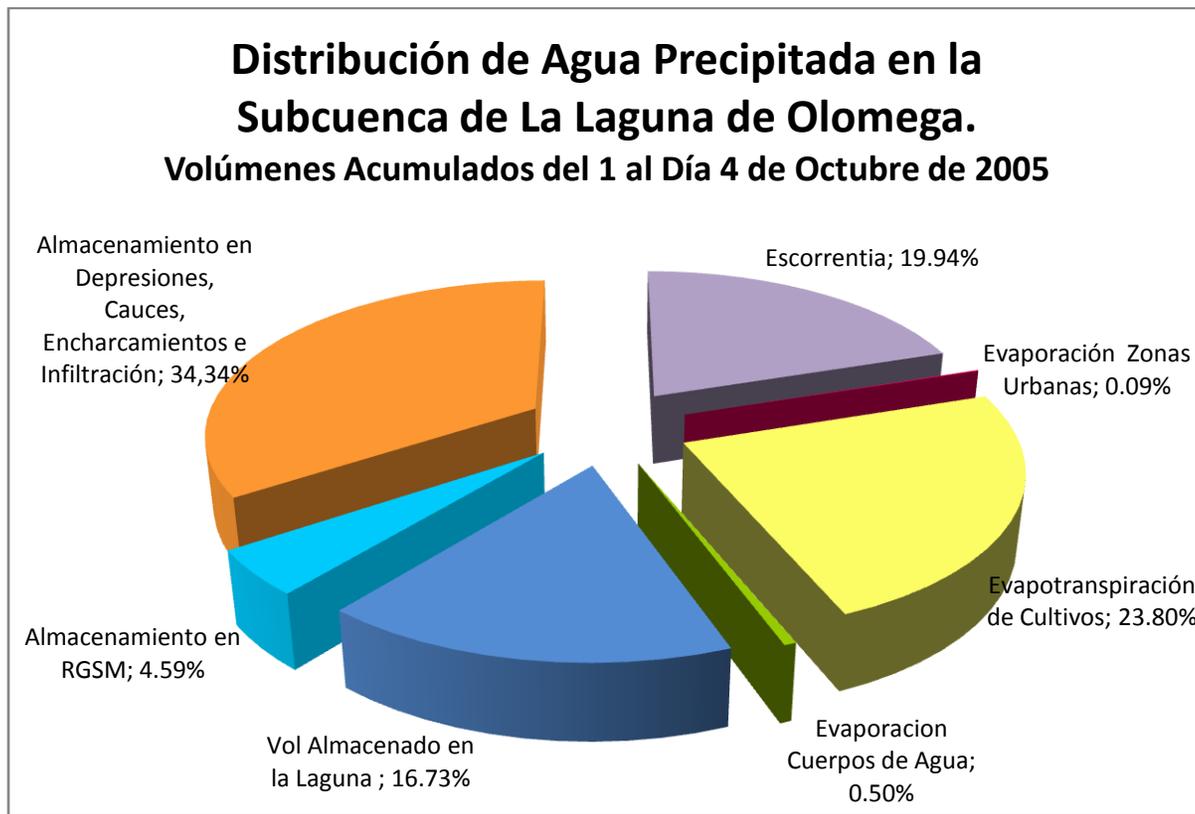


Gráfico 4.7 Distribución porcentual del agua precipitada del 1 al 4 de Octubre de 2005 en la Subcuenca de la Laguna de Olomega

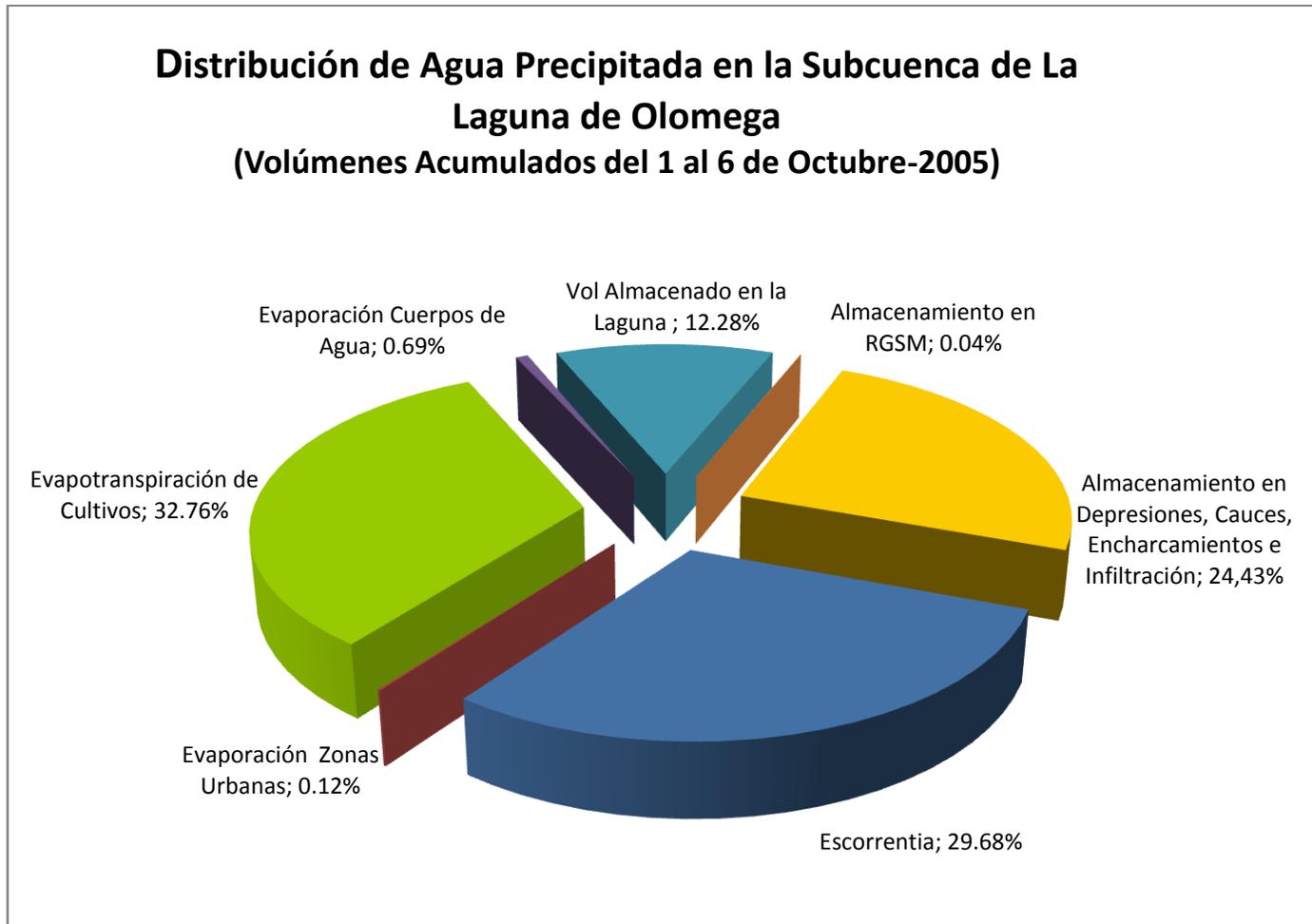


Gráfico 4.8 Distribución porcentual del agua precipitada durante tormenta Stan en la Subcuenca de la Laguna de Olomega

4.5.2 Distribución del Agua en la Microcuenca de La Laguna de Olomega.

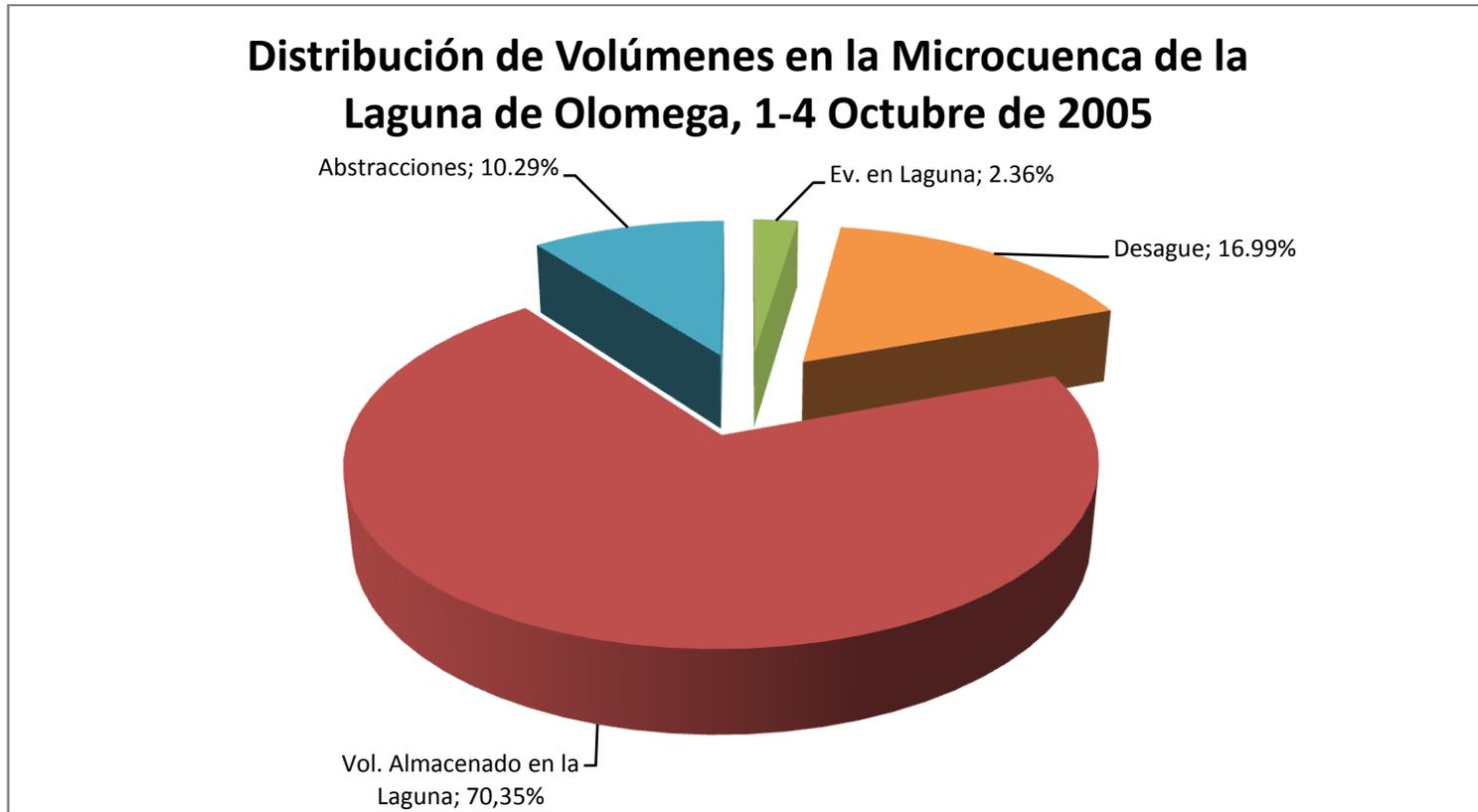


Gráfico 4.9 Distribución porcentual del agua precipitada del 1 al 4 de Octubre de 2005 en la Microcuenca de la Laguna de Olomega

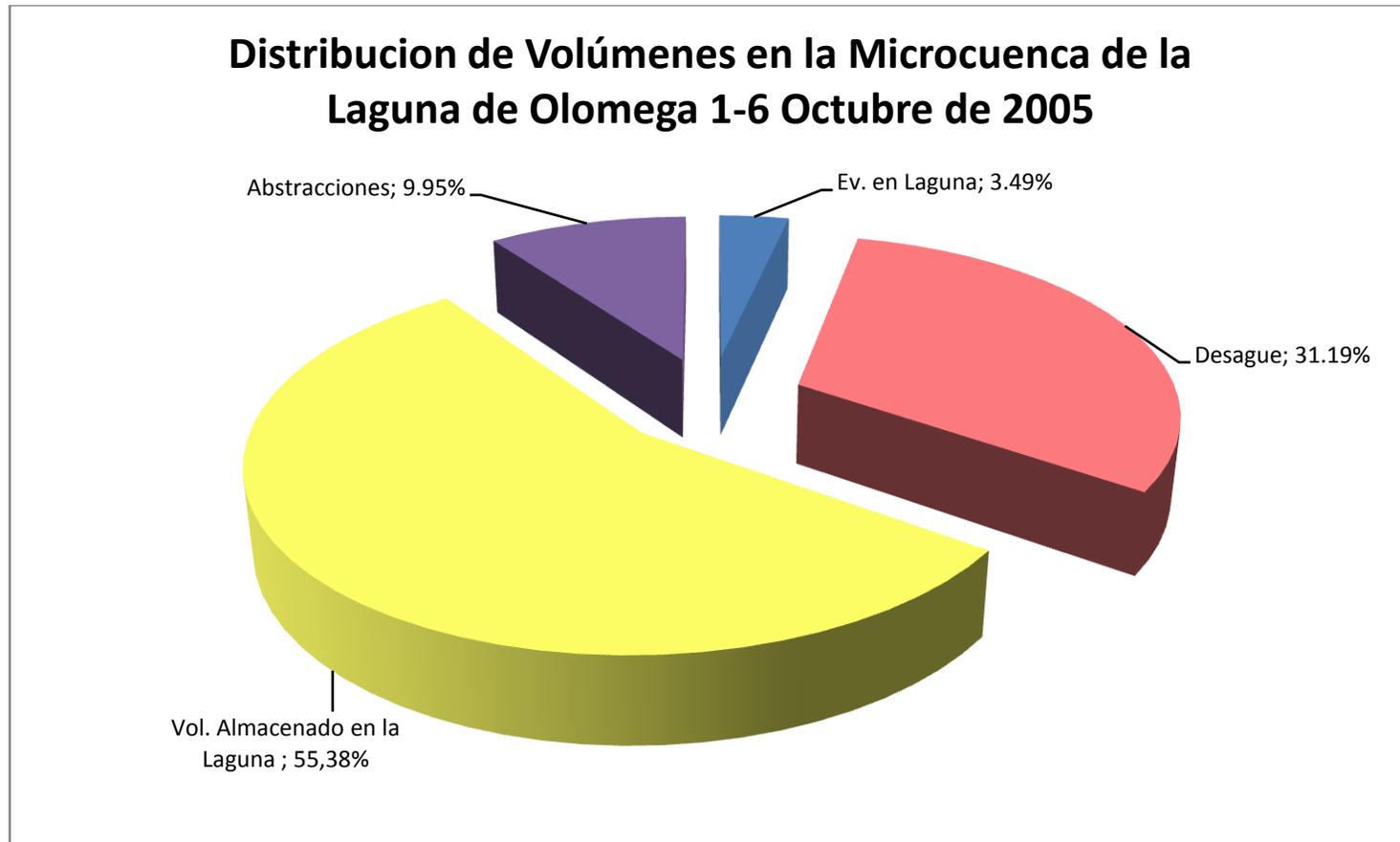


Gráfico 4.10 Distribución porcentual del agua precipitada durante tormenta Stan en la Microcuenca de la Laguna de Olomega

4.5.3 Variación del nivel de la lámina de Agua en La Laguna de Olomega.

La altura de la lámina de agua de la Laguna de Olomega en época de verano es de 65 msnm y en época de invierno (Octubre y Noviembre) es aproximadamente de 66 msnm; por lo que la Laguna ya almacenaba 36.59 Mm³ al momento en que ocurrió el Stan. Si sumamos los 40.13 Mm³ que se depositaron durante la Tormenta, se nos acumula un total de 76.72 Mm³ almacenados en la Laguna de Olomega para el día 4 de Octubre, el cual fue el día que se registró la mayor precipitación acumulada y las mayores inundaciones.

76.72 Mm³ Representan una altura de 67 msnm aproximadamente (ver Figura 4.15)

Gráfico Elevación-Volumen

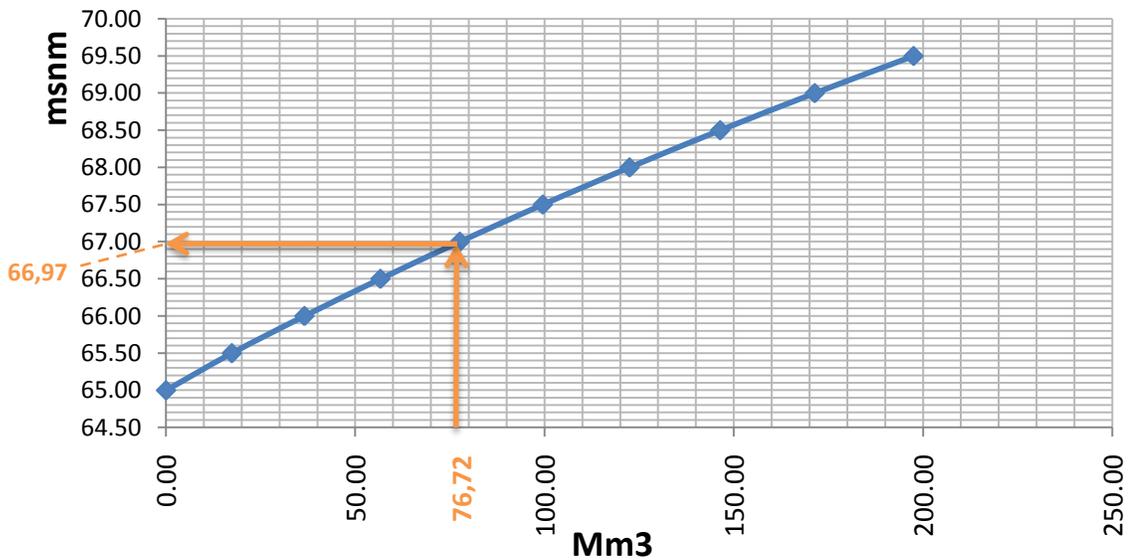


Gráfico 4.11 Altura que alcanzó la Lámina de Agua de la Laguna de Olomega para el Huracán Stan (4 de Octubre de 2005)

“Un huracán genera, en promedio, mas de 150 milímetros diarios de lluvia, lo cual genera severas inundaciones, deslizamientos y derrumbes”⁷⁴.

Tomando en cuenta lo anterior y manteniendo constantes las demás variables podemos decir que para el huracán Mitch la subcuenca de la Laguna de Olomega recibió entre 400 y 450 mm de lluvia (96.44Mm³), si decimos que de esos 450 mm de lluvia el 70,35% de lluvia queda atrapado en la laguna de Olomega, entonces la Laguna retuvo un aproximado de 67,4 Mm³ esto eleva el nivel de la Laguna a 67,7 msnm. Sin embargo; es difícil de relacionar estos dos acontecimientos pues durante el huracán Mitch, el Río Grande de San Miguel desbordó una cantidad de agua mucho mayor que durante el huracán Stan y el agua desbordada por el río se unió con la Laguna de Olomega haciendo mucho más extensa el área inundada por el río y la Laguna.

Según el testimonio de los pobladores durante el huracán Mitch la Laguna alcanzó los 68 msnm aproximadamente (mas de 1.5 mt de altura de inundación en caserío la pelota).

⁷⁴ <http://www.snet.gob.sv/ver/seccion+educativa/meteorologia/huracanes/efectos/>

Gráfico Elevación-Volumen

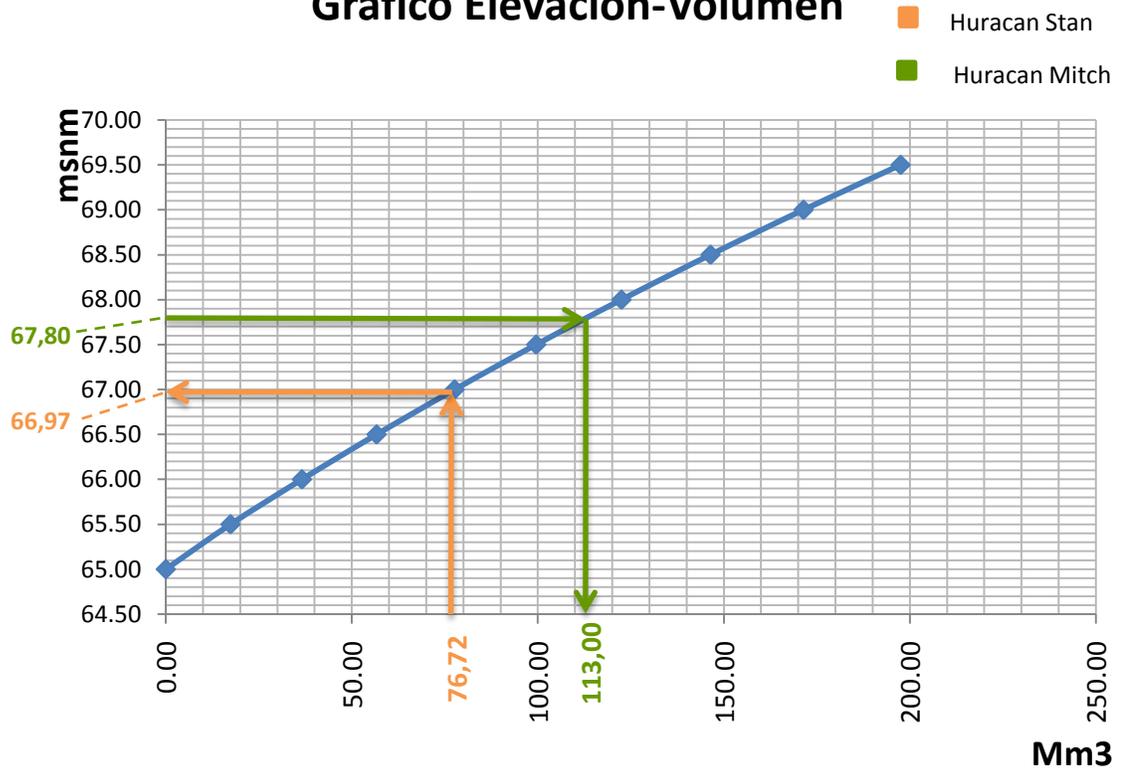
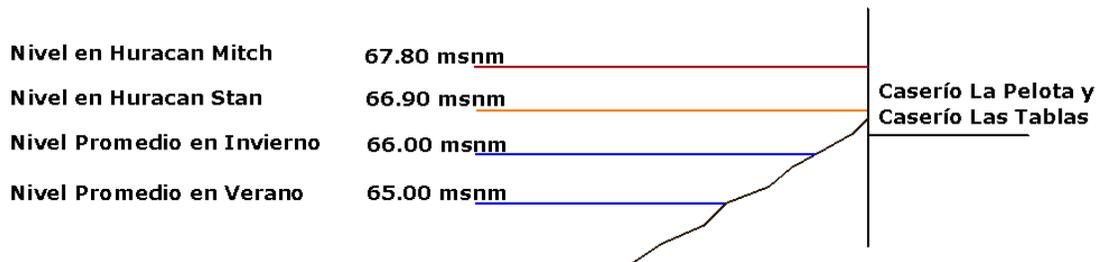


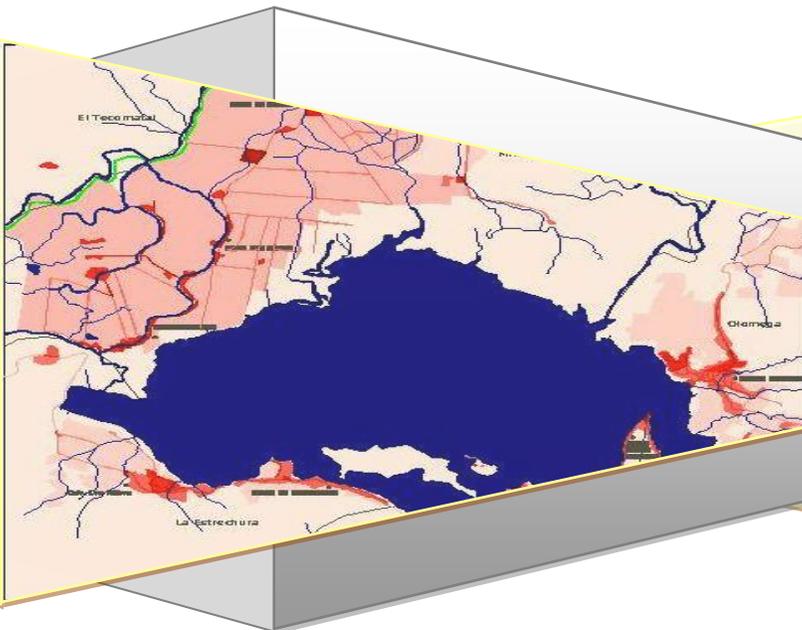
Gráfico 4.12 Comparación de Altura que alcanzó la Lámina de Agua de la Laguna de Olomega para el Huracán Stan (4 de Octubre de 2005) y Huracán Mitch (29 de Octubre – 1 de Noviembre de 1998)

Niveles de Lamina de Agua de la Laguna de Olomega



Esquema 4.1 Perfil de la laguna y niveles alcanzados por la lamina de agua de la Laguna de Olomega

Capítulo V



**Elaboración
de Mapas**

5.1 METODOLOGÍA PARA LA ELABORACIÓN DEL MAPA DE RIESGO POR INUNDACION EN LOS ALREDEDORES DE LA LAGUNA DE OMEGA

Como se explicó en el capítulo II el Mapa de Riesgos es la combinación o el cruce del mapa de Amenaza y el Mapa de Vulnerabilidad, por lo tanto, para poder elaborar el Mapa de Riesgos primero es necesario elaborar el Mapa de Amenaza por Inundación y el Mapa de Vulnerabilidad.

Primer Paso: Para elaborar el mapa de amenaza por inundación, fue necesario realizar un estudio hidrológico con el objeto de conocer los volúmenes de agua almacenados en la Laguna y determinar la altura que alcanzó la lamina de agua, por la ocurrencia de un evento Hidrometeorológico extremo, en nuestro caso Huracán Stan y Huracán Mitch.

Segundo Paso: Analizando la topografía del terreno en base a cuadrantes 1:25000, se procederá a elaborar el mapa de amenaza el cual indicará el área inundada por el desborde de la Laguna a causa de los eventos mencionados anteriormente.

Se recomienda utilizar cuadrantes a menor escala para tener una mayor precisión en cuanto a la topografía del terreno.

Tercer Paso: A partir de reconocimiento en campo, se construirá el mapa de vulnerabilidad, el cual muestra el grado de destrucción o pérdida que puede ocasionar una inundación, en otras palabras el mapa de vulnerabilidad hará énfasis en la Red Vial, Infraestructuras construidas en la zona de estudio, medios de producción y distribución Poblacional alrededor de la Laguna de Olomega y que por lo tanto están potencialmente

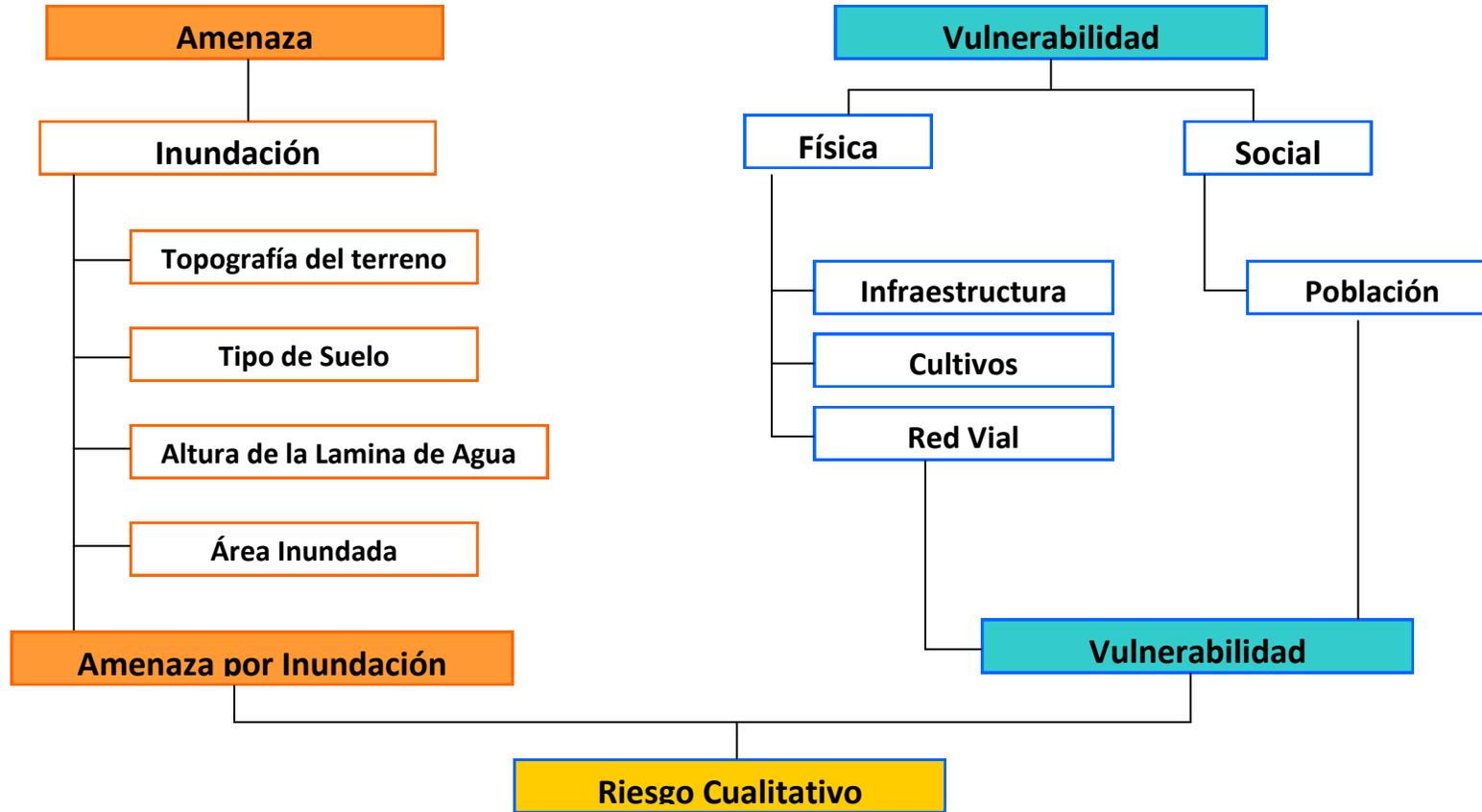
expuestas a sufrir pérdidas en caso de inundación por desborde de la Laguna de Olomega.

Con ayuda del programa Land Desktop e imágenes satelitales del año 2007 se dibujaran las zonas de alta o baja vulnerabilidad.

Cuarto Paso: Una vez elaborados el Mapa de Amenaza y el Mapa de Vulnerabilidad, se procede a combinar ambos, delimitando las zonas que poseen amenaza por inundación y que a la vez resultan vulnerables por las pérdidas que se puedan generar, siendo estas las zonas con riesgo a sufrir inundaciones, con potencial de daño.

El mapa de riesgo será cualitativo, es decir no se medirán las pérdidas en valor monetario. Dependiendo del grado de amenaza y el grado de vulnerabilidad, así será el grado de riesgo por inundación al que se verán expuestos.

5.1.1 Modelo de Análisis para determinar el Riesgo de Inundación



Esquema 5.1 Determinación del Riesgo por Inundación

5.2 EVALUACIÓN DE LA AMENAZA POR INUNDACIÓN EN LOS ALREDEDORES DE LA LAGUNA DE OMEGA

Los factores que influyen en la Amenaza por inundación en la que se ven afectadas las zonas alrededor de la Laguna de Olomega son: El régimen de lluvias, el tipo de suelo y las pendientes o topografía del terreno.

5.2.1 Tipos de Suelos

Alrededor de la Laguna de Olomega los suelos predominantes son suelos arcillosos (Aluviales, Grumosoles y Latosoles arcillo-rojizo).

Según el Ministerio de Medio Ambiente y de Recursos Naturales estos tipos de suelos se definen de la siguiente manera:

“GRUMOSOLES: Suelos muy arcillosos de color gris a negro con vegetación de morros, cuando están muy mojados son muy pegajosos y muy plásticos. Cuando están secos son muy duros y se rajan. En la superficie son de color oscuro pero con poco humus o materia orgánica. El subsuelo es gris oscuro. Son muy profundos poco permeables por lo que la infiltración de agua lluvia es muy lenta. Su uso potencial es de moderada a baja, no apta para cultivos permanentes de alto valor comercial porque al rajarse rompen las raíces de las plantas.

LATOSOLES ARCILLO - ROJIZOS: Suelos arcillosos de color rojizo en lomas y montañas. Son bien desarrollados con estructura en forma de bloques con un color generalmente rojo aunque algunas veces se encuentran amarillentos o cafésos. Esta coloración se

debe principalmente a la presencia de minerales de hierro de distintos tipos y grados de oxidación. La textura superficial es franco arcillosa y el subsuelo arcilloso. La profundidad promedio es de un metro aunque en algunos sitios se observa afloración de roca debido a los procesos de erosión. La fertilidad puede ser alta en terrenos protegidos pudiendo se utilizar maquinaria agrícola cuando la pendiente es moderada. Son suelos aptos para casi todos los cultivos.

ALUVIALES: Son suelos de materiales transportados o depositados en las planicies costeras y valles interiores. Son aluviones estratificados de textura variable. Son suelos recientes o de reciente deposición y carecen de modificaciones de los agentes externos (agua, clima, etc). Se ubican en áreas ligeramente inclinadas o casi a nivel en las planicies costeras y valles interiores en donde el manto freático está cerca de la superficie y el drenaje por lo general es pobre. Son suelos de alta productividad permitiendo agricultura intensiva y mecanizada, aptos para toda clase de cultivos. Es factible el uso de riego.”⁷⁵

Los suelos arcillosos son suelos impermeables o que poseen mala filtración. Estos suelos son propicios para que se de el encharcamiento fácilmente cuando hay exceso de precipitación. Esto contribuye a que las inundaciones se prolonguen por más tiempo. Las zonas amenazadas son siempre las de menor pendiente porque el agua no fluye sino que se estanca, produciendo el encharcamiento y facilitando la inundación prolongada por desborde de la Laguna de Olomega. (Ver Figura 5.1)

⁷⁵ <http://www.marn.gob.sv/CD2/Documentacion/ped.htm>

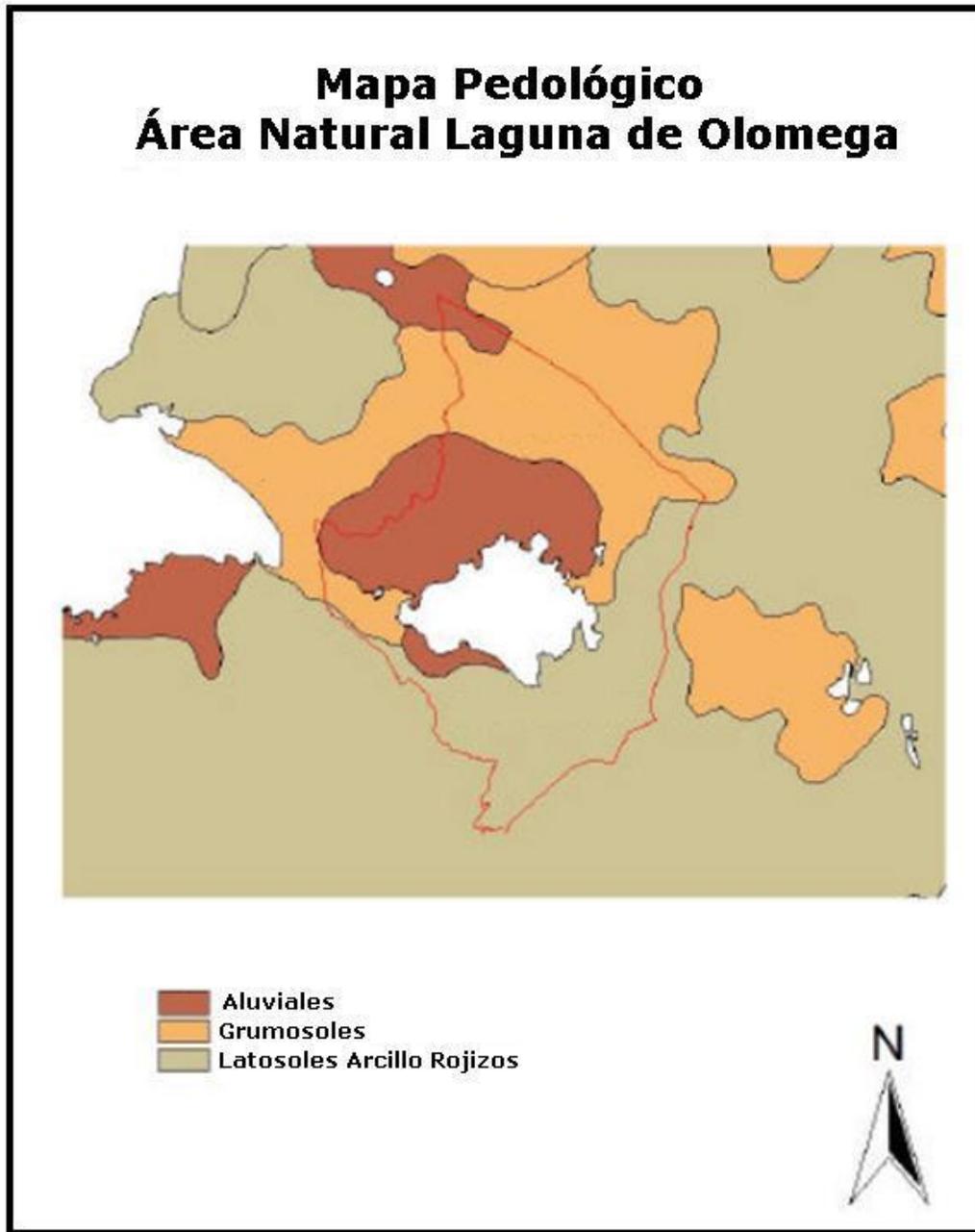


Figura 5.1 Mapa Pedológico del Área Natural de la Laguna de Olomega

Fuente: Plan de Manejo del Área Natural Humedal de Olomega, MARN – OTC – EL Salvador, 2004, pág. 47

5.2.2 Pendientes del Terreno

Con la digitalización de cuadrantes 1:25000 y con ayuda del programa Land Desktop versión DEMO, 2007 se pudo generar el mapa de pendientes del terreno en los alrededores de la Laguna de Olomega. En este mapa se puede visualizar por medio de colores los diferentes rangos de pendientes que existen en la zona.

Del mapa de pendientes podemos concluir que las zonas más críticas y con mal drenaje se encuentran al Oeste, Noroeste y Norte de la Laguna de Olomega con pendientes entre el 0% y 2%. Estas zonas son propicias para que se den las inundaciones estáticas por desborde de la Laguna por poseer pendientes muy bajas.

Las zonas con un mejor drenaje se encuentran al este con pendientes entre 10 – 30%, y al sur de la Laguna las pendientes son muy inclinadas entre 40% y 75%. Estas zonas poseen menor amenaza de inundaciones estáticas por desborde de la Laguna de Olomega debido a sus pendientes inclinadas contra la zona norte y oeste que son terrenos relativamente planos donde la Laguna fácilmente puede expandirse.

(Ver Anexo B, Mapa #6).

5.2.3 Amenaza por Inundación

Del estudio hidrológico realizado en el capítulo anterior se obtuvo que la Laguna de Olomega, alcanza 2 elevaciones distintas en diferentes tormentas, para el huracán Mitch la Laguna alcanzó una elevación de 68 msnm y para el huracán Stan de 67 msnm aproximadamente.

Estas dos cotas se han tomado de referencia para delimitar las áreas inundadas y determinar las comunidades que se vieron afectadas por la inundación o desborde de la Laguna de Olomega.

En los alrededores de la Laguna de Olomega las inundaciones ocurren porque la Laguna eleva su nivel normal y se expande por las zonas planas alcanzando zonas habitadas.

El agua desbordada por la Laguna no se mueve a gran velocidad como cuando ocurre el desborde de un río, es decir; que en la Laguna ocurre un estancamiento de agua, por lo tanto las inundaciones son del tipo estáticas.

El criterio para evaluación de la amenaza por inundaciones estáticas es el siguiente:

Tabla 5.1 Niveles de Intensidad de Inundaciones estáticas

NIVELES DE INTESIDAD	PROFUNDIDAD DEL FLUJO (H) (m) (Inundaciones Estáticas)
ALTO	$H \geq 1.0 \text{ m}$
MEDIO	$0.5 \text{ m} \leq H < 1.0 \text{ m}$
BAJO	$0.25 \text{ m} \leq H < 0.5 \text{ m}$

Como se mencionó en el capítulo II los umbrales entre los niveles de intensidad alta, media y baja, se definen considerando la peligrosidad que una determinada columna de agua puede significar para la infraestructura o las viviendas y la vida de los pobladores. Para inundaciones mayores de 1 metro (respecto del nivel del terreno) se espera pérdidas humanas y grandes pérdidas económicas, mientras que para inundaciones comprendidas entre 1 – 0.5 metros los daños económicos y a la población son menores y para las inundaciones de baja intensidad no se esperan pérdidas en vidas humanas, aunque sí pueden darse pérdidas en áreas de cultivo y animales.

De la tabla anterior tenemos que el Huracán Mitch provocó una inundación de ALTA INTENSIDAD ya que en los caseríos mas afectados el agua supero 1 mt de altura (respecto del nivel del terreno).

Para el Huracán Stan las Inundaciones fueron de BAJA INTENSIDAD porque la altura del agua en los caseríos afectados se mantuvo por debajo de los 0.5 mt (respecto del nivel del terreno)

La frecuencia o recurrencia de inundaciones o cada cuanto se inunda una determinada zona dependerá esencialmente de la frecuencia de precipitaciones excepcionalmente fuertes. Los períodos de retorno se establecen en tres categorías que son:

Tabla 5.2 Frecuencia de Inundaciones

Frecuencia	Período de Retorno (Tr)
Alta	$T \leq 10$ años
Media	$10 < T \leq 50$ años
Baja	$50 < T \leq 200$ años

Es difícil establecer un período de retorno para las tormentas analizadas en base a la intensidad de lluvia, debido a la falta de información de las estaciones meteorológicas

del país. Además se requiere de estudios profundos y precisos para determinar el periodo de retorno que posee un huracán. Sin embargo en base a intensidades de inundaciones ocurridas en la zona de la Laguna de Olomega se puede obtener una aproximación preliminar de la frecuencia con que ocurren las inundaciones en la zona.

Según datos históricos y consultas con los habitantes de la zona, las mayores inundaciones ocurridas en la Laguna de Olomega en los últimos 30 años que han provocado la misma altura de agua, ocurrieron una vez cada diez años aproximadamente.

1974 Huracán Fifi

1988 Huracán Gilberto

1998 Huracán Mitch

El Huracán Stan sin embargo; es considerado por los pobladores una tormenta de baja intensidad ya que la inundación causada por el Stan es una inundación que ocurre generalmente una vez cada 5 años aproximadamente según los pobladores. Hay que hacer notar que aunque el huracán Stan causó grandes daños en todo el país y en algunos lugares hubo inundaciones considerables, en la zona de la Laguna de Olomega no se dieron las condiciones (cantidad de precipitación) para que ocurriera una inundación de mayor intensidad.

La altura que pueda alcanzar la inundación también está relacionado con la humedad del suelo, la ocurrencia de eventos previos hace que el suelo se sature y pierda capacidad de absorción al momento que ocurren lluvias intensas de un evento extremo, las obstrucciones en el desagüe y los muros que se construyen alrededor de la Laguna también son factores que aportan al desborde de la Laguna y a la altura de inundación.

La erosión causada por la tala de árboles también contribuye a la amenaza ya que la Laguna presenta azolvamiento, esto disminuye su capacidad de almacenamiento de grandes cantidades de volúmenes de agua. Todos estos factores deberán tomarse en

cuenta para futuros planes de de manejo o acciones territoriales en el uso de suelo para contribuir a la disminución de la amenaza.

Una vez que se tiene la intensidad de la inundación (altura de la Lámina de Agua) y se conocen las frecuencias con que ocurren dichas inundaciones se procede a determinar los niveles de amenaza por inundación en la zona.

La matriz con los niveles de amenaza se muestra a continuación en la tabla 5.3.

Tabla 5.3 Niveles de Amenaza de la Laguna de Olomega

INTENSIDAD	ALTA $H \geq 1.0 \text{ m}$			
	MEDIA $0.5 \text{ m} \leq H < 1.0\text{m}$			
	BAJA $0.25 \text{ m} \leq H < 0.5 \text{ m}$			
		ALTA $Tr < 10$	MEDIA $10 < Tr < 50$	BAJA $50 < Tr < 200$
		FRECUENCIA		

Las ponderaciones asignadas para cada clase de amenaza por inundación están en función de su capacidad de causar daño y la frecuencia en que ocurren. El rango se encuentra comprendido entre 0-10 tal y como se muestra en el cuadro 5.4

Tabla 5.4 Ponderaciones según la clase de Amenaza

Descripción de clase de Amenaza	Ponderación	Leyenda
Sin o Poca Amenaza	1	
Baja Amenaza	4	
Media Amenaza	7	
Alta Amenaza	10	

Ver Mapa de Amenaza en el Anexo C, Mapa # 11

5.3 EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD EN LOS ALREDEDORES DE LA LAGUNA DE OMEGA

Como se mencionó en el Capítulo II, la vulnerabilidad es el grado de pérdida de un conjunto dado de elementos, como resultado de la ocurrencia de un fenómeno(s). Los elementos que pueden ser afectados dentro de las áreas de ocurrencia de la amenaza son: calles, escuelas, población, viviendas y parcelas para cultivo. Estos se detallan y clasifican a continuación.

5.3.1 Infraestructura

Dentro de la Infraestructura de Importancia que se encuentra en las riveras de la Laguna de Olomega figuran: Centros Escolares (12), Unidades de Salud (2), Albergues (2), viviendas y Haciendas.

- **Viviendas**

Las viviendas en su mayoría son de tipo mixto, de ladrillo de barro o bloque tipo saltex, sin embargo existen muchas viviendas de lamina y bahareque las cuales son las que resultan mas afectadas en caso de una inundación por la fragilidad que presentan.



Fotografía 5.1 Tipos de vivienda alrededor de la Laguna de Olomega

- **Centros de Salud**

Los Centros de Salud que se encuentran más cercanos a brindar los servicios básicos de atención a la población de los cantones y caseríos situada a los alrededores de la Laguna de Olomega son 2, Unidad de Salud Tierra Blanca y Unidad de Salud Olomega (ver fotografía).

Las Unidades de Salud al verse afectadas ante una inundación, no estarían en condiciones de brindar servicios de atención a la población por lo cual son consideradas muy vulnerables.



Fotografía 5.2 Centro de Salud Cantón Olomega

- **Albergues**

Existen 2 albergues ubicados en la zona Noroeste de la Laguna, uno en el caserío Los Ranchos y el otro en el caserío La Pelota, siendo este ultimo la comunidad que resulta más afectada por las inundaciones debido al desborde de la Laguna. (Ver fotografía 5.3)



Fotografía 5.3 Albergue Centro Comunitario en la comunidad caserío la Pelota, Financiado por APSIES⁷⁶ y Comunidad Suiza.

- **Escuelas**

Alrededor de la Laguna de Olomega en los diferentes cantones y caseríos existen Escuelas públicas que reciben a niños y niñas durante todo el año, por lo cual son infraestructuras consideradas de muy alta importancia, entre ellas tenemos:

1. Complejo Educativo Jhon F. Kennedy, Cantón Olomega.
2. Centro Escolar Cantón Olomega.
3. Centro Escolar Punta de Navarro, Cantón El Zapotal.
4. Centro Escolar Caserío Puerto Viejo, Cantón Tierra Blanca.

⁷⁶ Asociación para la Salud y el Servicio Social Intercomunal en El Salvador.

5. Centro Escolar Cantón Tierra Blanca.
6. Centro Escolar Caserío los Pajaritos, Cantón Tierra Blanca.
7. Centro Escolar Cantón La Estrechura.
8. Centro Escolar Cantón El Zapotal.
9. Centro Escolar Caserío Los Rillitos, Cantón la Estrechura.
10. Centro Escolar Caserío Olomeguita, Cantón la Estrechura.
11. Centro Escolar Caserío Los Ranchos, Cantón Miraflores.
12. Centro Escolar Caserío El Cedral, Cantón Miraflores.

Ver Mapa de Infraestructura en Anexo B, Mapa # 10

5.3.2 Vías de Comunicación

A la Laguna de Olomega se llega por la carretera Panamericana entrando por la cabecera municipal de El Carmen, a una distancia de 7 kilómetros hacia el sur está el Cantón Olomega. Otro acceso a la laguna es por el noroeste, por una calle de tierra que va desde la carretera Panamericana a la altura de San Antonio Silva. El sur de la Laguna es comunicado por una calle de tierra que va desde la carretera del Litoral y la Calle CA-7, a la altura del desvío a San Pedro.⁷⁷

Existe en todo el contorno de la Laguna una red de caminos vecinales (balastadas), algunas de ellas en condiciones precarias, especialmente durante la estación lluviosa. La única carretera asfaltada es la que conduce desde el Municipio El Carmen hasta el cantón Olomega. (Ver Anexo B, Mapa #8)

⁷⁷ Propuesta para el Desarrollo Ecoturístico de la Laguna de Olomega, a partir del Proyecto del Cantón Olomega



Fotografía 5.4 Calle balastada que conduce hacia caserío El Cedral

Olomega es la única comunidad circundante que cuenta con un puerto de atracó para las lanchas pesqueras y de transporte. (Ver fotografía 5.5)



Fotografía 5.5 Muelle ubicado en las orillas de la Laguna de Olomega, Cantón Olomega

5.3.3 Parcelas y Cultivos

Los suelos son utilizados para actividades de pastoreo y extracción de leña y madera; existe una parte del suelo dedicado al cultivo de caña de azúcar y marañón; pero la mayor parte del suelo es utilizado para cultivos como granos básicos, frutas y hortalizas.

La zona más productiva en cuanto a hortalizas, granos básicos y caña de azúcar es la zona al oeste y noroeste de la Laguna, al norte existen en su mayoría pastizales, al este y sur la mayoría de terrenos son zonas de uso silvopastoril. (Ver Anexo B, Mapa #9)



Fotografía 5.6 Plantaciones de Maíz y Caña de Azúcar, ubicadas en el caserío La Pelota

5.3.4 Población

Las mayor cantidad de habitantes esta concentrado en 2 zonas; Olomega y Tierra Blanca, sin embargo existen concentraciones en caseríos de entre 0 y 500 habitantes dispersos alrededor de la Laguna que siempre son muy importantes puesto que la pérdida de vidas humanas es invaluable. Ver capítulo III sección 3.6

Ver Anexo B, Mapa #7

5.3.5 Parámetros para la Evaluación de la Vulnerabilidad de acuerdo a su importancia

Para asignar las ponderaciones a los parámetros evaluados se tomo en cuenta el valor que tienen dentro de la sociedad y el grado de pérdida que pudiera generar en caso de que se inundan.

Tabla 5.5 Descripción de parámetros para evaluación de la vulnerabilidad

Descripción de Parámetros para Edificaciones	Ponderación
Unidades de Salud , Escuelas, Haciendas y Albergue	10
Viviendas	8
Otros	3
Descripción de Parámetros para Calles	Ponderación
Calles Asfaltadas	8
Calles Balastadas Primarias	6
Calles Balastadas Secundarias	5
Descripción de Parámetros para Distribución de Habitantes	Ponderación
2000-6000 habitantes	10
500-2000 habitantes	8
0-500 habitantes	7
Descripción de Parámetros para Parcelas	Ponderación
Cultivos de hortalizas, granos básicos y caña de azúcar	10
Otros sistemas productivos	8
Bosques Naturales y frutales	5
Pastizales y Vegetación Arbustiva	3

Los parámetros de vulnerabilidad se obtienen de la suma de las diferentes ponderaciones para los parámetros asignados a cada factor evaluado.

Tabla 5.6 Clases de Vulnerabilidad

Descripción de Clases de Vulnerabilidad	Ponderación
Áreas sin o muy baja Vulnerabilidad	0 -3
Áreas con baja Vulnerabilidad	4 - 8
Áreas con media Vulnerabilidad	9 - 25
Áreas con alta Vulnerabilidad	26 - 50

Ver Mapa de Vulnerabilidad en Anexo C, Mapa #12

5.4 RIESGO

El riesgo se define como el grado de pérdida debido a fenómenos naturales particulares. Como se ha venido explicando para obtener el riesgo cualitativo se tendrá que multiplicar la amenaza por la vulnerabilidad. En la siguiente matriz se muestra la definición del riesgo cualitativo que se utilizará en la elaboración del mapa de riesgo por inundación.

Tabla 5.7 Definición Cualitativa del Riesgo

		VULNERABILIDAD			
		Sin o muy baja	Baja	Media	Alta
AMENAZA	Sin o muy baja	Sin o muy bajo Riesgo	Sin o muy bajo Riesgo	Bajo Riesgo	Bajo Riesgo
	Baja	Sin o muy bajo Riesgo	Bajo Riesgo	Bajo Riesgo	Bajo Riesgo
	Media	Sin o muy bajo Riesgo	Bajo Riesgo	Riesgo Medio	Riesgo Medio
	Alta	Sin o muy bajo Riesgo	Bajo Riesgo	Riesgo Medio	Alto Riesgo

Ver Mapa de Riesgo en Anexo C, Mapa #13

5.5 Análisis e Interpretación de Mapas

5.5.1 Análisis e Interpretación del Mapa de Amenaza

En el mapa de amenaza se observa el alcance de la inundación durante la tormenta Stan y la Tormenta Mitch. El área de inundación durante el huracán Stan fue de 11 km² aproximadamente excluyendo el área de la Laguna.

La inundación causada por el huracán Mitch es mucho más extensa y el área total queda fuera del área considerada dentro de los mapas debido al desborde del Río Grande de San Miguel. El área inundada por el huracán Mitch dentro del mapa de amenaza es de 36 km² Excluyendo el área de la Laguna.

Las comunidades afectados por ambas inundaciones son: Caserío La Pelota, Caserío Las Tablas. Las comunidades afectadas únicamente por el Huracán Mith debido al desborde de la Laguna de Olomega son: Caserío El Cedral, Cantón Olomega.

Las comunidades afectadas de forma leve son; el zapotal, La estrechura Puerto Viejo y Los Rillitos.

De manera general podemos decir que el área de inundación de la laguna de Olomega se encuentra al oeste y al norte de la Laguna, afectando a las comunidades ubicadas en esa zona.

La zona delimitada por la inundación del huracán Stan se ha tomado como zona de amenaza alta, debido a la frecuencia con que ocurren las inundaciones en esa área.

Cuando ocurren inundaciones mayores la altura de inundación en esa zona sobrepasa 1 m de altura.

El área delimitada por la inundación del huracán Mitch se considera de amenaza media debido a que una inundación de esa magnitud es de frecuencia moderada y la altura de inundación no sobrepasa el metro en altura.

5.5.2 Análisis e Interpretación del Mapa de Vulnerabilidad

En el mapa de vulnerabilidad se muestran las ponderaciones que tienen cada comunidad, parcelas e infraestructuras construidas según el grado de pérdida que estas ocasionarían en caso de una inundación. Siendo la parte al noroeste de la Laguna donde se encuentran ubicados los Caseríos La Pelota, Las Tablas y El Cedral los que representan mayor ponderación debido a que estos caseríos se dedican a cultivar las tierras y a la ganadería, además existen infraestructuras como escuelas y haciendas; las cuales generan un alto grado de pérdida siendo vulnerables ante la ocurrencia de un evento meteorológico extremo.

En la parte Sur de la Laguna la ponderación de vulnerabilidad ante una inundación se reduce de tal forma que presenta una vulnerabilidad media ya que en esta zona la mayor parte del terreno presenta un uso de suelo de vegetación arbustiva.

Los Cantones y Caseríos ubicados en esta zona son: La Estrechura, Puerto Viejo, Tierra Blanca y Los Rillitos, aunque dentro de ellos existen zonas que presentan alta vulnerabilidad debido a las infraestructuras ahí construidas. Siendo el Cantón y Caserío Tierra Blanca el que mayor ponderación presenta. En Tierra Blanca existen aproximadamente 4,000 habitantes, un Centro Escolar y una Unidad de Salud.

Al igual que en la parte Sur de la Laguna, el cantón y caserío El Zapotal, Punta Navarro y el cantón Olomega muestra una vulnerabilidad media ante una Inundación, y partes de las comunidades presentan vulnerabilidad alta debido a la infraestructura como es el caso del cantón Olomega, esta comunidad se dedica mas que todo a la pesca y al turismo, manteniendo la comunicación con las personas que habitan al Sur de la Laguna.

La parte Norte de la Laguna presenta una baja vulnerabilidad debido a que ahí se encuentran planicies usadas como pastizales que en caso de una inundación las perdidas que generarían serian mínimas e inclusive despreciables.

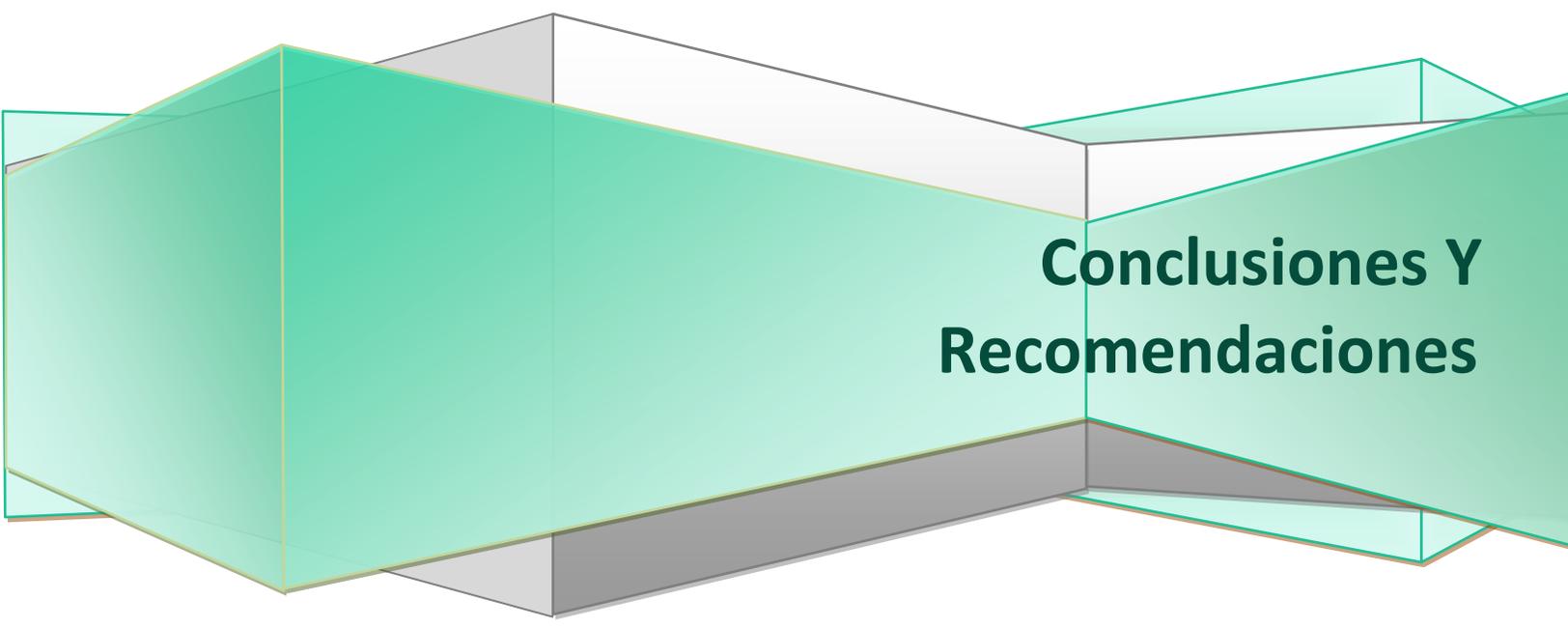
5.5.3 Análisis e Interpretación del Mapa de Riesgo

El mapa de riesgo por inundación muestra el riesgo cualitativo del cruce de los mapas de amenaza y vulnerabilidad por inundación.

Dentro de este mapa, al riesgo por inundación se le asignó una ponderación que varia según su color, así el color crema representa las zonas donde el riesgo por inundación es muy bajo, el color verde corresponde a las zonas donde el riesgo por inundación es bajo, el color naranja representa a las zonas donde el riesgo por inundación es moderado, es decir existe un riesgo medio debido a inundación, y el color rojo corresponde a las zonas donde el riesgo por inundación es alto, que para nuestra investigación representa los lugares donde, ante la ocurrencia de un evento hidrometeorológico extremo (como huracán Stan y Mitch), se produce una perdida parcial en cuanto a viviendas e infraestructuras, zonas comerciales y perdida total de cultivos, así como también la perdida de las actividades comerciales que en ellos se realiza, a la ves que provoca la muerte de animales de las zonas ganaderas y también constituye un alto riesgo que atenta contra la vida de las personas que en estos lugares habitan.

Con este mapa podemos hacer una valoración más general en cuanto a las comunidades con alto riesgo por inundación las cuales son: el Caserío La Pelota, el Caserío Las Tablas, el Cantón Miraflores, el Caserío Punta de Navarra y el Caserío Puerto Viejo, esto debido a que en ellas predomina un riesgo por inundación que va desde un riesgo medio a riesgo alto.

Capítulo VI



**Conclusiones Y
Recomendaciones**

6.1 CONCLUSIONES

- ✓ La Subcuenca de la Laguna de Olomega presenta características físicas que hacen que la evacuación de sus aguas sea rápida. El factor de forma (0.456) y la pendiente media (9.3%) indican que la subcuenca es ovalada y relativamente plana, propicia para la ocurrencia de inundaciones a lo largo del cauce del Río Grande de San Miguel y en las cercanías de la Laguna de Olomega.
- ✓ De acuerdo con el estudio hidrológico realizado, la Laguna de Olomega es un embalse natural capaz de retener grandes cantidades de volúmenes de Agua. Durante la tormenta Stan la Laguna retuvo 40.13Mm³ de agua, lo cual representa un 16% de toda el agua precipitada dentro de la Subcuenca de la Laguna de Olomega. Esto refleja su gran capacidad de almacenamiento a pesar de que la Laguna solo posee el 2% del área total de la Subcuenca.
- ✓ El terreno de las zonas cercanas a la Laguna de Olomega especialmente al norte y oeste, reúnen las condiciones para que se produzcan inundaciones estáticas prolongadas. Las pendientes son menores del 2% y el suelo predominante es la arcilla. Produciéndose muy rápidamente el encharcamiento ante el exceso de precipitación.
- ✓ El comportamiento natural de la Laguna de Olomega es que en época de invierno incrementa su nivel e inunde las planicies cercanas. Pero también es normal que cuando ocurren eventos hidrometeorológicos extremos, El Río Grande de San Miguel desborde y se junte con la Laguna de Olomega inundando toda la planicie entre el Río y la Laguna como todo sistema natural Río-Humedal.

- ✓ El cantón y caserío Tierra Blanca ubicado al Sur de la Laguna de Olomega y los caseríos La Pelota, Las Tablas y El Cedral del Noroeste de la Laguna, presentan la mayor ponderación de Vulnerabilidad ante la ocurrencia de una Inundación, debido a las infraestructuras construidas en ellas y además a que estas comunidades se encuentran rodeadas por tierras cultivadas de las cuales dependen casi en su totalidad los caseríos del Noroeste de la Laguna.

- ✓ Las comunidades que son mas afectadas a sufrir alto riesgo por inundación son: el Caserío La Pelota con un área afectada de 106341.88m^2 , el Caserío Las Tablas con un área afectada de 58697.15m^2 , el Cantón Miraflores con un área afectada de 12053m^2 , el Caserío Punta de Navarra con un área afectada de 10096m^2 y el Caserío Puerto Viejo con un área afectada de 2159.5m^2 , las cuales serian las áreas a evacuar ante la ocurrencia de un evento extremo.

6.2 RECOMENDACIONES

- ✓ Rehabilitar la Estación Pluviográfica en el cantón Olomega para contar con mayor registro de datos más confiables o cercanos a la realidad de precipitación en el espejo de agua de la Laguna.
- ✓ Colocar en la Laguna de Olomega una Estación Limnigráfica para llevar un control exacto de las fluctuaciones en el nivel de la Laguna. Esto servirá no solo para la prevención del Riesgo sino también para la conservación del Humedal.
- ✓ Se deben realizar estudios que profundicen en la Hidrología de la Laguna de Olomega; como análisis de la escorrentía superficial, correlación precipitación-nivel de la Laguna, etc.
- ✓ Diseñar y construir una obra hidráulica para regular la evacuación de volúmenes de agua en el desagüe de la Laguna de Olomega, el cual evite que la Laguna se vacíe en época de verano y que permita la evacuación de sus aguas con rapidez en caso de inundaciones.
- ✓ Que se realicen investigaciones que determinen el impacto ambiental que provocó la construcción de la borda en el cauce del Río Grande de San Miguel, en el sistema Río-Humedal.
- ✓ Realizar estudios de determinación de riesgo por inundación enfocados a cada comunidad por separado, de modo que se tenga una caracterización particular del riesgo para cada una de las comunidades ribereñas a la Laguna de Olomega.

- ✓ Si en el futuro se diseñan obras para la prevención de inundaciones como bordas, muros, canales o cualquier otro tipo de construcciones. Se recomienda que primero se realice un estudio de impacto ambiental que provocaría la construcción de dichas obras.

- ✓ Se recomienda que se actualice la cartografía y mapas de usos de suelo (limitantes en nuestra investigación), ya que el mapa de uso de suelo mas reciente fue elaborado en el año 2003 y los cuadrantes fueron elaborados en la década de los 80. Con la cartografía actualizada se mejorara la calidad de este tipo de investigación.

- ✓ Que las instituciones correspondientes promuevan la conservación del humedal en adultos, jóvenes y niños de la zona, concientizándolos el alto valor económico, biológico y ambiental que representa el Humedal Natural “Laguna de Olomega”.

- ✓ Se recomienda brindar charlas o talleres educativos a las comunidades ribereñas a la Laguna de Olomega sobre la amenaza, vulnerabilidad y el grado de riesgo por inundación que posee cada comunidad.

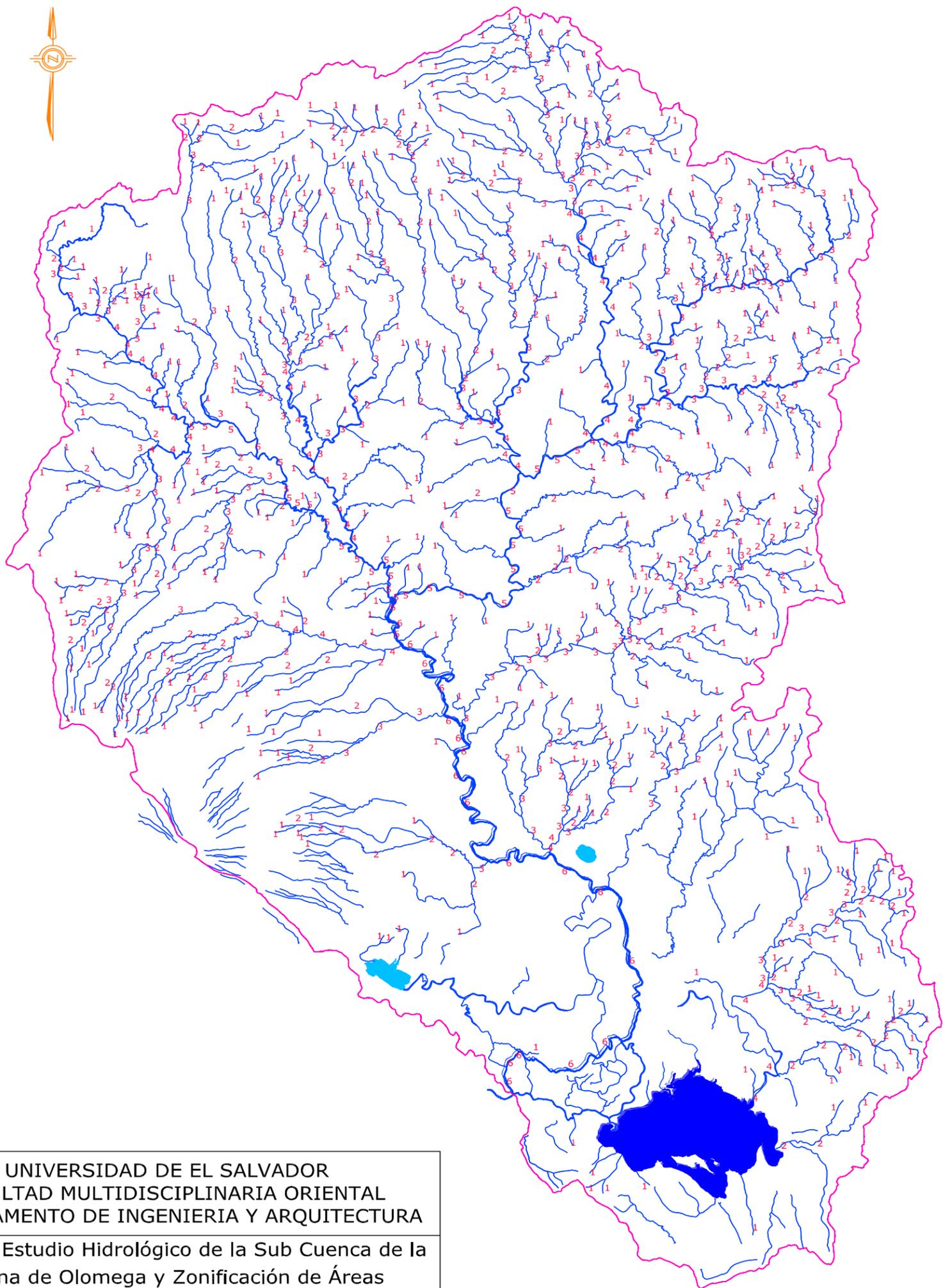
BIBLIOGRAFIA

- ✓ Balance Hídrico Cuenca Lago de Ilopango (Estudio Realizado por el SNET, 2005)
- ✓ Balance Hídrico Integrado y Dinámico de El Salvador, (Estudio Realizado por el SNET 2005)
- ✓ Estudio de Control Integral de Crecidas en el Rio Grande de San Miguel, en La República de El Salvador. (JICA/MAG 1995-1996)
- ✓ Evapotranspiración del cultivo, Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos, Estudio 56 Riego y Drenaje / FAO
- ✓ Fondo Ambiental de El Salvador,
<http://www.fonaes.gob.sv/humedal/sitios/olomega.htm>
- ✓ Fundamentos de Hidrología de Superficies, Javier Aparicio, Editorial Limusa, 1992.
- ✓ Hidrología Aplicada, Ven Te Chow, 1994
- ✓ Hidráulica de Canales Abiertos, Ven Te Chow, 2004
- ✓ Inundaciones Fluviales, Mapas de Amenaza, Recomendaciones Técnicas para su Elaboración. /Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales, Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación.

- ✓ “Laguna de Olomega, La Pesca por medio de Cerco” MAG, Rodolfo Pacheco Ulloa, Julio de 2003,
- ✓ Ley de Medio Ambiente de La República de El Salvador
- ✓ La Convención sobre los Humedales, Manual de la Convención de Ramsar, 4a. edición (2006)
- ✓ Ordenanza para la Protección y Manejo Integral de la Laguna de Olomega, Alcaldía El Carmen, publicado en el DIARIO OFICIAL, el 7 de febrero de 2005, tomo Nº 366.
- ✓ Plan de Manejo del Área Natural Humedal de Olomega, MARN 2004.
- ✓ Plan de Manejo de Los Recursos Pesqueros de La Laguna de Olomega, MARN 2003.
- ✓ Propuesta para El Desarrollo Ecoturístico de la Laguna de Olomega, a partir del Proyecto del Cantón Olomega, Diagnostico, SACDEL, 2006.
- ✓ Recopilación Histórica de Desastres en El Salvador 1900-2005.
- ✓ Registro Histórico de Inundaciones, SNET,
<http://mapas.snet.gob.sv/hidrologia/select.php>
- ✓ Reglamento General de la Ley del Medio Ambiente de El Salvador.

- ✓ Sistema de Alerta Temprana, SNET,
<http://mapas.snet.gob.sv/hidrologia/sat.phtml>
- ✓ <http://www.geocities.com/gsilvam/aplicada.htm> “Pagina con texto sobre la hidrología aplicada”
- ✓ <http://www.geocities.com/gsilvam/estudios.htm> “Pagina con texto sobre el contenido de los estudios hidrológicos y elementos necesarios para realizar un estudio hidrológico”
- ✓ <http://www.geocities.com/gsilvam/inundacion.htm> “Esta pagina contiene texto sobre el control de inundaciones”
- ✓ www.snet.gob.sv/Documentos/inundaciones-ES-SNET-2004.pdf *“Este documento contiene los requisitos que el SNET pide cumplan los estudios hidrológicos”*
- ✓ www.snet.gob.sv/ver/seccion+educativa/meteorologia/huracanes/efectos/ “Sección Educativa de la pagina Web del SNET, información sobre clima, huracanes, inundaciones, etc.”
- ✓ www.wikipedia.com, Enciclopedia Libre.

Anexo A



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

Proyecto: Estudio Hidrológico de la Sub Cuenca de la
Laguna de Olomega y Zonificación de Áreas
Vulnerables a Inundación

Orden de corrientes
de La Sub Cuenca de
La Laguna de Olomega

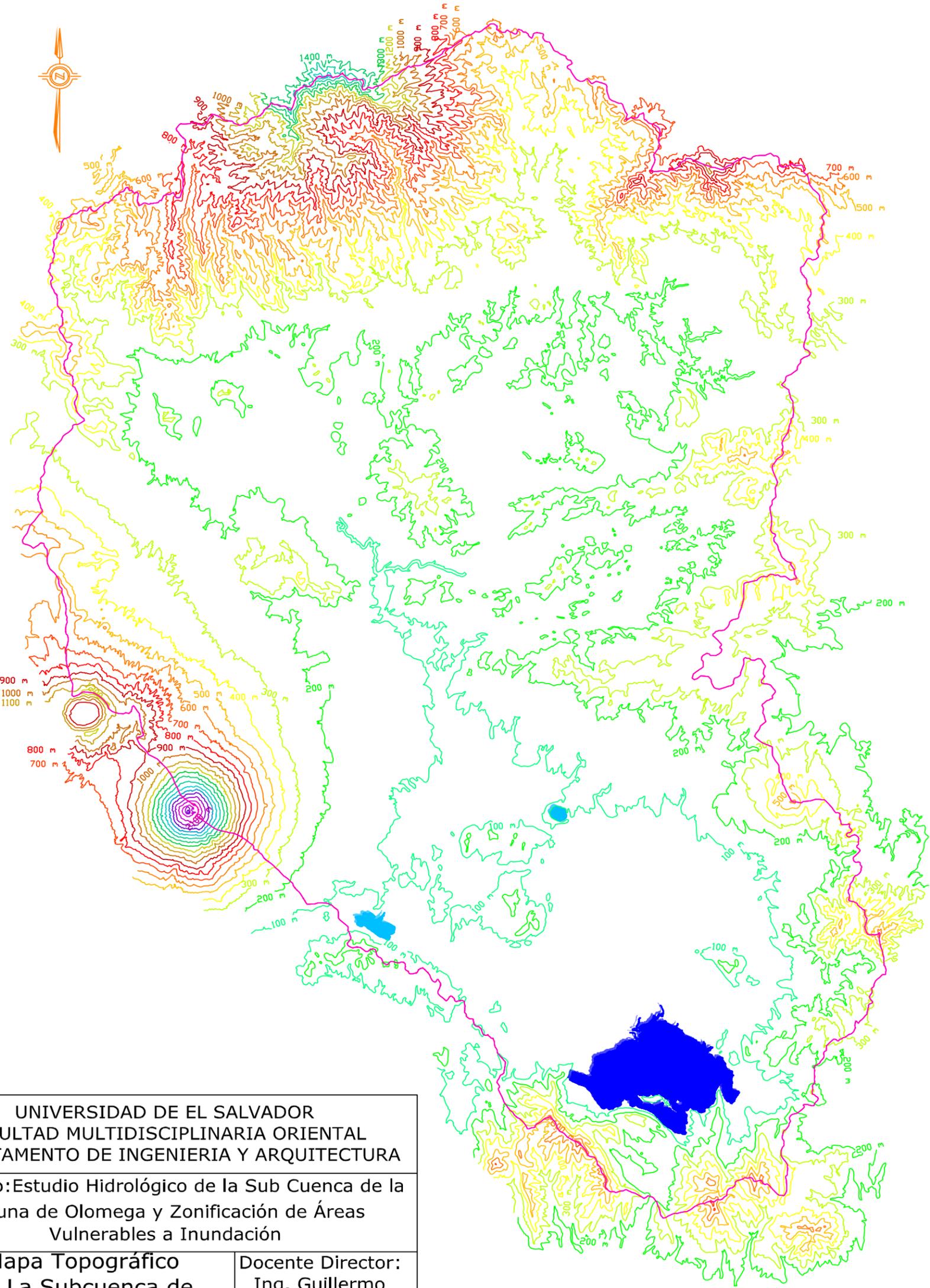
Docente Director:
Ing. Guillermo
Moya Turcios

Estudiantes:
Díaz, David Otoniel
Paíz, Velis Alirio
Sorto, Fatima Elizabeth

Esc. 1:200,000

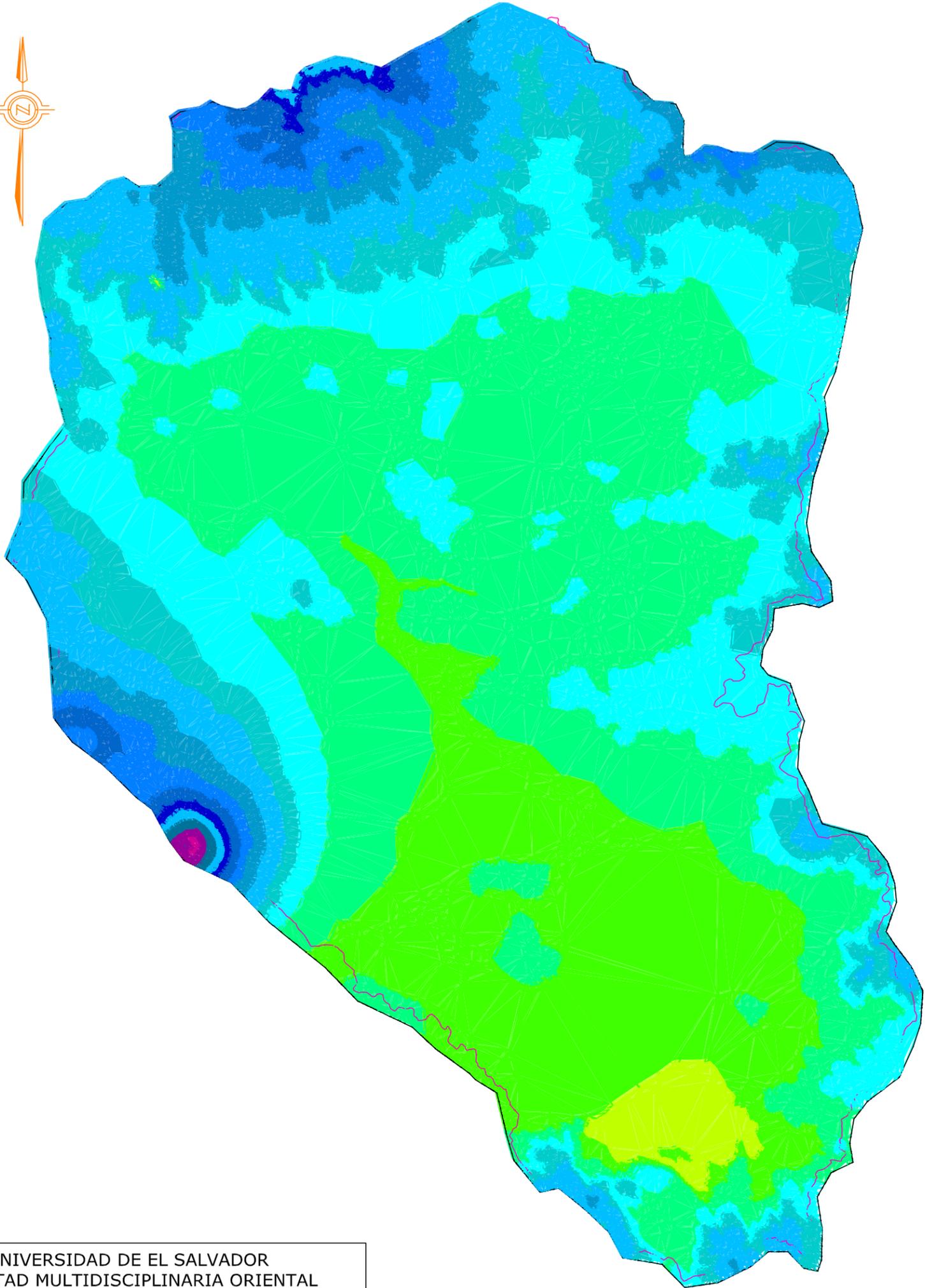
Mapa #1

FUENTE: Cuadrantes topográficos ESC. 1:50000m



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA	
Proyecto: Estudio Hidrológico de la Sub Cuenca de la Laguna de Olomega y Zonificación de Áreas Vulnerables a Inundación	
Mapa Topográfico de La Subcuenca de La Laguna de Olomega	Docente Director: Ing. Guillermo Moya Turcios
Estudiantes: Díaz, David Otoniel Paíz, Velis Alirio Sorto, Fatima Elizabeth	Esc. 1:200,000
	Mapa #2

FUENTE: Cuadrantes topográficos ESC. 1:50000m



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL
 DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

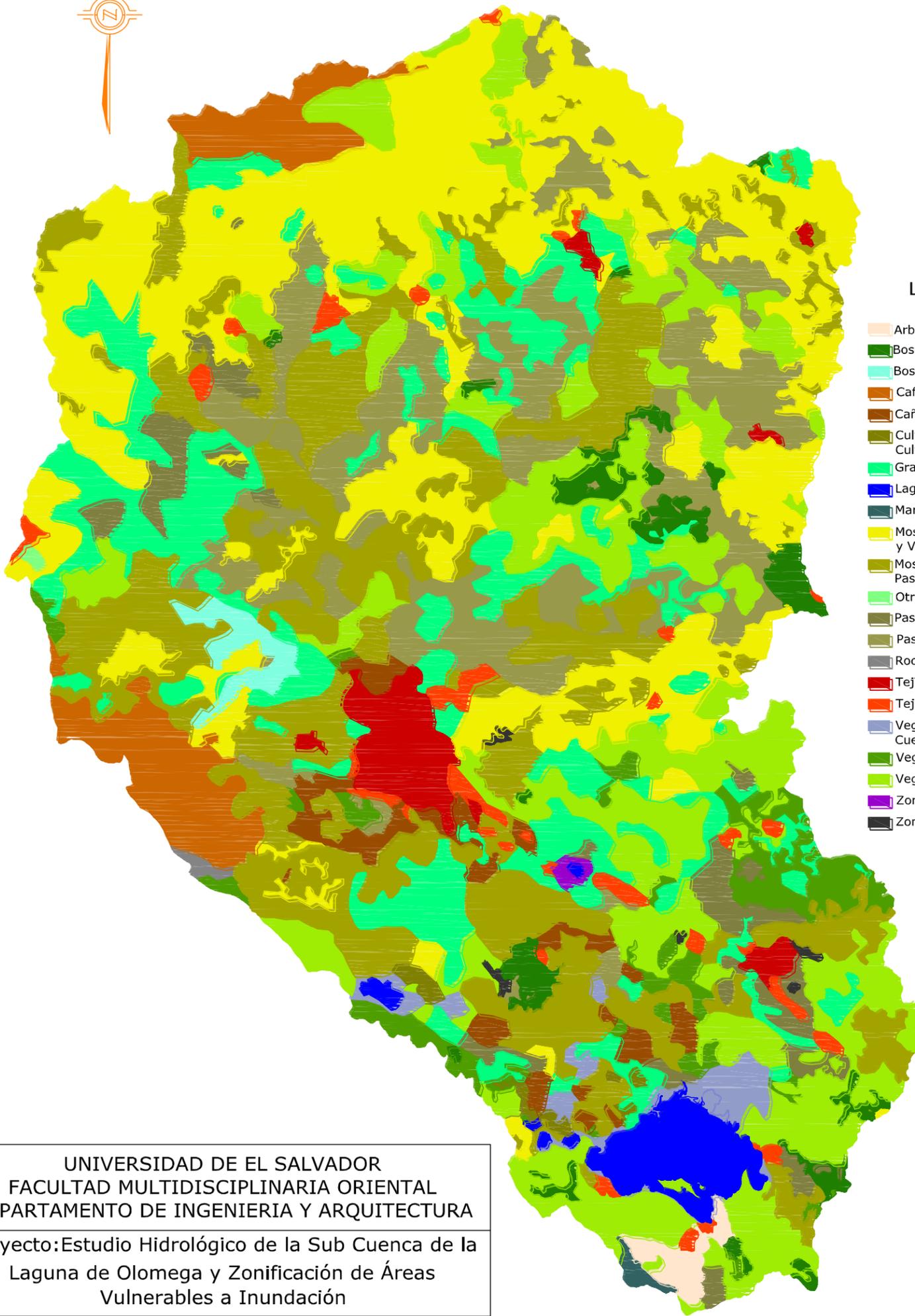
Proyecto: Estudio Hidrológico de la Sub Cuenca de la Laguna de Olomega y Zonificación de Áreas Vulnerables a Inundación en los Alrededores de la Laguna

Mapa altimétrico de la Sub Cuenca de La Laguna de Olomega	Docente Director: Ing. Guillermo Moya Turcios
---	--

Estudiantes: Díaz, David Otoniel Paíz, Velis Alirio Sorto, Fatima Elizabeth	Esc. 1:200,000
	Mapa #3

		Legend			
Color	Range	Beg.	Range End	Area	Percent
	0	70		27.84 km ²	1.6
	70	100		286.43 km ²	16.9
	100	200		537.09 km ²	31.8
	200	300		339.72 km ²	20.1
	300	400		163.33 km ²	9.7
	400	600		177.23 km ²	10.5
	600	800		74.64 km ²	4.4
	800	1000		47.12 km ²	2.8
	1000	1200		22.60 km ²	1.3
	1200	1400		6.71 km ²	0.4
	1400	1600		4.33 km ²	0.3
	1600	1800		1.38 km ²	0.1
	1800	2000		1.82 km ²	0.1
	2000	2400		0.37 km ²	0.0
	2400	3000		0.00 km ²	0.0

FUENTE: Cuadrantes topográficos ESC. 1:50000m



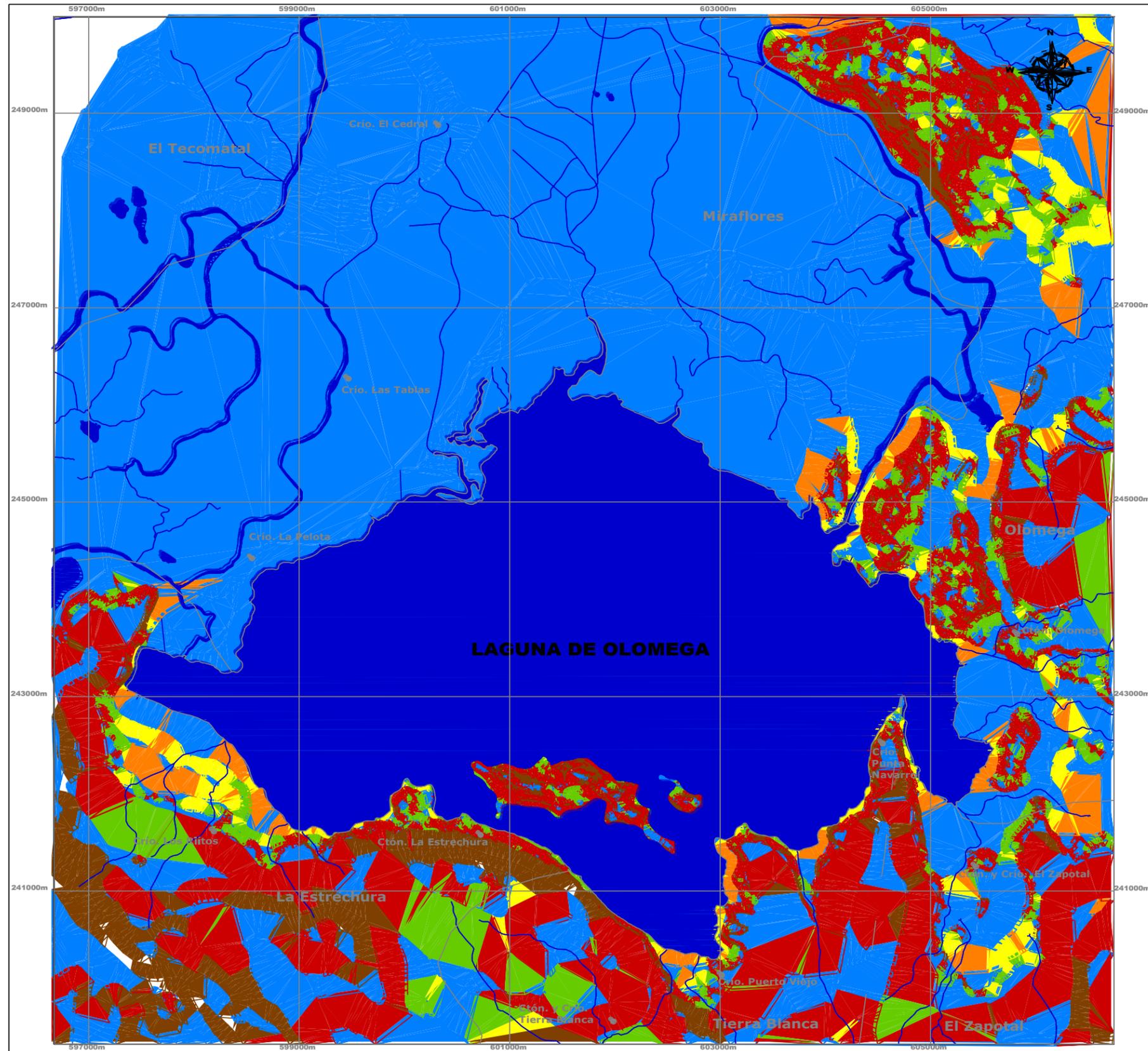
LEYENDA

- Arboles Frutales
- Bosque Cadusifolio
- Bosque de Galleria
- Cafe
- Caña de Azucar
- Cultivos Anuales Asociados con Cultivos
- Granos Basicos
- Lagunas
- Marismas Interiores
- Mosaico de Cultivos, Pastos y Vegetacion
- Mosaico de Cultivos y Pasto
- Otros Cultivos Irreigados
- Pastos Cultivados
- Pastos Naturales
- Roqueda Lavas
- Tejido Urbano Continuo
- Tejido Urbano Discontinuo
- Vegetacion Acuatica sobre Cuerpos de Agua
- Vegetacion Arbusia Natural
- Vegetacion Arbusia Baja
- Zonas de Extraccion Minera
- Zonas Quemadas

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA	
Proyecto: Estudio Hidrológico de la Sub Cuenca de la Laguna de Olomega y Zonificación de Áreas Vulnerables a Inundación	
Mapa de Uso de Suelo de La Sub Cuenca de La Laguna de Olomega	Docente Director: Ing. Guillermo Moya Turcios
Estudiantes: Díaz, David Otoniel Paíz, Velis Alirio Sorto, Fatima Elizabeth	Esc. 1:200,000
	Mapa #4

FUENTE: Cuadrantes topográficos ESC. 1:50000m

AneXo B



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL
DPTO. DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

PROYECTO:

ESTUDIO HIDROLÓGICO DE LA
SUBCUENCA DE LA LAGUNA DE OMEGA
Y ZONIFICACIÓN DE ÁREAS
VULNERABLES A INUNDACIONES EN LOS
ALREDEDORES DE LA LAGUNA

MAPA #6

**MAPA DE PENDIENTES
EN LOS ALREDEDORES
DE LA LAGUNA DE
OLOMEGA**

PRESENTAN:

DÍAZ ZELAYA, DAVID OTONIEL
PAIZ DÍAZ, VELIS ALIRIO
SORTO, FATIMA ELIZABETH

DOCENTE DIRECTOR:

GUILLERMO MOYA TURCIOS

LEYENDA

CUADRO DE PENDIENTES					
Color	Range	Beg.	Range	EndPercent	Area
Blue	0.00	2.00	75.7	79674922.42	
Light Blue	2.00	5.00	2.6	2697640.25	
Yellow	5.00	10.00	2.0	2094407.52	
Orange	10.00	20.00	3.8	3995945.52	
Red	20.00	50.00	11.9	12934249.39	
Brown	50.00	100.00	4.1	4309563.23	

— Red Hidrica

— Límites Municipales

ÁREA DE DETALLE



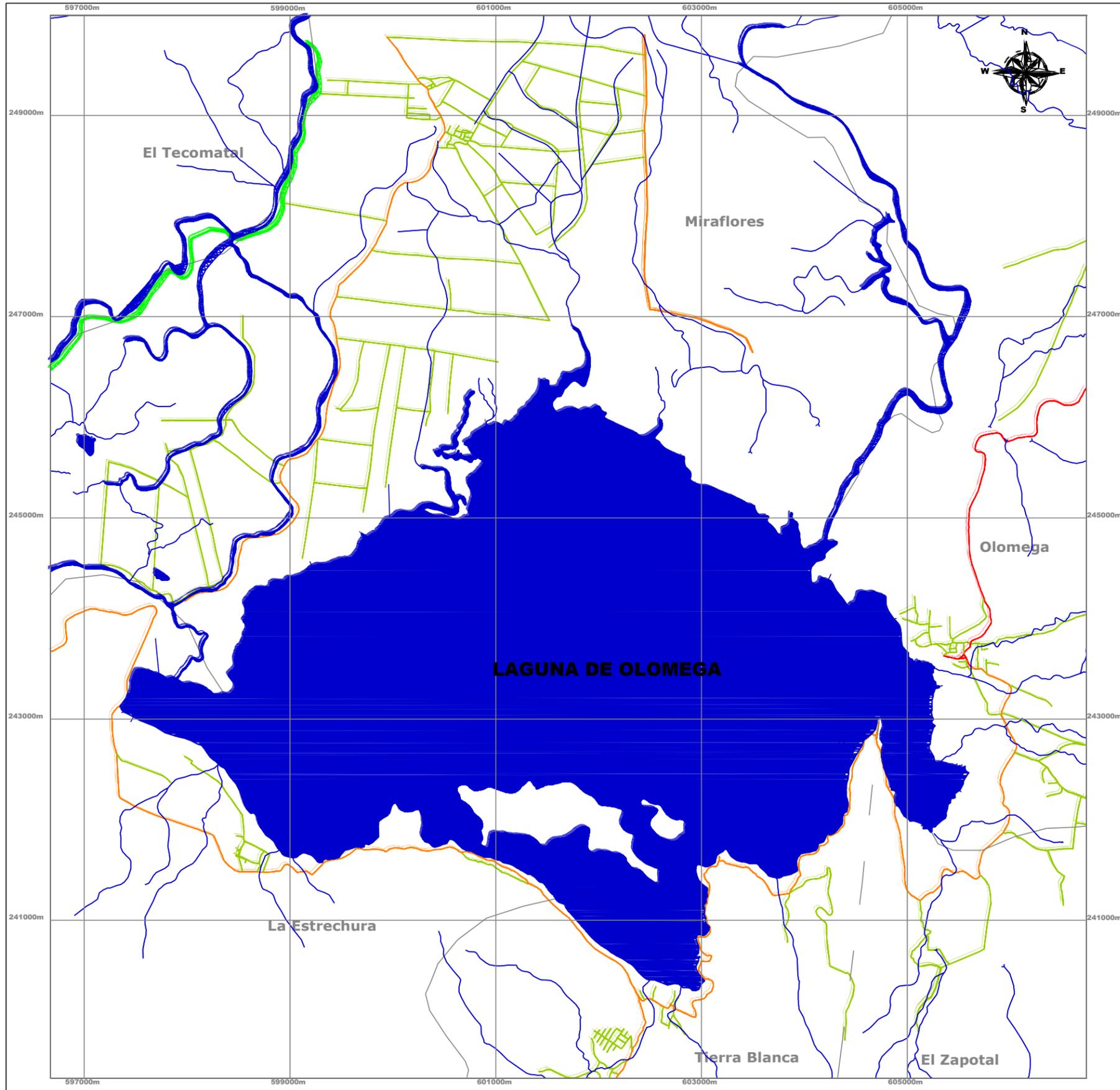
ESCALA GRÁFICA
2.0 KM



Proyección Cónica Conformal de
Lambert Datum Norteamericano 1927

ESCALA DE MAPA 1:45000m

FUENTE: Elaborado por el grupo



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL
DPTO. DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

PROYECTO:
ESTUDIO HIDROLOGICO DE LA
SUBCUENCA DE LA LAGUNA DE OLOMEGA
Y ZONIFICACION DE AREAS
VULNERABLES A INUNDACIONES EN LOS
ALREDEDORES DE LA LAGUNA

MAPA #7
**MAPA DE RED VIAL
EN LOS ALREDEDORES
DE LA LAGUNA DE
OLOMEGA**

PRESENTAN:
DÍAZ ZELAYA, DAVID OTONIEL
PAIZ DÍAZ, VELIS ALIRIO
SORTO, FATIMA ELIZABETH

DOCENTE DIRECTOR:
GUILLERMO MOYA TURCIOS

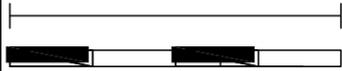
LEYENDA

- Calle de Asfalto
- Calle de Balasto Principal
- Calle de Balasto Secundaria
- Borda del Rio Grande de San Miguel
- Límites Municipales
- Red Hidrica

ÁREA DE DETALLE



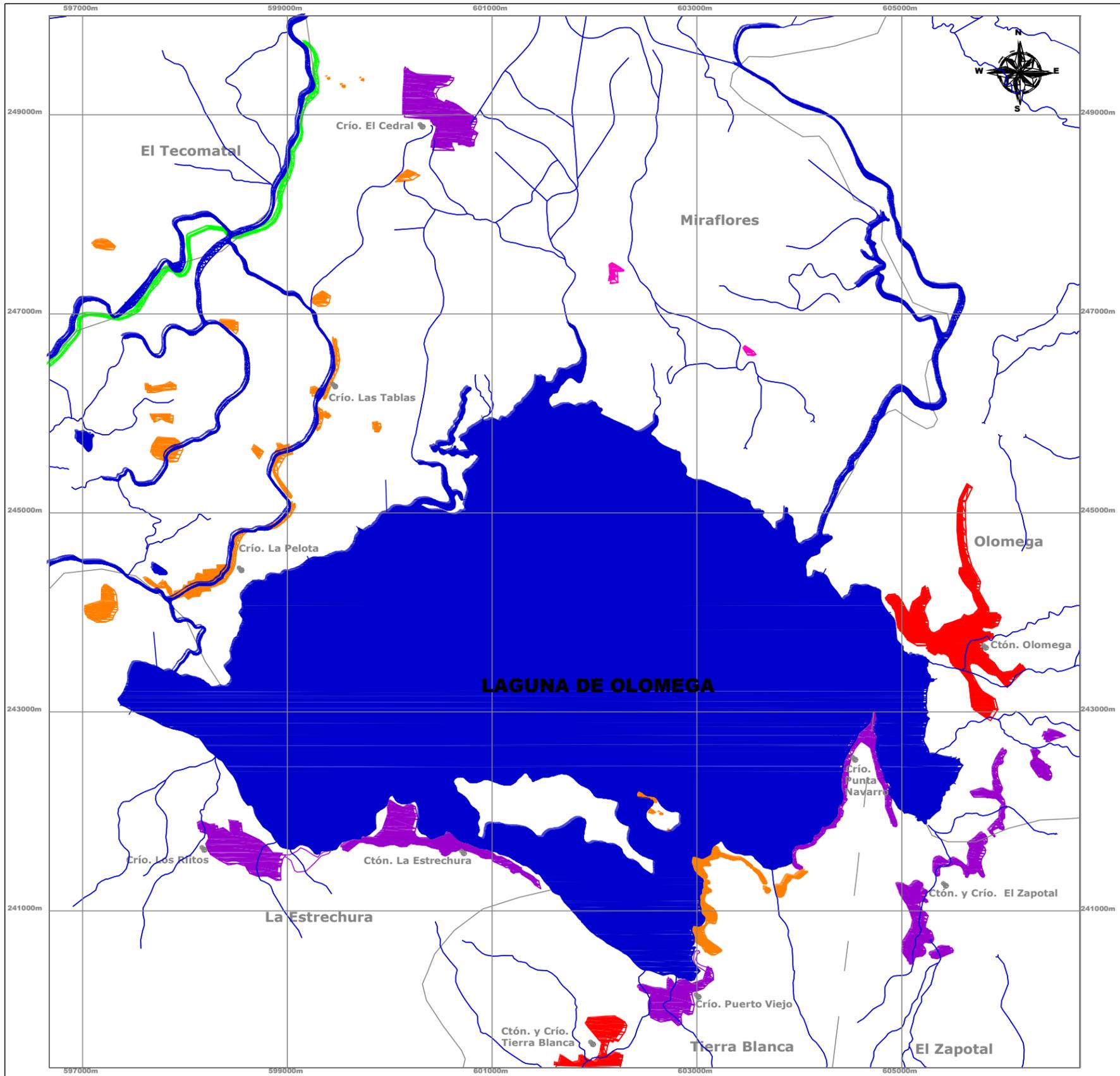
ESCALA GRÁFICA
2.0 KM



Proyección Cónica Conformal de Lambert Datum Norteamericano 1927

ESCALA DE MAPA 1:45000m

FUENTE: Elaborado por el grupo



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL
 DPTO. DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

PROYECTO:
 ESTUDIO HIDROLOGICO DE LA
 SUBCUENCA DE LA LAGUNA DE OMEGA
 Y ZONIFICACIÓN DE ÁREAS
 VULNERABLES A INUNDACIONES EN LOS
 ALREDEDORES DE LA LAGUNA

MAPA #8

**MAPA DE POBLACIÓN
 EN LOS ALREDEDORES
 DE LA LAGUNA DE
 OMEGA**

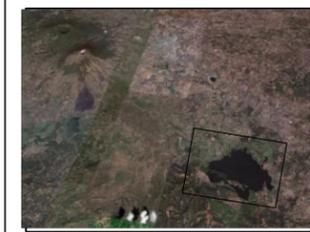
PRESENTAN:
 DÍAZ ZELAYA, DAVID OTONIEL
 PAIZ DÍAZ, VELIS ALIRIO
 SORTO, FATIMA ELIZABETH

DOCENTE DIRECTOR:
 GUILLERMO MOYA TURCIOS

LEYENDA

- 2000 - 6000 Habitantes
- 500 - 2000 Habitantes
- 50 - 500 Habitantes
- menores de 50 Habitantes
- Red Hídrica
- Límites Municipales

ÁREA DE DETALLE



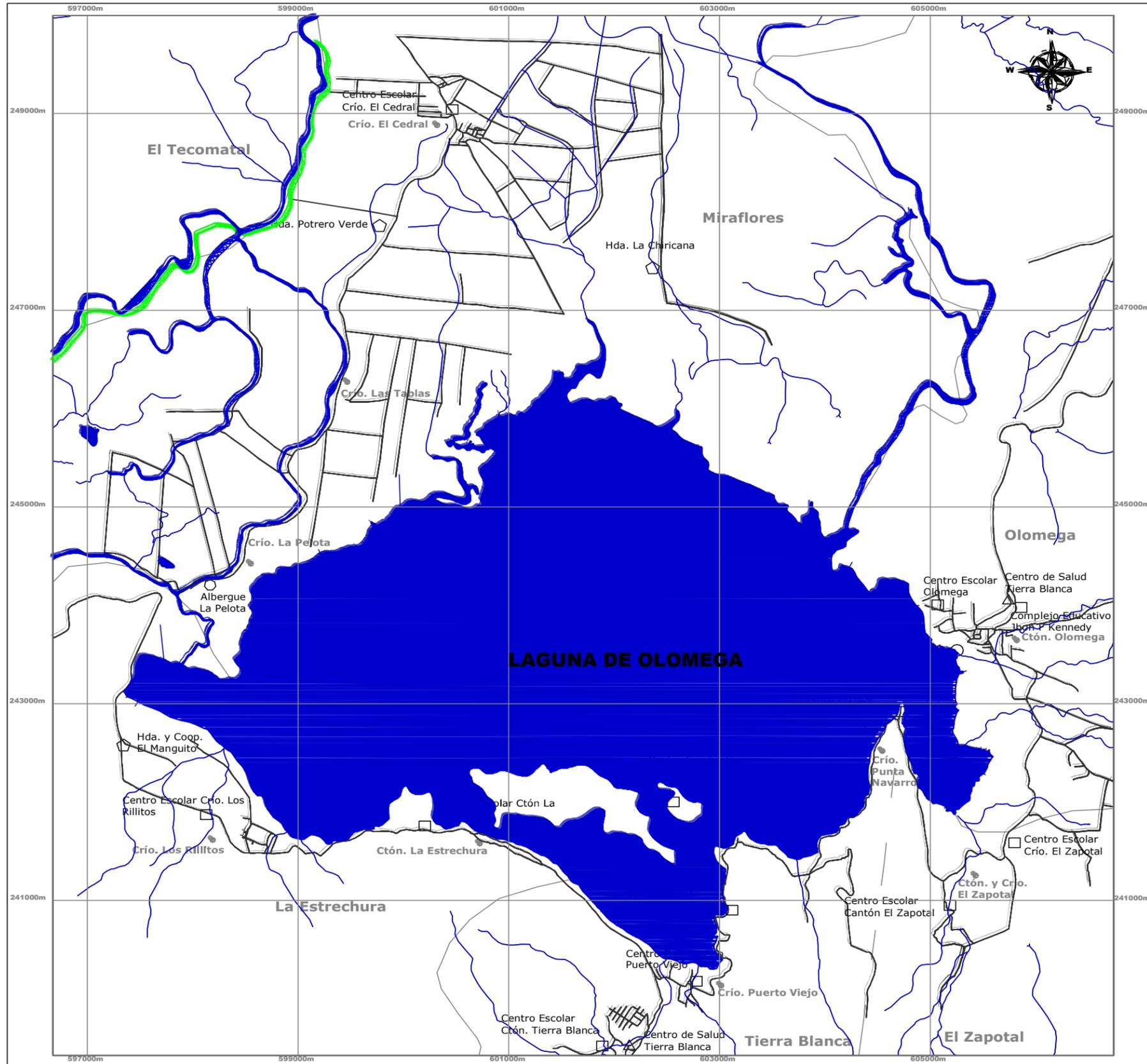
ESCALA GRÁFICA
 2.0 KM



Proyección Cónica Conformal de
 Lambert Datum Norteamericano 1927

ESCALA DE MAPA 1:45000m

FUENTE: Elaborado por el grupo



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL
 DPTO. DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

PROYECTO:
 ESTUDIO HIDROLÓGICO DE LA
 SUBCUENCA DE LA LAGUNA DE OMEGA
 Y ZONIFICACIÓN DE ÁREAS
 VULNERABLES A INUNDACIONES EN LOS
 ALREDEDORES DE LA LAGUNA

MAPA #9
MAPA DE
INFRAESTRUCTURA EN
LOS ALREDEDORES DE
LA LAGUNA DE
OLOMEGA

PRESENTAN:
 DÍAZ ZELAYA, DAVID OTONIEL
 PAIZ DÍAZ, VELIS ALIRIO
 SORTO, FATIMA ELIZABETH

DOCENTE DIRECTOR:
 GUILLERMO MOYA TURCIOS

LEYENDA

- 2000 - 6000 Habitantes
- 500 - 2000 Habitantes
- 500 - 50 Habitantes
- Menores de 50 Habitantes
- Red Hídrica
- Red Vial
- Límites Municipales
- Muelle y Malecón
- Centro Escolar
- △ Unidad de salud
- Albergue
- ◊ Hacienda

ÁREA DE DETALLE

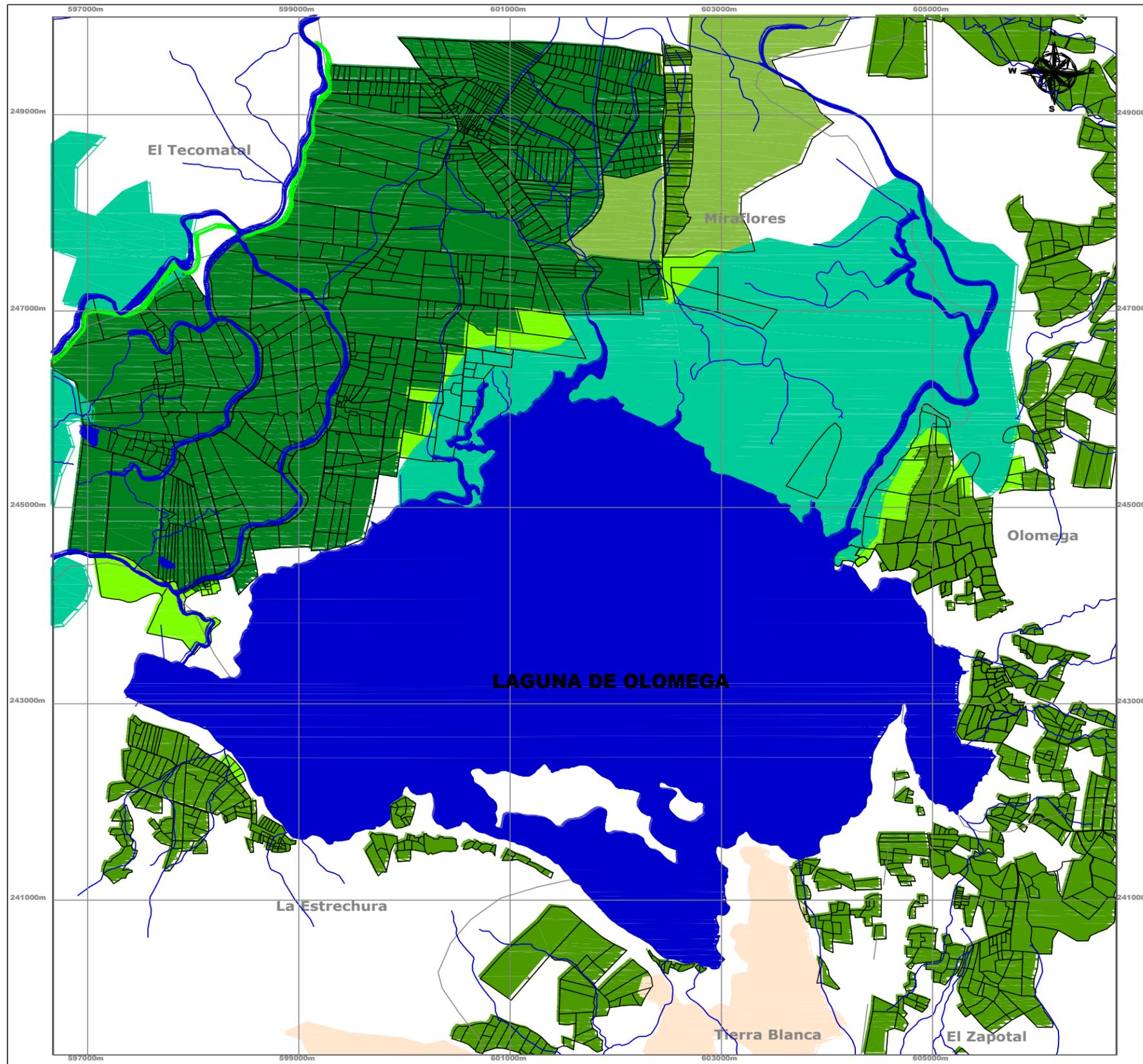


ESCALA GRÁFICA
 2.0 KM

Proyección Cónica Conformal de
 Lambert Datum Norteamericano 1927

ESCALA DE MAPA 1:45000m

FUENTE: Elaborado por el grupo



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL
 DPTO. DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

PROYECTO:
 ESTUDIO HIDROLÓGICO DE LA
 SUBCUENCA DE LA LAGUNA DE OLOMEGA
 Y ZONIFICACIÓN DE ÁREAS
 VULNERABLES A INUNDACIONES EN LOS
 ALREDEDORES DE LA LAGUNA

MAPA #10
**MAPA DE PARCELAS
 EN LOS ALREDEDORES
 DE LA LAGUNA**

PRESENTAN:
 DÍAZ ZELAYA, DAVID OTONIEL
 PAIZ DÍAZ, VELIS ALIRIO
 SORTO, FATIMA ELIZABETH

DOCENTE DIRECTOR:
 GUILLERMO MOYA TURCIOS

LEYENDA

-  Granos Básicos, Hortalizas, Cañana de Azúcar
-  Mescla de Sistemas de Productivos
-  Pastizales
-  Pantanos
-  Bosque Natural Chiricana
-  Bosque Arboles Frutales
-  Red Hidrica

ÁREA DE DETALLE



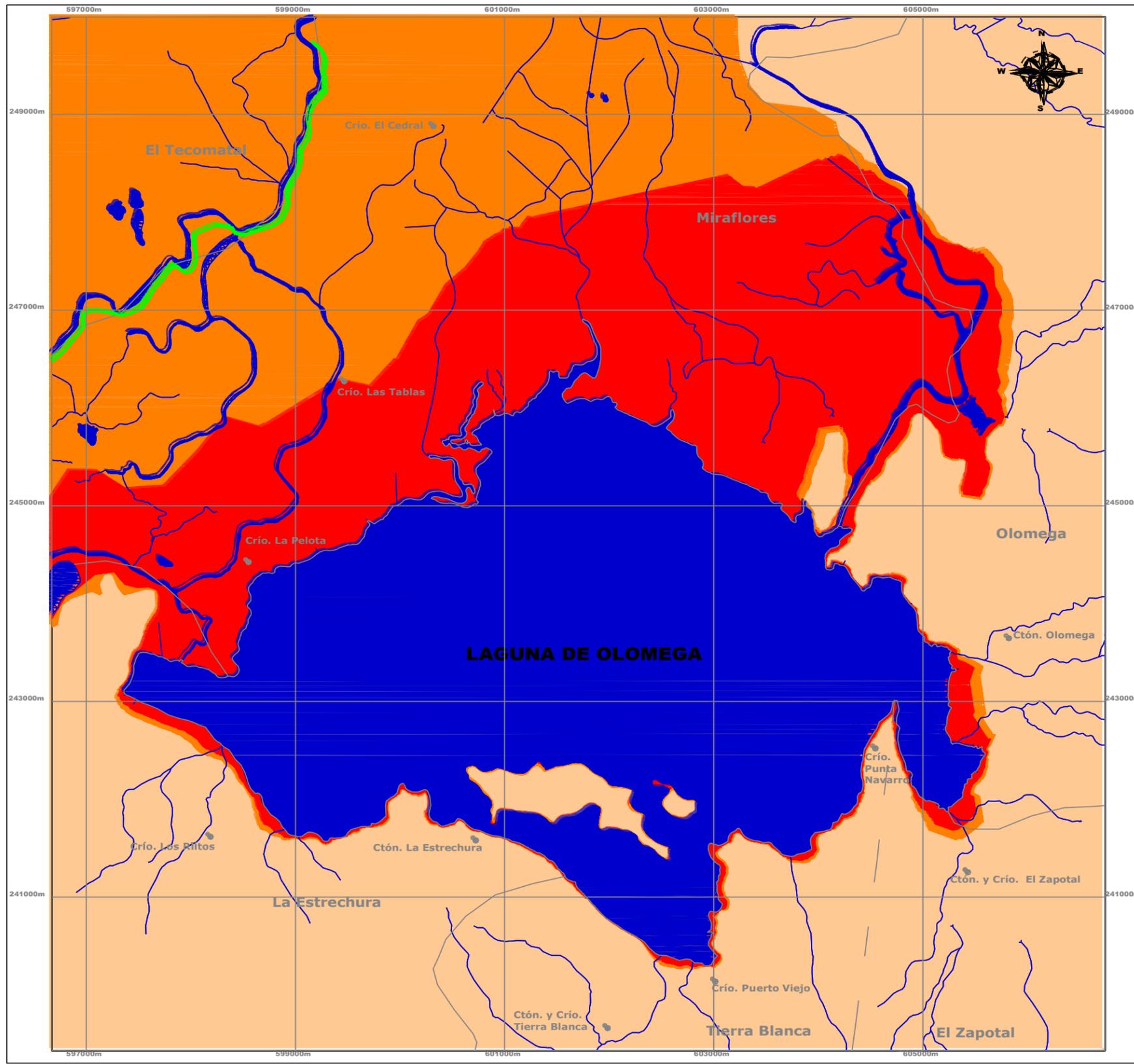
ESCALA GRÁFICA
 2.0 KM

Proyección Cónica Conformal de
 Lambert Datum Norteamericano 1927

ESCALA DE MAPA 1:45000m

FUENTE: Elaborado por el grupo

AneXo C



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL
 DPTO. DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

PROYECTO:
 ESTUDIO HIDROLÓGICO DE LA
 SUBCUENCA DE LA LAGUNA DE OLOMEGA
 Y ZONIFICACIÓN DE ÁREAS
 VULNERABLES A INUNDACIONES EN LOS
 ALREDEDORES DE LA LAGUNA

**MAPA #11
 MAPA DE AMENAZA
 POR INUNDACIÓN EN
 LOS ALREDEDORES DE
 LA LAGUNA DE
 OLOMEGA**

PRESENTAN:
 DÍAZ ZELAYA, DAVID OTONIEL
 PAIZ DÍAZ, VELIS ALIRIO
 SORTO, FATIMA ELIZABETH

DOCENTE DIRECTOR:
 GUILLERMO MOYA TURCIOS

LEYENDA

- Zona no inundable
- 10<Tr<50 años y Precipitación acumulada de 450mm
- Tr<10 años y Precipitación acumulada de 270mm
- Red Hidrica
- Límites Municipales

ÁREA DE DETALLE



ESCALA GRÁFICA

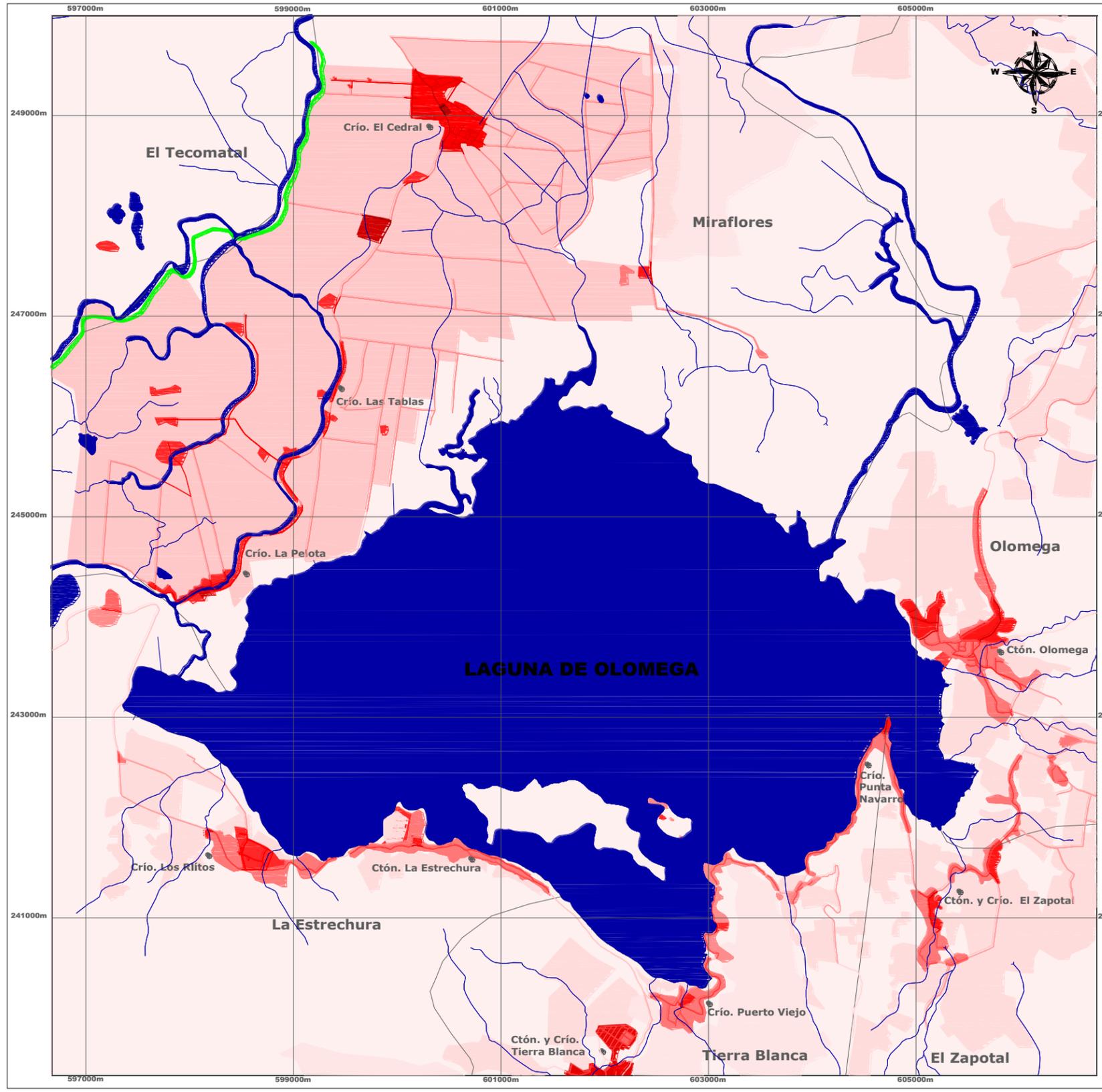
2.0 KM



Proyección Cónica Conformal de Lambert Datum Norteamericano 1927

ESCALA DE MAPA 1:45000m

FUENTE: Elaborado por el grupo



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL
 DPTO. DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

PROYECTO:
 ESTUDIO HIDROLÓGICO DE LA
 SUBCUENCA DE LA LAGUNA DE OLOMEGA
 Y ZONIFICACIÓN DE ÁREAS
 VULNERABLES A INUNDACIONES EN LOS
 ALREDEDORES DE LA LAGUNA

MAPA #12
MAPA DE
VULNERABILIDAD POR
INUNDACIÓN EN LOS
ALREDEDORES DE LA
LAGUNA DE OLOMEGA

PRESENTAN:
 DÍAZ ZELAYA, DAVID OTONIEL
 PAIZ DÍAZ, VELIS ALIRIO
 SORTO, FATIMA ELIZABETH

DOCENTE DIRECTOR:
 GUILLERMO MOYA TURCIOS

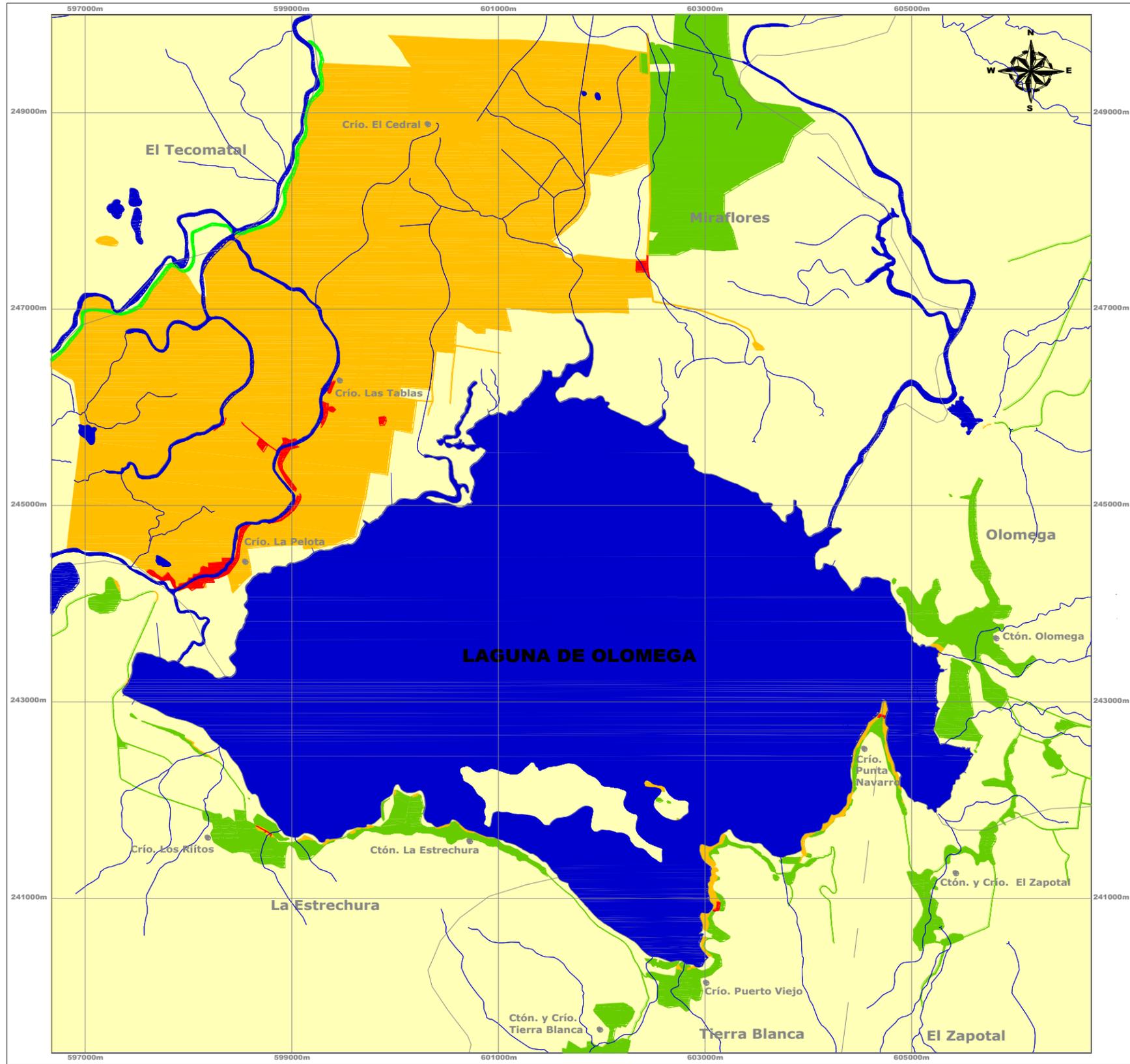


Descripción de las clases de Vulnerabilidad	Ponderación
Áreas sin o muy baja vulnerabilidad	0 - 3
Áreas con baja vulnerabilidad	4 - 8
Áreas con media vulnerabilidad	9 - 25
Áreas con alta vulnerabilidad	26 - 50



ESCALA GRÁFICA
 2.0 KM

Proyección Cónica Conformal de Lambert Datum Norteamericano 1927
 ESCALA DE MAPA 1:45000m
 FUENTE: Elaborado por el grupo




UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL
DPTO. DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

PROYECTO:
ESTUDIO HIDROLÓGICO DE LA
SUBCUENCA DE LA LAGUNA DE OLOMEGA
Y ZONIFICACIÓN DE ÁREAS
VULNERABLES A INUNDACIONES EN LOS
ALREDEDORES DE LA LAGUNA

MAPA #13
MAPA DE RIESGO
POR INUNDACIÓN EN
LOS ALREDEDORES DE
LA LAGUNA DE
OLOMEGA

PRESENTAN:
DÍAZ ZELAYA, DAVID OTONIEL
PAIZ DÍAZ, VELIS ALIRIO
SORTO, FATIMA ELIZABETH

DOCENTE DIRECTOR:
GUILLERMO MOYA TURCIOS

- LEYENDA
- Alto Riesgo
 - Medio Riesgo
 - Bajo Riesgo
 - Sin Riesgo
 - Red Hídrica
 - Límites Municipales

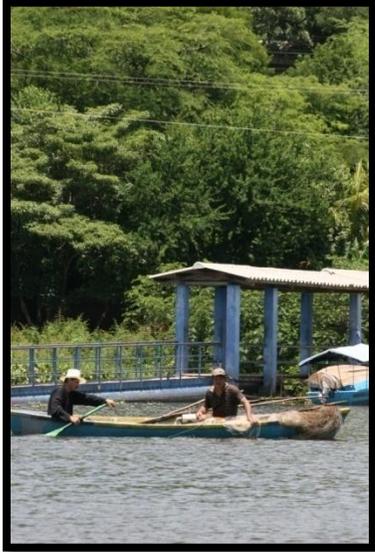


ESCALA GRÁFICA
2.0 KM

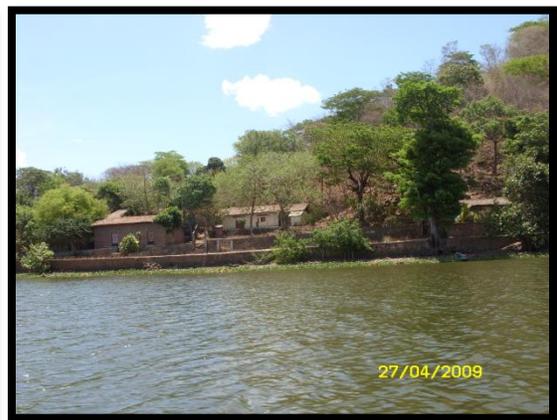
Proyección Cónica Conformal de
Lambert Datum Norteamericano 1927
ESCALA DE MAPA 1:45000m
FUENTE: Elaborado por el grupo

Anexo D

✚ Humedal Olomega, provee de alimentos a las personas que viven de la pesca y la agricultura y también es casa de animales silvestres y aves acuáticas.



✚ Viviendas ubicadas en las riberas de la Laguna de Olomega



🚩 Paisajes Naturales de la Laguna de Olomega



🚩 Vista de un hermoso arcoíris desde el Caserío La Pelota.

