

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA DE OCCIDENTE
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA



**TEMA: CAUSAS DE INUNDACION DE LA LAGUNA CUSCACHAPA,
UBICADA EN EL MUNICIPIO DE CHALCHUAPA, DEPARTAMENTO DE
SANTA ANA.**

PARA OPTAR AL TITULO DE INGENIERO CIVIL

PRESENTADO POR:

ANA ISIS GABRIELA RECINOS ARANA

RENE FERNANDO CUELLAR MONROY

FRANCISCO ANTONIO MUÑOZ HIDALGO

DOCENTE DIRECTOR:

ING. MAX ADALBERTO HERNÁNDEZ RIVERA

AGOSTO 2014

SANTA ANA

EL SALVADOR

CENTROAMÉRICA

AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR:

ING. MARIO ROBERTO NIETO LOVO

VICERRECTORA ACADÉMICA:

MAESTRA ANA MARÍA GLOWER DE ALVARADO

VICERRECTOR ADMINISTRATIVO:

MAESTRO ÓSCAR NOÉ NAVARRETE

SECRETARÍA GENERAL:

DRA. ANA LETICIA ZA VALETA DE AMAYA

FISCAL:

LICDO. FRANCISCO CRUZ LETONA

**AUTORIDADES DE LA FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA DE
OCCIDENTE**

DECANO:

LICDO. RAÚL ERNESTO AZCÚNAGA LÓPEZ

VICEDECANO:

ING. WILLIAM VIRGILIO ZAMORA GIRÓN

SECRETARIO:

LIC. VÍCTOR HUGO MERINO QUEZADA

JEFA DE DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTUA:

ING. Y MASTER SORAYA LISSETTE BARRERA RIVERA

TRIBUNAL CALIFICADOR (INTEGRADO POR):

PRESIDENTE:

ING. MAX ADALBERTO HERNANDEZ RIVERA

SECRETARIA:

ING. MARTA RAQUEL QUEVEDO CERRA

VOCAL:

SALVADOR ELISEO MELÉNDEZ CASTANEDA

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA DE OCCIDENTE

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

INGENIERO CIVIL

Título:

**“CAUSAS DE INUNDACION DE LA LAGUNA CUSCACHAPA, UBICADA EN EL
MUNICIPIO DE CHALCHUAPA, DEPARTAMENTO DE SANTA ANA.”**

Presentado por:

ANA ISIS GABRIELA RECINOS ARANA

RENE FERNANDO CUELLAR MONROY

FRANCISCO ANTONIO MUÑOZ HIDALGO

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Director:

ING. MAX ADALBERTO HERNÁNDEZ RIVERA

SANTA ANA – EL SALVADOR - CENTROAMÉRICA

AGOSTO DE 2014

AGRADECIMIENTOS

Al concluir nuestro Trabajo de Graduación queremos manifestar públicamente nuestros agradecimientos a:

Nuestro Docente Director:

Ing. Max Adalberto Hernández Rivera

Por su colaboración y orientación durante el desarrollo del Trabajo de Graduación.

Nuestro Asesor Externo:

Ing. Luis Ernesto Chipagua.

Por su invaluable apoyo, entrega y ayuda como asesor en la elaboración del presente trabajo.

A la Alcaldía Municipal de Chalchuapa:

Especialmente a la Licda. Vanesa de Paz Por su confianza y colaboración en todo momento para el desarrollo de este Trabajo de Investigación.

Al Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales:

Ing. Rosa María Araujo

Por la amabilidad, colaboración y facilitación de información necesaria para la realización de esta trabajo.

A nuestros compañeros y amigos que de una manera u otra colaboraron en la realización de este Trabajo de Investigación.

DEDICATORIA

Le agradezco a mi Dios todo poderoso, que me acompaña en el diario vivir y permite que todo esto sea posible.

A mi papá, por ser el pilar más importante de mi vida, el hombre al que le dedico la inspiración y realización de todos mis logros, porque siempre ha estado a mi derecha apoyándome y guiándome incondicionalmente, sin tu ayuda, amor y motivación jamás hubiera podido haber llegado a este logro. Gracias por todo papá, por haber creído en mí siempre, este éxito es para ti, Te Amo.

A mi mamá por todo el apoyo, la ayuda, los consejos y por crear de mí la persona que hasta ahora soy, por enseñarme a salir siempre adelante, regalarme la vida y ser siempre la profesora que me ha enseñado a vivir en este mundo.

A mi abuelita por ser un ejemplo para mí y te agradezco por darnos el amor y el apoyo incondicional que siempre nos has dado a mis hermanos y a mí, por llenar de alegrías nuestra infancia, gracias Dios por dejarla ver mis logros.

A mis hermanos Luis Mario Recinos y a Eduardo Recinos, por llevarme siempre de la mano en nuestra linda niñez, por entrenarme para salir al mundo, aconsejarme y mimar a su hermana menor, he aprendido mucho de los dos, los amo.

A mis tíos Mario Recinos y Mima Recinos, por ser más que tíos y llenar de amor mi vida y las de mis hermanos, los llevo en mi corazón.

A Luis Linares, por tu cariño, ayuda, motivación y el apoyo que me has brindado, gracias por todo y solo queda decir juntos, misión cumplida.

A Elvis Quintero, y Oscar Monzón por ser mis amigos incondicionales que me han ayudado y apoyado a lo largo de este camino del saber.

Ana Isis Recinos

DEDICATORIA

A Dios Todopoderoso por brindarme la dicha de culminar una meta más, iluminarme en todos estos años de estudio y mostrar su misericordia en mi vida en los momentos difíciles de la carrera.

A mis padres Conchita Hidalgo y Pedro Muñoz, por su amor, comprensión, educación y apoyo incondicional, gracias por guiarme a través de las dificultades y enseñarme el camino correcto a seguir en la vida, gracias a ustedes soy ahora mejor persona y les dedico este triunfo.

A mis tías, Gloria, Angélica y Elsa, que siempre estuvieron conmigo para compartir mis alegrías y son una parte fundamental de mi vida. Y a mis abuelos Francisco Muñoz y María Martínez que aun que ya no están con nosotros físicamente, fueron parte de mi formación personal.

A mi hermana Sandra y José mi cuñado, por sus consejos y alegrías brindadas y ser un ejemplo de superación, gracias por su afecto. Y a mí demás familia que me apoyo de una u otra forma a lo largo de estos años.

A mis amigos que me han acompañado por esta travesía, gracias por todos los buenos momentos que vivimos en nuestra etapa de estudiantes y los que aún faltan.

Francisco Muñoz

DEDICATORIA

Agradezco a Dios por permitirme culminar mis estudios, por darme la fortaleza necesaria para alcanzar cada meta hasta hoy lograda.

A mis padres Isabel Monroy de Cuéllar y Noé Cuéllar Cabrera, por el enorme apoyo que me han brindado en el transcurso de mi carrera y por enseñarme a no rendirme ante las dificultades de la vida, porque sin ellos este logro no sería posible. Muchas Gracias.

A mi novia Luisa M. Magaña por su amor y su ayuda incondicional a lo largo de estos años, en la culminación de mi carrera y en el desarrollo de este largo trabajo de investigación. Gracias por su compañía y comprensión.

A mis hermanos Noé Mauricio y Nelson Edgardo Cuellar Monroy, por su apoyo en mis años de estudio y durante toda mi vida.

A mis sobrinos Michelle y César Cuéllar, por ser una inspiración esencial para seguir adelante. Y a mi sobrina Zoé Cuéllar Sánchez por darme una nueva alegría.

A Jonathan Guardado Herrera por su ayuda desde el cielo.

Fernando Cuéllar

INDICE

CAPÍTULO 1 GENERALIDADES	13
1.1 Introducción	14
1.2 Antecedentes	15
1.3 Planteamiento del Problema.....	17
1.4 Objetivos	18
1.4.1 Objetivo General:.....	18
1.4.1 Objetivos Específicos:	18
1.5 Alcances.....	19
1.6 Limitaciones.....	20
1.7 Justificación	21
CAPÍTULO 2 MARCO TEÓRICO.....	22
2.1. Introducción.....	23
2.2. Conceptos generales de Hidrología de Superficie.....	23
2.2.1 Ciclo Hidrológico.....	23
2.2.2 Cuenca.....	25
2.2.3 Principales Características de las Cuencas y los Cauces.....	25
2.3 Balance Hídrico.....	28
2.3.1 Definición de Balance Hídrico	28
2.3.2 Objetivos e importancia de los estudios del Balance Hídrico	29
2.3.3 Ecuación del Balance Hídrico.	30
2.3.4 Cálculo de los componentes del Balance Hídrico.....	31
2.3.4.1 Precipitación.	31
2.3.4.2 Infiltración.....	38
2.3.4.3 Escurrimiento.....	43
2.3.4.4 Evaporación y Evapotranspiración.....	47
2.4 Parámetros de Calidad del Agua.....	52
CAPÍTULO 3 PRINCIPALES CARACTERISTICAS FISICAS DE LA LAGUNA CUSCACHAPA.....	55
3.1 Introducción	56
3.2. Geología e Hidrogeología de la Laguna Cuscachapa.....	56
3.3 Hidrografía de la Laguna Cuscachapa.....	58

3.3.1 Afluente.....	58
3.3.2. Efluentes.....	62
3.3.3. Batimetría de la Laguna Cuscachapa.....	64
3.3.3.1. Punto con elevación fija e instalación de limnómetro	67
3.3.3.2. Grilla batimétrica	69
3.3.3.3. Mapas batimétricos.....	71
3.3.3.4 Comparación de niveles históricos de Laguna.....	77
CAPÍTULO 4 BALANCE HIDRICO.....	80
4.1. Introducción	81
4.2. Delimitación de la micro-cuenca.	82
4.2.1 Desnivel Altitudinal.....	83
4.2.2 Uso de Suelo.....	86
4.2.3 Geología de la micro-cuenca.....	87
4.2.4 Cálculo de Coeficiente de Infiltración de la Micro-cuenca.	89
4.3 Curvas de Intensidad – Duración – Frecuencia (Periodo de retorno Curvas IDF).....	90
4.3.1 Duraciones de Lluvia.	92
4.3.2 Frecuencia de Lluvia.....	93
4.3.3 Intensidades de Lluvia.....	94
4.4 Componentes del Balance Hídrico 1981-2010	95
4.4.1 Precipitación (P)	95
4.4.2 Evapotranspiración + Evaporación (E)	97
4.4.2.1 Evapotranspiración Real Sobre el Área de Influencia de La Laguna.	101
4.4.2.2 Evaporación en Cuerpos de Agua.	102
4.4.3 Caudal Subterráneo y Superficial de Entrada	104
4.4.3.1 Cálculo del método RAS.....	104
4.4.3.2 Manantiales superficiales.	107
4.4.4 Cálculo Parcial de Balance Hídrico 1981-2010.....	108
4.4.5 Cálculo de Caudal de Salida por Infiltración.....	111
4.5 Cálculo de Balance Hídrico Real, Periodo 1,981-2,010.	113
4.6 Componentes del Balance Hídrico 2,011	115
4.6.1 Precipitación (P)	115
4.6.2 Evapotranspiración + Evaporación (E)	116

4.6.2.1 Evaporación en Cuerpos de Agua, Año 2011	116
4.6.2.2 Evapotranspiración Real Sobre el Área de Influencia de la Laguna, Año 2011.	117
4.6.3 Caudal Subterráneo y Superficial de Entrada.	118
4.6.3.1 Cálculo del Método RAS.....	118
4.6.3.2 Manantiales Superficiales.....	118
4.7 Cálculo de Balance Hídrico, Año 2011.	119
4.8 Cálculo de Balance Hídrico, Periodo 2012-2013.....	121
CAPÍTULO 5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	124
5.1 Introducción	125
5.2 Conclusiones.....	126
5.3 Recomendaciones.....	129
BIBLIOGRAFIA.....	131
ANEXOS	134

CAPÍTULO 1

GENERALIDADES

1.1 Introducción

En los últimos años uno de los recursos naturales más afectados han sido los cuerpos de agua como ríos, lagos y lagunas. Debido a fenómenos climatológicos como tormentas tropicales y también debido al ingreso de la descarga de desechos sólidos, químicos, y en casos como el de nuestro país, las personas de escasos recursos y cercanas a estos, hacen un uso indebido de sus aguas, utilizándolo para las actividades caseras como lo es el lavado de ropa en el lugar entre otras.

La laguna Cuscachapa ha sido uno de los cuerpos receptores de agua afectados por estos fenómenos, el hecho más reciente que ha impactado en la laguna fue la Tormenta 12-E ocurrida en octubre de 2011, la cual hizo que esta incrementara su nivel, provocado inundación a su alrededor, afectando las diversas actividades que en ella se realizaban.

El presente estudio denominado “Causas de Inundación de La Laguna Cuscachapa, Ubicada En El Municipio de Chalchuapa, Departamento de Santa Ana” se realizara a fin de conocer las diferentes causas de elevación de nivel y verificación de las aportaciones de caudal entrantes en la laguna, tomando en cuenta diversos factores hidrológicos y físicos necesarios para realizar esta investigación.

1.2 Antecedentes

La Laguna Cuscachapa es un cuerpo lacustre ubicado a 0.8 km. Al este de la ciudad de Chalchuapa, Véase esquema de ubicación en Anexo No.1.

La laguna se originó a partir de un cráter volcánico¹ de tamaño pequeño cuyo cuerpo magmático colapsó. Este cuerpo de agua se encuentra al Norte de las ruinas del Tazumal, ubicado también en la ciudad de Chalchuapa.

La laguna se encuentra situada al Sur-Este de la ciudad de Chalchuapa entre los 13°58'50" Latitud Norte y 89°40'45" Longitud Oeste a 325 metros al Norte de las Ruinas del Tazumal a una altitud de 714 msnm, con un área aproximada de 53,815 m² y un perímetro de aproximadamente 1 Km. Colindando con las siguientes comunidades: Colonia Veracruz al Norte, Lotificación Veracruz al Este, Comunidad calle a la Joya al Sur y el Instituto Nacional de Chalchuapa al Oeste y cuenta con dos accesos principales, Observar esquema de ubicación en anexo 1.

La laguna Cuscachapa ha tenido una serie de cambios en el pasado, en los años 40's la construcción de un camino en su perímetro, luego en los años 60's una proliferación de ninfa cubrió casi en su totalidad el espejo de agua que fue removida años después, en la década de los 70 el nivel de agua bajo considerablemente por lo que se aprobó la colocación de un colector de aguas lluvias en la 11 Avenida Sur por parte de un comité pro rescate de la laguna, dicho colector descargaba las aguas en la orilla sur-oeste de la laguna, pero el mal uso hizo que las personas conectaran el sistema de aguas negras al colector contaminando la laguna²; en octubre de 2011 debido a la Tormenta 12-E el nivel de agua de la laguna se ha incrementado considerablemente afectado las diversas actividades que se realizaban cotidianamente y un proyecto de turismo impulsado por el programa Alianza Joven Regional de Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional USAID -Sistema de Integración Centroamericana SICA y la fundación

¹ Fundación Wikipedia. (10 Marzo 2013).Wikipedia La Enciclopedia Libre [Versión Electrónica]. http://es.wikipedia.org/wiki/Laguna_Cuzcachapa

² ("Estudio de Saneamiento y Sedimentación para la Protección y Conservación de la Laguna de Cuzcachapa". L. Ramírez, H. Santamaría, C. Viana, Abril 1999, UES)

Fernando Llort con apoyo de la alcaldía con el propósito de impulsar la prevención de la violencia entre los jóvenes de la zona.

Existen además diversos estudios realizados en la Laguna Cuscachapa, algunos estudios han sido realizados por estudiantes de la Universidad de El Salvador en la década de los 90's entre ellos "Estudio de Saneamiento y Sedimentación para la Protección y Conservación de la Laguna de Cuscachapa". L. Ramírez, H. Santamaría, C. Viana, Abril 1999, UES la cual se realizó con el objetivo de proponer medidas de saneamiento y mitigación de arrastre de suelo para poder controlar la contaminación y sedimentación en la Laguna Cuscachapa.

A partir de la tormenta 12-E el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, ha realizado diversas inspecciones de campo en la Laguna Cuscachapa con el objetivo de determinar las diferentes problemáticas que se originaron a partir de dicha tormenta. El Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales encontró cierto grado de aportación de sedimentos y con esto existe la posibilidad de azolvamiento³, muchos árboles han sido afectados con la elevación de nivel provocando el colapso de algunos de estos árboles que se encuentran en el perímetro de la laguna, la inundación cubrió un aproximado de 20 m horizontales en el camino perimetral que se usaba para actividades recreativas y deportivas por parte de los habitantes de la zona, por otra parte se observó una capa superficial de micro algas del grupo de las cianofíceas, características de los cuerpos con abundancia de nutrientes como jabones, aguas domésticas y fertilizantes y plantas acuáticas comunes.⁴

³ "Informe de Inspección de Campo en Laguna Cuscachapa por problemas de Azolvamiento" G. Mariona, L. Chipagua, Dic. 2012, Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales

⁴ "Informe de Inspección de Campo en Laguna Cuscachapa por problemas de Azolvamiento" G. Mariona, L. Chipagua, Dic. 2012, Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales

1.3 Planteamiento del Problema

La laguna Cuscachapa es una parte importante del municipio de Chalchuapa debido al potencial turístico, social y económico que representa. A lo largo de los años esta laguna ha sido una fuente de ingresos para los pobladores de la zona a través de la pesca, centro de esparcimiento y recreación para los habitantes del municipio ya que en este lugar se realizaban actividades deportivas y funcionaba un eco parque con actividades de canopy acuático que era parte del programa de prevención de violencia para la zona, pero todo se ha venido abajo debido a la inundación provocada en 2011 por la depresión tropical 12-E, la cual elevó los niveles de agua en la laguna cubriendo la calle perimetral y de esta forma crea problemas de acceso hacia la laguna como también gran parte de la flora del sitio se ha visto afectada ya que se puede observar que los árboles que están situados alrededor de la laguna no pueden sobrevivir dentro del agua debido a su especie, y las personas se ven limitadas en la circulación alrededor de la laguna deteniendo así las actividades deportivas y provocando el paro del eco parque que funcionaba en la laguna debido a que solo puede rodearse la laguna en una lancha con remos. Provocando preocupación por parte de los habitantes de la zona debido a que el nivel de agua está llegando a sus viviendas las cuales pueden ser propensas a deslizamientos de tierra.

En base a ello se determinó que el problema principal de la investigación es:

“Permanencia del aumento de nivel de agua en la Laguna Cuscachapa”

Dentro de los involucrados en la problemática están la Alcaldía Municipal de Chalchuapa, Micro región de medio ambiente Tazumal y la Universidad de El Salvador por medio del grupo desarrollador del proyecto.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General:

- Proveer a la población del Municipio de Chalchuapa, Departamento de Santa Ana, con Información de las características físicas e hidrológicas actualizadas de la Laguna Cuscachapa, para crear una línea base que ayude a buscar proyectos para solventar la afectación que se ha suscitado en el lugar.

1.4.1 Objetivos Específicos:

- Realizar el balance Hídrico de la Laguna Cuscachapa.
- Determinar las principales características físicas de la Laguna Cuscachapa.
- Realizar Batimetría de la Laguna Cuscachapa.

1.5 Alcances

Debido a la afectación que se ha enfrentado en los últimos tres años en la laguna Cuscachapa, se ha visto la necesidad de realizar diferentes estudios con el objetivo de dar respuestas a la afectación de inundación por lo cual en este estudio se pretende desarrollar los siguientes alcances:

- Realizar una medición batimétrica en la laguna Cuscachapa para determinar la profundidad de la laguna.

- Calcular el Balance Hídrico.

1.6 Limitaciones

- El balance hídrico se aplicara solamente a la micro cuenca de la Laguna Cuscachapa.
- No se cuenta con un registro de monitoreo sistemático de variación de nivel de la laguna.
- La distancia de las estaciones pluviométricas a la zona es relativamente lejana por lo cual los datos obtenidos podrían variar a los datos reales de precipitación, dado que la estación más cercana a la laguna es de aproximadamente 14 km. Ubicada en el municipio de Santa Ana.
- Algunas de las estaciones cercana a la micro cuenca no cuentan con datos actuales por lo cual solo se utilizaran los datos registrados en la estación A-37, Santa Ana UNICAES, perteneciente al Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales MARN.
- No se cuenta con estudios hidrogeológicos de la zona de la micro cuenca, por lo que el estudio se basara en las características hidrológicas.
- No existen estudios anteriores sobre inundaciones en la Laguna Cuscachapa.
- Debido a la delincuencia de la zona, no se podrán recolectar datos de nivel freático de pozos en algunas de las áreas cercanas a la Laguna Cuscachapa.

1.7 Justificación

Ante la problemática de inundación en la laguna Cuscachapa tras la tormenta tropical 12E en el año 2011, la Laguna Cuscachapa ha sufrido variación del nivel de agua provocando inundación, viéndose afectados en sus actividades de subsistencia diaria y de recreación, como la pesca según manifiestan los lugareños, el turismo, actividades deportivas, compartir momentos familiares y en su modo de vida en general; Es por esto que la Alcaldía Municipal de Chalchuapa, Departamento de Santa Ana, para hacer más eficiente su trabajo en conjunto con La Dirección General de Protección Civil, necesita conocer las causas que generan las inundaciones y el comportamiento de las mismas, para informar y resguardar a tiempo, las comunidades que se ven afectadas por un posible deslizamiento de tierra, además de poder retomar los programas de prevención de violencia que impulsaba la comuna en conjunto con la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional, USAID, y el Sistema de Integración Centroamericana, SICA, a través de Alianza Joven Regional, y promover el turismo del municipio aprovechando los centros arqueológicos y la laguna generando empleos e ingresos para las personas que ahí residen.

No obstante, las inundaciones no solo afectan a las comunidades, sino también a la laguna en sí, pues se ha detectado que la flora que se encuentra en la laguna no pueda subsistir debido a que están cubiertas de agua, muchos de los arboles no pueden sobrevivir en los alrededores por esta situación perdiendo especies de importancia como Ceibas y otros tipos de árboles que se encontraban en la zona perimetral de la laguna. Por este motivo es de vital importancia para la comuna conocer las causas y afectaciones ambientales que están provocando la problemática de inundación en la laguna Cuscachapa.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1. Introducción

Los fundamentos teóricos son necesarios para el desarrollo de cualquier investigación, por lo que en este capítulo se abordan los conceptos básicos utilizados y la terminología que contiene el presente trabajo de investigación, abarcando los conceptos de hidrología de superficie y balance hídrico, definiendo sus componentes principales y su importancia para la realización de este estudio.

2.2. Conceptos generales de Hidrología de Superficie

Esta sección contiene una breve y sintética introducción al ciclo del agua y sus principales componentes y procesos, que son materia de estudio de la Hidrología.

El propósito de la temática a tratar es mostrar la dinámica de las masas de agua en nuestro planeta, en contexto donde se desarrollan los fenómenos a escala más local en las cuencas.

2.2.1 Ciclo Hidrológico

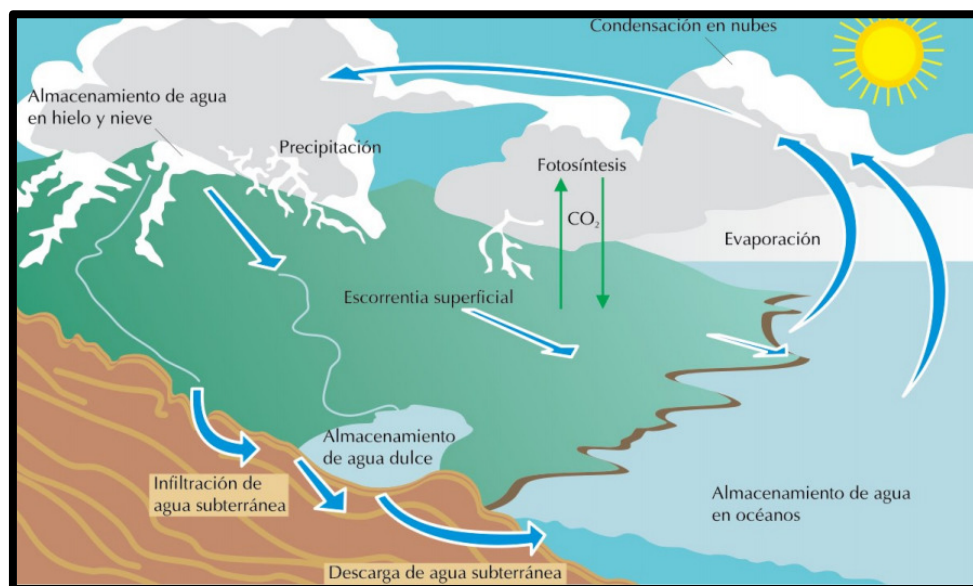
Es el ciclo fundamental para entender los procesos que se suceden en la tierra. No existe un punto de partida en el ciclo del agua en la tierra pero lo que sí está claro es que se basa en todos los estados del agua, gas, líquido y sólido. Todos los estados se presentan en la naturaleza y todas ellas son importantes de cara a los recursos humanos.

En forma gaseosa se encuentra en la atmósfera, en forma de nubes pero también en forma gaseosa transparente traducida en humedad, El agua en su caída puede volver a evaporarse, o ser interceptada por construcciones o la propia vegetación. Una vez en el suelo, agua líquida, lo humedece y en grandes cantidades llega a encharcarlo hasta que comienza a escurrir por la superficie del terreno, Por un lado el agua se infiltra en el terreno, haciendo varios recorridos que dependen de la composición del terreno, Si es permeable o impermeable.

Los principales factores que afectan al ciclo del agua son los factores climáticos; la altura del territorio, el viento, la radiación solar controlando la temperatura y la presión que influyen en la humedad del aire.

El agua líquida proveniente de las lluvias forma los torrentes y cascadas en la alta montaña para luego formar los cauces de ríos y lagos, para llegar a los océanos. El océano es el cuerpo de agua más grande que existe en la tierra y es uno de los que más influyen en el clima y su estabilidad. El agua es utilizada por los animales y las plantas, la mayor parte del agua utilizada por las especies vivas, sólo fluyen a través de su cuerpo. Volviendo a la naturaleza en el caso de la vegetación en forma de transpiración. El proceso conjunto se denomina evapotranspiración y consiste en el regreso del agua a la atmósfera en forma de vapor.⁵ Ver figura 2.1.

Figura 2.1: Ciclo Hidrológico.



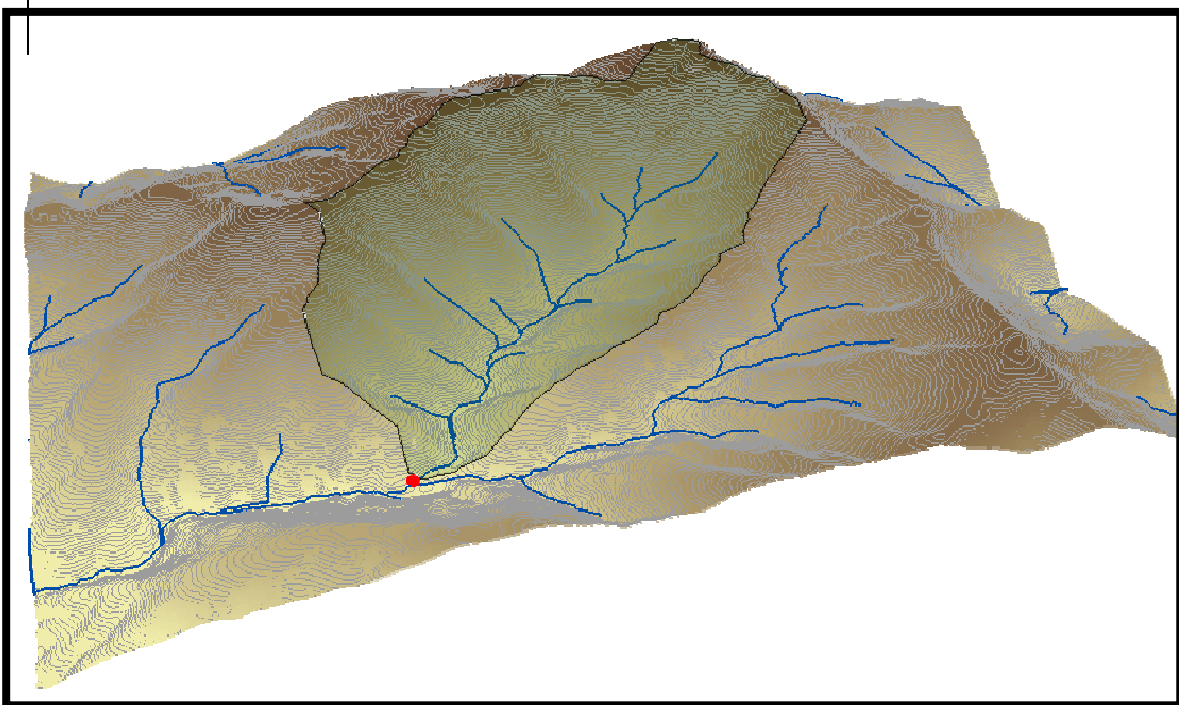
Fuente: Fundación Wikipedia. (26 Mayo 2014). Wikipedia La Enciclopedia Libre [Versión Electrónica]. http://es.wikipedia.org/wiki/Ciclo_hidrol%C3%B3gico

⁵ Allen Bateman, 1997, Hidrología Básica y Aplicada, Recuperado. <http://www.upct.es/~minaees/hidrologia.pdf>

2.2.2 Cuenca

La cuenca es aquella superficie en la cual el agua precipitada se transfiere a las partes topográficas bajas por medio del sistema de drenaje, concentrándose generalmente en un colector que descarga a otras cuencas aledañas, o finalmente al océano. Ver Figura 2.2.

Figura 2.2: Cuenca



Fuente: Geografía Al Servicio De La Acción (martes, 27de Marzo 2012).
<http://geoconceptos.blogspot.com/2012/03/delimitacion-de-cuencas-hidrograficas.html>

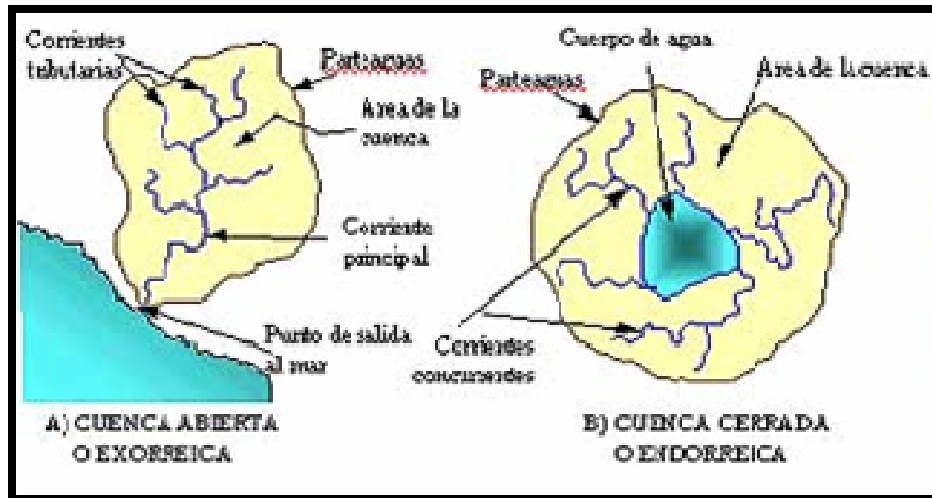
2.2.3 Principales Características de las Cuencas y los Cauces

Desde el punto de vista de su salida existen dos tipos de cuencas: exorreicas o abiertas y endorreicas cerradas.

- a) En el primer tipo, el punto de salida se localiza en los límites de la cuenca y a su vez la descarga se vierte en una corriente o en el mar.

b) En el segundo tipo, el punto de salida se ubica dentro de los límites de la cuenca y generalmente es un lago, tal como se observa en la Figura 2.3.

Figura 2.3: Cuenca Hidrográfica Exorreica y Endorreica



Fuente: Canales Elorduy, Armando. 1989. Hidrología Subterránea. Ed. Insto. Tecnológico de Sonora.

En general, para estudiar una cuenca hidrológica se requieren métodos cuantitativos y cualitativos. En el primer caso, es fundamental definir parámetros que representen algunas características particulares importantes, que pueden ofrecer una información relevante acerca de las variables y los procesos hidrológicos.

Algunos de los parámetros característicos de mayor interés se presentan a continuación:

Parteaguas: Línea imaginaria formada por los puntos de mayor nivel topográfico y que separa dos cuencas adyacentes. Ver figura 2.4.

Área de la cuenca: Es la proyección del parteaguas a un plano horizontal, caracterizándose así el tamaño de la cuenca. El valor del área se obtiene de los mapas topográficos a través del uso del planímetro o de otros métodos.

Corriente principal: Es la corriente de mayor longitud que pasa por la salida de la cuenca hidrológica. Ver figura 2.4.

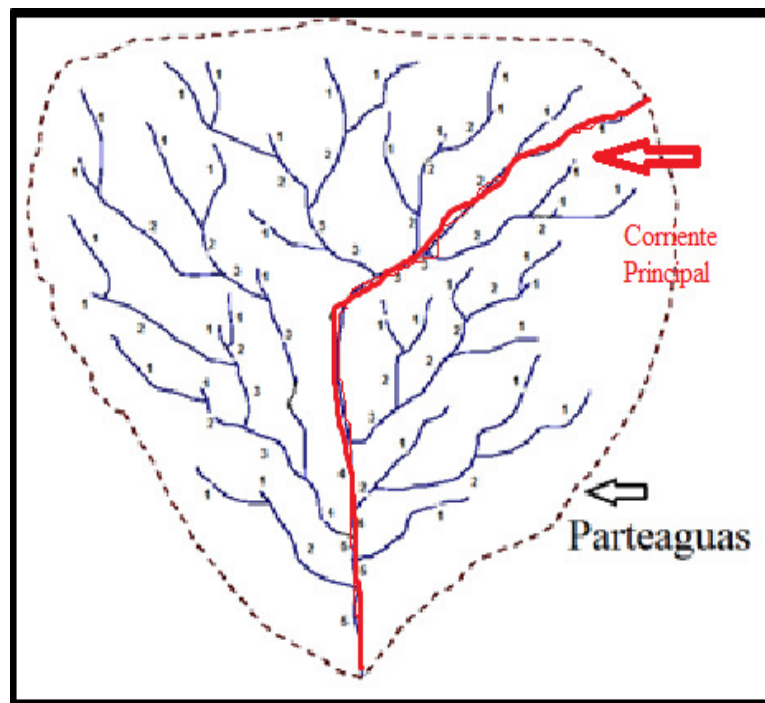
Corrientes tributarias: Serie de corrientes tributarias con un diferente grado de bifurcación.

Orden de corrientes: Se determina a partir del grado de bifurcación de las corrientes tributarias.

- a) Corriente de orden 1 es un tributario sin ramificaciones;
- b) Corriente de orden 2 solo tiene corrientes de orden uno;
- c) Y así sucesivamente dos corrientes de orden 1 forman una de orden 2, dos corrientes de orden 2 forman una de orden 3, dos corrientes de orden 3 forman una de orden 4, etc.

Longitud del eje mayor de la cuenca: Es la máxima longitud que va desde el punto de la descarga o salida de la cuenca al punto más lejano que toca la cuenca.

Figura 2.4: Parteaguas



Fuente: Hidrología Aplicada, Ven Te Chow, Mc Graw-Hill, 3era Edición.

Ancho de la cuenca: Es la longitud perpendicular a la longitud del eje mayor de la cuenca y para su estimación se miden las longitudes perpendiculares representativas de cada parte de la cuenca, tomando como referencia la recta que se ha trazado para la longitud del eje mayor.

Orientación de la cuenca: Es el ángulo de orientación a partir del norte geográfico y para su determinación se toma como punto de referencia la descarga o salida de la cuenca y utilizando la recta que representa a la longitud del eje mayor, se determina el ángulo de la orientación a partir del norte geográfico. Este parámetro es importante, ya que los sistemas de circulación atmosférica son fundamentales en lo que respecta al régimen pluviométrico de una cuenca.

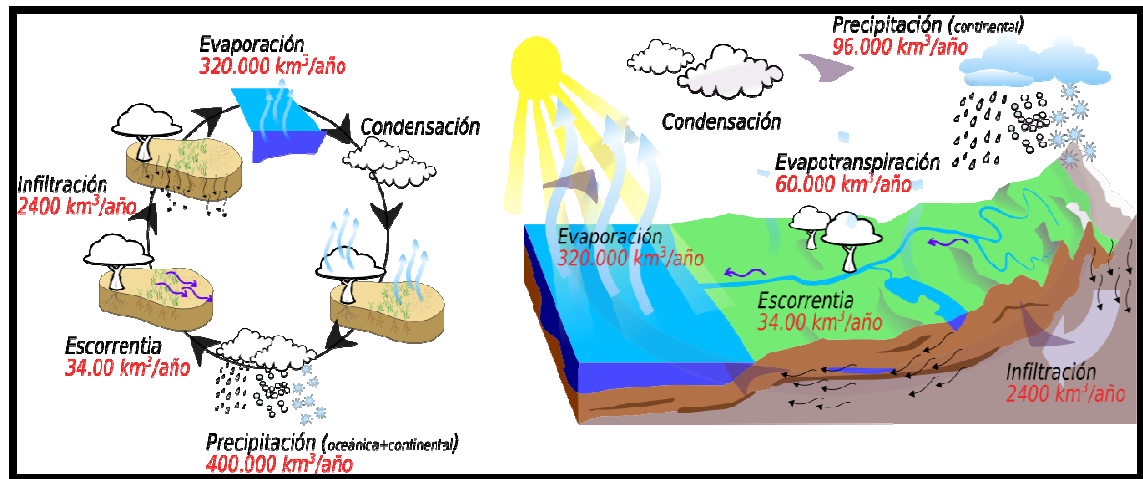
2.3 Balance Hídrico

Para determinación del balance hídrico se debe hacer referencia a los diferentes componentes y sus respectivos significados entre los cuales tenemos:

2.3.1 Definición de Balance Hídrico

Un balance hídrico analiza la entrada y salida de agua en un sector de una cuenca a lo largo del tiempo, tomando en consideración los cambios en el almacenamiento interno bajo diferentes escenarios. Ver figura 2.5

Figura 2.5: Balance Hídrico



Fuente: Fundación Wikipedia. (26 Mayo 2014). Wikipedia La Enciclopedia Libre [Versión Electrónica]. http://es.wikipedia.org/wiki/Ciclo_hidrol%C3%B3gico

2.3.2 Objetivos e importancia de los estudios del Balance Hídrico

El Balance Hídrico es un medio para solucionar problemas hidrológicos teóricos y prácticos; su determinación en lagos, cuencas superficiales y cuencas subterráneas, es fundamental para conseguir un uso más racional de los recursos de agua en el espacio y en el tiempo, así como para mejorar el control y redistribución de los mismos; por ejemplo: trasvases de cuencas, control de máximas crecidas, entre otros.

El Balance Hídrico ayuda en la predicción de las consecuencias debidas a cambios artificiales en el régimen de ríos, lagos y cuencas subterráneas; la información que proporciona para cortos períodos de tiempo en estaciones, meses, semanas y días se utiliza para explotación de embalses y para predicciones hidrológicas.

El conocimiento del Balance Hídrico es también muy importante para el estudio del Ciclo Hidrológico. Con los datos del balance hídrico es posible comparar recursos

específicos de agua en un sistema, en diferentes períodos de tiempo, y establecer el grado de su influencia en las variaciones del régimen natural. ⁶

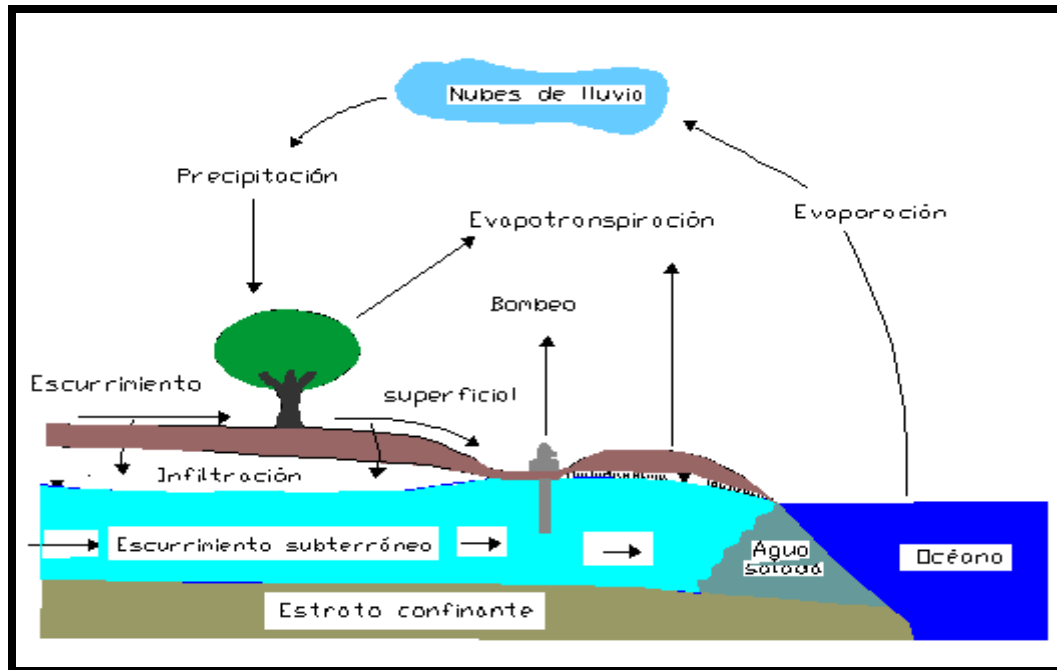
2.3.3 Ecuación del Balance Hídrico.

El estudio del Balance Hídrico en Hidrología se basa en la aplicación del principio de conservación de masas, también conocido como Ecuación de Continuidad. Esta establece que, para cualquier volumen arbitrario y durante cualquier período de tiempo, la diferencia entre las entradas y salidas estará condicionada por la variación en volumen de agua almacenada.

La ecuación del Balance Hídrico, para cualquier zona o cuenca natural (tal como la cuenca de un río) o cualquier masa de agua, se compone de los valores relativos de entrada y salida de flujo y la variación del volumen de agua almacenada en la zona o masa de agua. En general, las entradas en la ecuación del balance hídrico comprenden la precipitación **P**, en forma de lluvia, realmente recibida en la superficie del suelo, y las aguas superficiales y subterráneas recibidas dentro de la cuenca o masa de agua desde fuera Q_{sI} y Q_{uI} . Las salidas en la ecuación incluyen la evaporación desde la superficie de la masa de agua **E** y la salida de corrientes de agua superficial y subterránea desde la cuenca o masa de agua considerada Q_{sO} y Q_{uO} . Cuando las entradas superan a las salidas el volumen de agua almacenada ΔS aumenta y cuando ocurre lo contrario disminuye. Ver Figura 2.6. Por tanto, el balance hídrico para cualquier masa de agua y cualquier intervalo de tiempo, en su forma más general, vendrá representado por la siguiente ecuación:

⁶ Métodos de Cálculo del balance hídrico, Guía internacional de investigación y métodos, UNESCO, 1981

Figura 2.6: Términos del balance hídrico



Fuente: Canales Elorduy, Armando. 1989. Hidrología Subterránea. Ed. Insto. Tecnológico de Sonora

Ecuación 2.1

$$P + Q_{sI} + Q_{uI} - E - Q_{sO} - Q_{uO} - \Delta S = 0^7$$

2.3.4 Cálculo de los componentes del Balance Hídrico.

En la siguiente sección se detallara la metodología a utilizar para el cálculo de diferentes componentes del balance hídrico.

2.3.4.1 Precipitación.

La precipitación se define como los productos líquidos o solidos de la condensación del vapor de agua que cae desde las nubes o depositado desde el aire sobre la tierra. Esto incluye lluvia, granizo, nieve, rocío, escarcha, precipitaciones de escarcha y niebla. La cantidad de precipitación que llega al suelo en un período determinado se expresa en términos de la profundidad vertical de agua, o, agua

⁷ Métodos de Cálculo del balance hídrico, Guía internacional de investigación y métodos UNESCO, 1981

equivalente en el caso de formas sólidas, para la cual esta podría cubrir una proyección horizontal de superficie terrestre.⁸

La precipitación es, normalmente, la única fuente de humedad que tiene el suelo y por eso conviene que su medida y cálculo se hagan con gran precisión, pues de ello depende, en gran manera, la exactitud de todos los cálculos del balance hídrico.

Para calcular balances hídricos medios son necesarias series extensas de precipitación (alrededor de 25-50 años). Para estimar los datos que faltan es aconsejable establecer relaciones gráficas de datos observados en estaciones vecinas o usar el método de correlación.⁹

a) Medición de la Precipitación.

Los aparatos más utilizados para medir la precipitación son los Pluviómetros y los Pluviógrafos. Ver Figura 2.7, 2.8.

Los Pluviómetros proporcionan un dato puntual sobre la precipitación acumulada, estos pueden ser convencionales o automáticos, dependiendo de la forma en que se realice el registro; en los convencionales, una persona se encarga de tomar los datos cada cierto tiempo; mientras que en los automáticos, los datos se obtienen de forma digital durante intervalos de tiempo establecidos, o cada vez que se acumula una determinada cantidad de precipitación, según sea su construcción o configuración.

Los Pluviógrafos grafican de forma continua y automática la precipitación acumulada (Pluviograma), permitiendo llevar un registro más detallado y realizar cálculos más exactos.

⁸ Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation, World Meteorological Organization, 2008

⁹ (Métodos de Cálculo del balance hídrico, Guía internacional de investigación y métodos UNESCO, 1981

Figura 2.7 Pluviómetro

Figura 2.8 Fluviógrafo

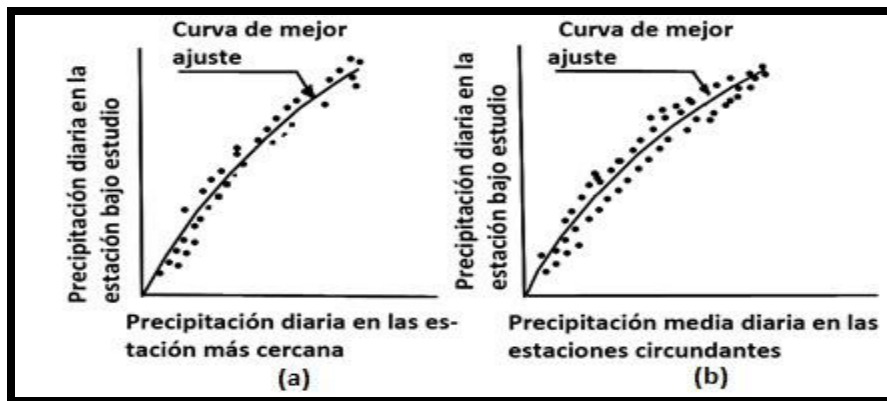


Fuente: Fundación Wikipedia. (26 Mayo 2014). Wikipedia La Enciclopedia Libre [Versión Electrónica]. <http://es.wikipedia.org/wiki/Pluvi%C3%B3metro>

b) Deducción de datos faltantes.

Es frecuente que en un registro de precipitación falten los datos de un cierto período, debido a la ausencia del operador o a fallas del aparato registrador. En estos casos se pueden estimar los datos faltantes si se tienen registros simultáneos de algunas estaciones situadas cerca de la estación en cuestión como en la Figura 2.9 a y b, donde se correlacionan las precipitaciones medias en una estación cercana o el promedio de las medidas en varias estaciones circundantes con la registrada en la estación en estudio.

Figura 2.9: Deducción de datos faltantes de Pluviógrafos



Fuente: Hidrología Aplicada, Ven Te Chow, Mc Graw-Hill, 3era Edición.

Una vez obtenida esta gráfica, y si la correlación es aceptable, bastaría conocer la precipitación media en las estaciones circundantes consideradas en los días en cuestión para deducir los datos faltantes.

Cuando la correlación obtenida del análisis anterior no es aceptable, se puede usar otro método, basado en la precipitación media anual que sigue dos tipos de criterios:

- Si la precipitación media anual en cada una de las estaciones circundantes difiere en menos del 10% de la registrada en la estación en estudio, los datos faltantes se estiman haciendo un promedio aritmético de los registrados en las estaciones circundantes.
- Si la precipitación media anual de cualquiera de las estaciones circundantes difiere en más de 10%, se usa la fórmula:

Ecuación 2.2

$$h_{px} = \left(\frac{1}{n}\right) \cdot \left[\frac{P_x}{P_1} h_{p1} + \frac{P_x}{P_2} h_{p2} + \dots + \frac{P_x}{P_n} h_{pn}\right]$$

Dónde:

h_{pi} = altura de precipitación registrada el día en cuestión en la estación auxiliar i .

h_{px} = altura de precipitación faltante en la estación en estudio.

p_i = precipitación media anual en la estación auxiliar i .

p_x = precipitación media anual en la estación en estudio.

n = número de estaciones auxiliares.

Para obtener resultados confiables, es recomendable que el número de estaciones auxiliares n sea como mínimo tres.

c) Precipitación Media.

En general, la altura de lluvia que cae en un sitio dado difiere de la que cae en los alrededores aunque sea en sitios cercanos. El Pluviómetro y el Pluviógrafo registran lluvia puntual, es decir, la que se produce en el punto en que está instalado el aparato y, para los cálculos ingenieriles, es necesario conocer la lluvia media en una zona dada, como puede ser una cuenca.

d) Cálculo de la Precipitación Media sobre una zona.

- Método aritmético.

Consiste simplemente en obtener el promedio aritmético de las alturas de precipitación registradas en cada estación usada en el análisis:

Ecuación 2.3

$$\bar{P} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i$$

Dónde:

\bar{P} = es la altura de precipitación media.

P_i = es la altura de precipitación registrada en la estación i .

n = es el número de estaciones bajo análisis.

- Polígonos de Thiessen.

Este método consiste en lo siguiente:

1. Unir, mediante líneas rectas dibujadas en un plano de la cuenca las estaciones más próximas entre sí. Ver líneas discontinuas en la figura 2.10. Con ello se forman triángulos en cuyos vértices están las estaciones pluviométricas.

2. Trazar líneas rectas que bisectan los lados de los triángulos. Por geometría elemental, las líneas correspondientes a cada triángulo convergerán en un solo punto. Ver líneas rectas continuas en la figura 2.10.

3. Cada estación pluviométrica quedará rodeada por las líneas rectas del paso 2, que conforman los llamados polígonos de Thiessen y, en algunos casos, en parte por el parteaguas de la cuenca. Ver figura 2.10 El área encerrada por los polígonos de Thiessen y el parteaguas será el área de influencia de la estación correspondiente.

- Método de las Isoyetas

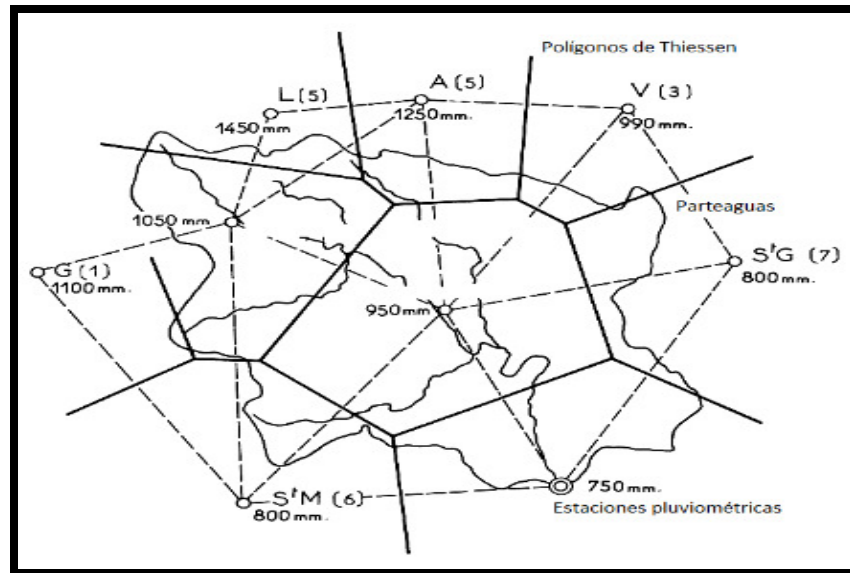
Este método consiste en trazar, con la información registrada en las estaciones, líneas que unen los puntos de igual altura de precipitación llamadas isoyetas, de modo semejante a como se trazan las curvas de nivel en topografía. Ver Figura 2.11 La precipitación media se calcula en forma similar a la Ecuación 2.3 pero ahora el peso es el área A' , entre cada dos isoyetas y el parteaguas de la cuenca y la cantidad que se pesa es la altura de precipitación promedio entre dos isoyetas, \bar{P} :

Ecuación 2.4

$$\bar{P} = \left(\frac{1}{A_T} \right) \sum_{i=1}^{n'} (\bar{P}_i A'_i)$$

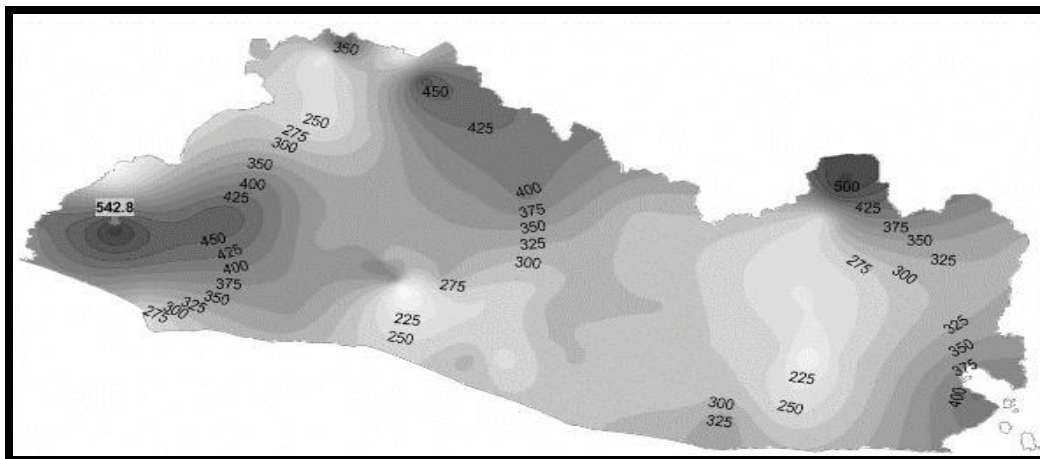
Dónde: n' es el número de áreas A'_i consideradas

Figura 2.10: Polígonos de Thiessen



Fuente: Cornejo A. & Córdova O. (201). *Causas de Inundación del área natural protegida laguna El Jocotal, Ubicada en la cuenca del rio Grande de San Miguel. Universidad de El Salvador, San Salvador, El Salvador.*

Figura 2.11: Curvas isoyetas



Fuente: Cornejo A. & Córdova O. (201). *Causas de Inundación del área natural protegida laguna El Jocotal, Ubicada en la cuenca del rio Grande de San Miguel. Universidad de El Salvador, San Salvador, El Salvador.*

El uso del método aritmético es recomendable únicamente para zonas con topografía muy suave y condiciones atmosféricas muy uniformes, o bien para tener sólo una idea aproximada de la altura de precipitación media.

El método de los polígonos de Thiessen es más conveniente que el de las isoyetas desde el punto de vista práctico, particularmente para cálculos repetitivos como cuando se analiza una gran cantidad de tormentas, pues los polígonos no cambian a menos que se agreguen o se eliminen estaciones.

El método de las isoyetas es el más preciso y laborioso de todos, pues cada tormenta tiene un plano de isoyetas diferente, y estas deben de trazarse tomando en cuenta los efectos que la topografía tiene en la distribución de la lluvia.

La altura de precipitación media calculada depende en general del número de estaciones pluviométrica o pluviográficas que se usan en el análisis; entre menor sea el número de estaciones, mayor será el error cometido en la estimación de la precipitación media.

2.3.4.2 Infiltración.

Infiltración se define como el movimiento del agua, a través de la superficie del suelo y hacia adentro del mismo, producido por la acción de las fuerzas gravitacionales y capilares.

La diferencia entre el volumen de agua que llueve en una cuenca y el que escurre por su salida recibe el nombre genérico de pérdidas. En general, las pérdidas están constituidas por la intercepción en el follaje de las plantas y en los techos de las construcciones, la retención en depresiones o charcos, que posteriormente se evapora o se infiltra, la evaporación y la infiltración. Además de que en la práctica es difícil separar estos cuatro componentes, la porción más considerable de las pérdidas está dada por la infiltración, por lo que es costumbre calcularlas conjuntamente bajo este nombre.

En general, el volumen de infiltración es varias veces mayor que el de escurrimiento durante una tormenta dada, especialmente en cuencas con un grado de urbanización relativamente bajo.¹⁰

Recarga de Agua Subterránea (Método RAS)

Se entiende como recarga de agua subterránea o recarga acuífera a la infiltración del agua superficial que pasa la zona no-saturada del subsuelo, y que llega a la zona saturada de agua subterránea para formar parte de un acuífero.

El Método RAS es un procedimiento simplificado que determina un valor teórico aproximado de la recarga acuífera, estimando la disponibilidad de agua en la atmósfera para una cuenca a través de la precipitación, la evapotranspiración real y un coeficiente de infiltración; sin tomar en cuenta los flujos laterales y circulantes en la zona no-saturada.

Principalmente la recarga acuífera depende de los siguientes criterios:

- Precipitación
- Evaporación/Transpiración
- Geología, Sistema de Fallas
- Subsuelo, Textura del substrato
- Vegetación
- Uso de Suelo
- Topografía, Pendientes/Escurrimiento
- Profundidad hacia el acuífero

La ecuación del Método RAS es la siguiente:

¹⁰ Fundamentos de Hidrología de Superficie, Francisco Javier Aparicio Mijares, 1997

Ecuación 2.5

$$R=BC*C$$

Dónde:

R = Recarga Subterránea o Recarga Acuífera (mm/año).

BC = Balance Climático (mm/año).

C = Coeficiente de Infiltración (adimensional).

Balance Climático (BC): es la transferencia neta de agua que se da entre la atmósfera y el suelo, y se calcula con la siguiente ecuación:

Ecuación 2.6

$$BC=P-ETr$$

Dónde:

P = Es la precipitación obtenida a través de un mapa de isoyetas realizado con las precipitaciones promedios de los últimos 30 años (mm/año).

ETR = Es la evapotranspiración real obtenida a través de un mapa de isolineas (mm/año).

Coeficiente de Infiltración (C): es un valor adimensional que expresa la infiltración potencial para una zona dada. Este valor se encuentra entre 0.11 y 0.90, sin poder llegar al 100%, ya que se estiman en 10% los factores no calculados como precipitaciones inefectivas e influencia de actividad humana:

Ecuación 2.7

$$C=k_p+k_v+k_{fc}$$

Dónde:

k_p = Indica la fracción del Balance Climático (BC) que se infiltra por efecto de la pendiente del terreno. Las zonas a las que se aplica este factor se obtienen de un mapa de distribución de la pendiente en porcentaje. Según la Tabla 2.1

K_v = Indica la fracción del BC que se infiltra por efecto de la cobertura vegetal. Las zonas a las que se aplica este factor se obtienen de un mapa de distribución de uso de suelos. Según la Tabla 2.2

K_{fc} = Indica la fracción del BC que se infiltra por efecto de la textura del suelo. Las zonas a las que se aplica este factor se obtienen de un mapa de tipos de suelos, en el que se combinan textura, origen y estado de consolidación. Según Tabla 2.3

Tabla 2.1: Coeficientes topográficos utilizados en el método RAS.

Pendiente	Kp	Profundidad hacia el agua subterránea
Muy plano	0.40	
<15%	0.15	2-1m
15-30%	0.10	
30-50%	0.07	<1m
50-70%	0.05	Tejido urbano cerrado, zonas comerciales, etc.
>70%	0.01	

Tabla 2.2: Coeficiente vegetativos utilizados en el método RAS.

Por cobertura vegetal	Kv
Cuerpos de agua.	0.00
Salineras.	0.05
Playas, dunas y arena.	0.07
Pasto natural, zonas urbanas discontinuas, caña, granos básicos, etc.	0.10
Coníferas, palmeras, zonas urbanas verdes, etc.	0.15
Vegetación arbustiva, platanales y bananeras, tejido urbano, zonas comerciales, aeropuertos etc.	0.18
Bosques de café.	0.19
Bosques, lava reciente, etc.	0.20
Vegetación esclerófila o espinosa y cultivos de piña.	0.30

Tabla 2.3: Coeficientes de texturas de suelos utilizados en el método RAS.

Por textura de suelo	Kfc
Suelos arcillosos, latosote de altura, zonas urbanas, suelos compactos impermeables.	0.10
Suelos de limo y arcilla combinados, litosoles y regosolo de valles.	0.15
Suelo arenoso, suelos recientes, suelos de cauces de ríos, suelos no muy compactos.	0.20

2.3.4.3 Escurrimiento.

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 ser drenada hasta la salida de la cuenca.

El escurrimiento puede presentarse de tres maneras:

- Escurrimiento superficial: Es el que llega más rápido a la salida de la cuenca y proviene de la precipitación neta o efectiva, por lo que puede relacionarse con una tormenta en particular.
- Escurrimiento subsuperficial: Depende de la permeabilidad de los estratos superiores del suelo; si estos son muy permeables, se le trata junto al escurrimiento superficial, y si son poco permeables, junto al escurrimiento subterráneo. Por ello es muy difícil distinguirlo entre los otros dos tipos.
- Escurrimiento subterráneo: Es el que llega de manera más lenta a la salida de la cuenca y difícilmente es asociable a una tormenta en particular ya que puede tardar años en su recorrido.

a) Relaciones Lluvia – Escorrentía.

En general, los registros de precipitación son más abundantes que los de escurrimiento, y no se ven afectados por cambios en la cuenca, como construcción de obras de almacenamiento y derivación, talas, urbanización, etc. De modo que es conveniente contar con métodos que permitan determinar el escurrimiento en la cuenca mediante las características de la misma y la precipitación.

Los principales parámetros que intervienen en el proceso de conversión de lluvia a escurrimiento son los siguientes:

1. Área de la cuenca.
2. Altura total de precipitación.
3. Características generales o promedio de la cuenca (forma, pendiente, vegetación, etc.).
4. Distribución de la lluvia en el tiempo.
5. Distribución en el espacio de la lluvia y de las características de la cuenca.¹¹

b) Aforos.

Aforar una corriente significa determinar a través de mediciones el caudal que pasa por una sección dada.¹²

- Método de Relación Sección – Velocidad.

Consiste en medir la velocidad en varios puntos de la sección transversal y después calcular el caudal por medio de la ecuación de continuidad.

Ecuación 2.8

$$Q=vA$$

La velocidad del flujo en una sección transversal de una corriente tiene una distribución como la que se muestra en la figura 2.12.

¹¹ Fundamentos de Hidrología de Superficie, Francisco Javier Aparicio Mijares, 1997

¹² Fundamentos de Hidrología de Superficie, Francisco Javier Aparicio Mijares, 1997

Para determinar el caudal no es suficiente entonces medir la velocidad en un solo punto, sino que es necesario dividir la sección transversal del cauce en varias subsecciones llamadas dovelas.

El caudal que pasa por cada dovela es:

Ecuación 2.9

$$q_i = a_i v_{mi}$$

Dónde: a_i es el área de la dovela i y v_{mi} es la velocidad media en la misma dovela.

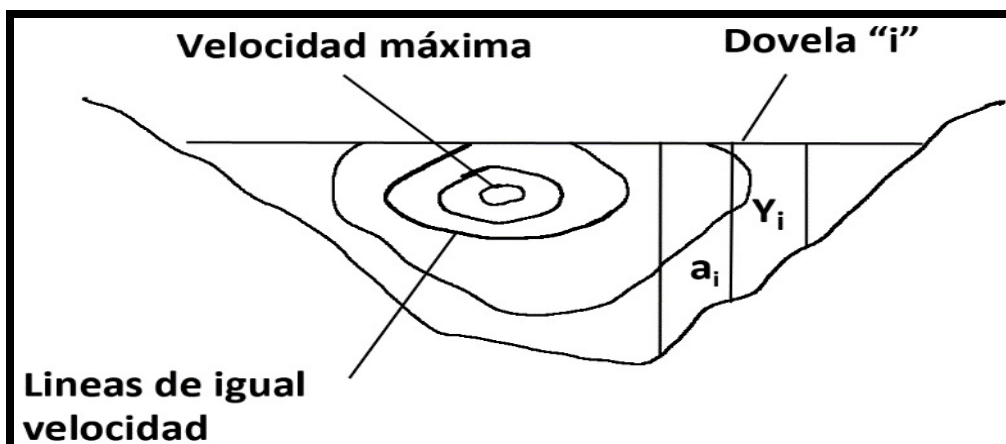
Entonces, el gasto total será:

Ecuación 2.10

$$Q = \sum_{i=1}^n q_i$$

Dónde: n es el número de dovelas.

Figura 0:1.12: Aforo por el método de la relación Sección-Velocidad



Fuente: Cornejo A. & Córdova O. (201). *Causas de Inundación del área natural protegida laguna El Jocotal, Ubicada en la cuenca del río Grande de San Miguel. Universidad de El Salvador, San Salvador, El Salvador.*

- Aforo con Flotadores.

El método de flotadores es el más sencillo, pero en general es muy inexacto, por lo que se recomienda utilizarlo lo menos posible. Para el aforo con flotadores se debe escoger una sección recta del río o canal y medir y demarcar una distancia conocida a lo largo del mismo; se debe colocar suavemente sobre la superficie del agua un elemento flotante en el canal y simultáneamente activar el cronometro y medir el tiempo transcurrido hasta que el objeto termine de recorrer la distancia asignada. Repetir este proceso varias veces y calcular el promedio. El objeto flotante debe ser arrojado suavemente sobre la corriente, para que este no le imprima una fuerza adicional que pueda afectar la medición.

La velocidad del agua se calcula de la siguiente manera:

Ecuación 2.11

$$V = x/t$$

Dónde:

V = Velocidad superficial, m/s.

x = Longitud recorrida por el elemento flotante, m.

t = Tiempo de recorrido del elemento flotante, s.

El caudal se calcula de la siguiente manera:

Ecuación 2.12

$$Q = nVA$$

Dónde:

Q = Caudal, m³/s.

V = Velocidad superficial, m/s.

A = Área transversal promedio, m².

n = Factor que depende del material del fondo del canal.

Tabla 2.4: Factores de corrección de caudal para aforos con flotador.

N	Tipo de fondo
0.4-0.52	Poco áspero
0.46-0.75	Grava con hierba y caña
0.58-0.7	Grava gruesa y piedras
0.7-0.9	Madera, hormigón o pavimento
0.62-0.75	Grava
0.65-0.83	Arcilla y arena

Fuente: Instituto de Hidrología, Mitología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM)

2.3.4.4 Evaporación y Evapotranspiración.

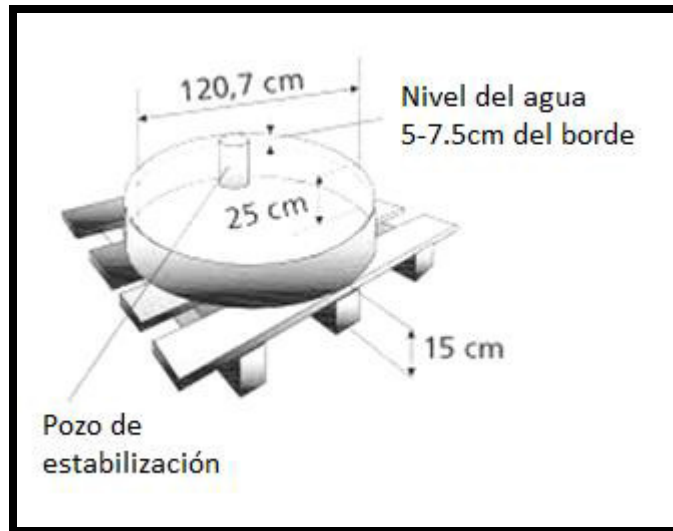
a) Evaporación.

Es el proceso por el cual el agua pasa del estado líquido en que se encuentra en los almacenamientos, conducciones y en el suelo, en las capas cercanas a su superficie, ha estado gaseoso y se transfiere a la atmósfera.

- Medición de la evaporación.

La evaporación puede medirse por medio de evaporímetros, que básicamente están formados por un recipiente en el que se coloca cierta cantidad de agua y se mide, diariamente o con la frecuencia que se estime conveniente. Ver figura 2.13.

Figura 2.13: Evaporímetro Clase A.



Fuente: Cornejo A. & Córdova O. (201). *Causas de Inundación del área natural protegida laguna El Jocotal, Ubicada en la cuenca del río Grande de San Miguel. Universidad de El Salvador, San Salvador, El Salvador.*

- Cálculo de la evaporación en lagos y embalses.

Cuando no hay disponibilidad de datos climáticos, el método más empleado para estimar la evaporación es el tanque evaporímetro, habitualmente el denominado Clase A. Comparando los valores de la tasa de evaporación en tanques evaporímetros E_{pan} y en embalses E_{res} , se determinan experimentalmente los valores del coeficiente del tanque K_{pan} . El valor anual de esta constante de proporcionalidad varía entre 0.6 y 0.8, usando comúnmente el valor medio de 0.7; lo que implica que la evaporación en tanques es mayor que en los embalses; esto, debido a que las paredes del tanque transfieren mayor calor a la masa de agua.

Ecuación 2.13

$$E_{res} = K_{pan} \cdot E_{pan}$$

b) Transpiración.

Es el agua que se despiden en forma de vapor de las hojas de las plantas. Esta agua es tomada por las plantas naturalmente del suelo.

c) Evapotranspiración o Uso Consuntivo.

La evapotranspiración es la combinación de evaporación y transpiración, mientras que el uso consuntivo es la combinación de evapotranspiración y el agua que las plantas retienen para su nutrición. Esta última cantidad es pequeña en comparación con la evapotranspiración (aproximadamente representa sólo el 1%), por lo que los términos evapotranspiración y uso consuntivo se usan como sinónimos.¹³

- Evapotranspiración Potencial del cultivo de referencia (Eto).

Se define como “la tasa de evaporación en mm/día de una extensa superficie de pasto (grama) verde de 8 a 15 cm de altura, en crecimiento activo, que sombrea completamente la superficie del suelo y que no sufre escasez de agua”.

- La Evapotranspiración Real (ETR).

Es la que se produce realmente en las condiciones existentes en cada caso, y no bajo las condiciones de humedad óptimas planteadas en la Evapotranspiración Potencial, tomando en cuenta el agua disponible en el suelo y las condiciones ambientales en las que se desarrolla el cultivo determinado.

La evapotranspiración real de un cultivo, en cierto momento de su ciclo vegetativo, puede expresarse como:

¹³ Fundamentos de Hidrología de Superficie, Francisco Javier Aparicio Mijares, 1997

Ecuación 2.14:

$$ETR = E_{to} \cdot k$$

Dónde:

k = coeficiente que representa la fase vegetativa del cultivo y el nivel de humedad en el suelo.

En un suelo sin limitación alguna para la producción, en lo que respecta a condiciones físicas, fertilidad y salinidad, k puede calcularse de la siguiente manera:

Ecuación 2.15:

$$k = k_c \cdot k_h$$

Dónde:

k_c = coeficiente de cultivo.

k_h = coeficiente de humedad del suelo.

(Eduardo A. Chávarri Velarde, 2004)

- Método de Hargreaves.

El método de Hargreaves (Hargreaves y Samani, 1985), utiliza parámetros térmicos y de radiación solar, que estima a partir de la radiación solar extraterrestre, datos disponibles en cualquier observatorio termométrico. El método presenta la ventaja de que se puede aplicar en cualquier observatorio con datos de temperatura, y que el método da resultados muy correlacionados con los obtenidos con el método de Penman.

Ecuación 2.16:

$$E_{to} = 0.0023 \cdot Ra \cdot (T - t)^{0.5} \cdot (T_m + 17.88)$$

Dónde:

E_{to} = evapotranspiración del cultivo de referencia (césped) en mm/día

R_a = radiación solar extraterrestre expresada en equivalente de agua (mm/día)

$T-t$ = diferencia entre la media mensual de temperaturas máximas y mínimas (°C)

T_m = temperatura media del aire (°C)

Para la conversión de unidades se tendrá en cuenta que:

$$1 \text{ cal} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{día}^{-1} = 4.185 \text{ J} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{día}^{-1} = 0.04185 \text{ MJ} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{día}^{-1} = 0.0171 \text{ mm/día}$$

$$1 \text{ mm/día} = 2.45 \text{ MJ} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{día}^{-1} = 58.5 \text{ cal} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{día}^{-1}.$$

2.4 Parámetros de Calidad del Agua.

En el caso de la Laguna Cuscachapa si se quisiese reactivar el proyecto turístico se debe tomar en consideración la calidad del agua, esta debe estar dentro de los Límites permisibles de Calidad de Agua para el contacto humano y/o actividades recreativas sugeridos por la Organización Mundial para la Salud.

Por tanto se realizó un muestreo de algunas de las características físico químicas y biológicas de la laguna Cuscachapa en dos puntos, el primero de ellos ubicado a 50 mts de la orilla sur, cercana a los manantiales identificados véase Anexo 8 y el otro punto fue situado en el centro de la laguna Cuscachapa, véase Anexo 9, los parámetros tomados en cuenta para el muestreo fueron:

- Coliformes Fecales: Los Coliformes fecales son microorganismos con una estructura parecida a la de una bacteria común que se llama *Escherichia coli* y se transmiten por medio de los excrementos
- Coliformes Totales: No todos los Coliformes son de origen fecal, por lo que se hizo necesario desarrollar pruebas para diferenciarlos a efectos de emplearlos como indicadores de contaminación. Se distinguen, por lo tanto, los Coliformes totales que comprende la totalidad del grupo y los Coliformes fecales aquellos de origen intestinal

Desde el punto de vista de la salud pública esta diferenciación es importante puesto que permite asegurar con alto grado de certeza que la contaminación que presenta el agua es de origen fecal.

- Demanda Biológica de Oxígeno, DBO: es un parámetro que mide la cantidad de materia susceptible de ser consumida u oxidada por medios biológicos que contiene una muestra líquida, disuelta o en suspensión. Se utiliza para medir el grado de contaminación; normalmente se mide transcurridos cinco días de reacción
- Demanda Química de Oxígeno, DQO: es un parámetro que mide la cantidad de sustancias susceptibles de ser oxidadas por medios químicos que hay

disueltas o en suspensión en una muestra líquida. Se utiliza para medir el grado de contaminación

De estos análisis bacteriológicos podemos concluir que la calidad de agua es aceptable para uso turístico y recreativo, debido a que los niveles de Coliformes fecales están por debajo de los límites y cumple con los parámetros aceptables de Coliformes fecales propuestos por la Organización Mundial de la Salud, véase tabla 2.5

Tabla 2.5 Parámetros de calidad de agua deseables para actividades recreativas establecidas por la OMS

NORMA APLICABLE	PARÁMETRO	RANGO
NORMA OMS PARA ACTIVIDADES RECREATIVAS	Coliformes fecales	Menor o igual a 1000 NMP/100ml
	Oxígeno Disuelto	Mayor o igual a 7 mg/L
	Turbidez	Menor o igual a 10 UNT

Fuente: Informe de la calidad del agua de los ríos de El Salvador Año 2010, Ministerio de Medio Ambiente

Por otra parte los resultados obtenidos de la DQO y DBQO, indican que no hay una contaminación peligrosa para ecosistema acuático de la laguna Cuscachapa ya que los niveles de oxígeno permiten un desarrollo normal, basado en los parámetros establecidos por el reglamento especial normas técnicas calidad ambiental, véase figura 2.6

Tabla 2.6 *Parámetros de calidad de agua.*

PARÁMETRO	LÍMITE
Bacterias	Que no excedan de una densidad mayor a los 5000 UFC por 100 ml de muestra analizada
Coliformes Totales	
Coliformes Fecales	
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO'5)	No debe permitirse que el nivel de oxígeno disminuya de 5 mg/L
Oxígeno disuelto	Igual o mayor de 5mg/L
PH	Debe mantenerse en un rango de 6.5 a 7.5 unidades o no alterar en 0.5 unidades de PH el valor ambiental natural.

Fuente: reglamento especial normas técnicas calidad ambiental Ministerio de Medio Ambiente

El complejo turístico de la Laguna Cuscachapa contaba con canopy, los cables de acero aún son visibles estos fueron instalados en los arboles de gran tamaño y diámetro, se recomienda retirar los cables y bases del canopy, con la finalidad de proteger la integridad de los árboles que no fueron afectados por la inundación, y así hacer al proyecto amigable con el medio ambiente.

CAPÍTULO 3
PRINCIPALES
CARACTERÍSTICAS
FÍSICAS DE LA
LAGUNA
CUSCACHAPA

3.1 Introducción

En este capítulo se abordara todo lo relacionado a las características físicas principales de la Laguna Cuscachapa, como lo son afluentes, efluentes y el estudio batimétrico realizado en la Laguna Cuscachapa para conocer la situación actual de la profundidad de la laguna después de ser afectada por el evento climatológico de la tormenta 12-E, y ser comparada con niveles históricos conocidos de la laguna.

3.2. Geología e Hidrogeología de la Laguna Cuscachapa

En la micro cuenca de la laguna Cuscachapa se puede encontrar la formación geológica San Salvador la cual está constituida por piroclastitas acidas, epiclastitas volcánicas o tobas color café y efusivas basálticas, las cuales rodean la laguna Cuscachapa. Véase la figura 3.1 y 3.2

Los depósitos sedimentarios que consiste en rocas de textura clástica y estructura suelta de diferente granulometría se pueden encontrar específicamente al este de la laguna Cuscachapa¹⁴, véase la figura 3.1 y 3.2

Las características hidrogeológicas estudian las aguas subterráneas en lo relacionado con su circulación, sus condicionamientos geológicos y su captación; encontrándose que la laguna Cuscachapa se encuentra en una zona donde las formaciones hidrogeológicas son volcánicas antiguas de reducida permeabilidad.

¹⁴ (“Estudio de Saneamiento y Sedimentación para la Protección y Conservación de la Laguna de Cuzcachapa”. L. Ramírez, H. Santamaría, C. Viana, Abril 1999, UES)

Figura 3.1. Geología de tipo efusivas basálticas en la zona este de la laguna Cuscachapa.



Fuente: Equipo de trabajo de investigación, fecha de la captura de la imagen, 13 de mayo de 2014.

Figura 3.2: Geología de tipo efusivas basálticas en la zona este de la laguna Cuscachapa.



Fuente: Equipo de trabajo de investigación, fecha de la captura de la imagen, 13 de mayo de 2014.

3.3 Hidrografía de la Laguna Cuscachapa

Con la realización de entrevistas a personal de la Alcaldía Municipal de Chalchuapa y personas residentes de los alrededores de la Laguna Cuscachapa se pudo constatar que el nivel de agua varía en la estación lluviosa, esto debido al ingreso de caudal proveniente de dos afluentes principales permanentes y al incremento en la precipitación en el área de influencia a la Laguna Cuscachapa.

A continuación se describen los afluentes y efluentes más importantes para la investigación.

3.3.1 Afluente

La laguna Cuscachapa cuenta con dos afluentes principales, los cuales según los pobladores han sufrido cambios en su caudal después de la tormenta 12-E registrada en 2011, estos afluentes están ubicados en la parte sur-este de la laguna a 1.2 m del espejo de agua actual, véase la figura 3.3

Figura 3.3: Ubicación de Afluentes, Laguna Cuscachapa



Fuente: Equipo de trabajo de investigación, imagen tomada de Google Earth

En el afluente existente identificado antes a la tormenta 12-E ubicado en las coordenadas $13^{\circ}58'56.08''$ N y $89^{\circ}40'14.19''$ O se forma una pequeña poza en lo que era antes la antigua calle perimetral y de esta se deriva la corriente hacia la laguna, véase figura 3.4, este afluente según manifiestan los pobladores de la zona y personal de la alcaldía municipal es el más antiguo que se tiene registrado, este incremento su aportación de caudal después de la tormenta 12-E.

Se realizó un aforo de este afluente y el resultado de aportación de caudal a la fecha 13 de mayo de 2014 es de 3 L/min ó 0.003 m³/seg.

Figura 3.4: Poza en afluente posterior a tormenta 12-E



Fuente: Equipo de trabajo de investigación, fecha de la captura de la imagen, 13 de mayo de 2014.

El afluente identificado posteriormente a la tormenta 12-E ubicado en las coordenadas 13°58'56.97"N y 89°40'12.30"O, es el afluente que manifiestan los residentes de la zona y la personería de la Alcaldía Municipal de Chalchuapa, surgió tras el evento de la tormenta 12-E, este posee una aportación de caudal menor a la del afluente antiguo, este se encuentra aproximadamente a unos 5 metros del espejo de agua de la Laguna Cuscachapa véase figura 3.5, creando este un flujo desde su inicio hasta la laguna, cuyo caudal aforado fue de 2.5 L/min ó 0.0025 m³/seg. a la fecha del 13 de mayo de 2014.

Figura 3.5: Poza en afluente posterior a tormenta 12-E



Fuente: Equipo de trabajo de investigación, fecha de la captura de la imagen 13 de mayo de 2014.

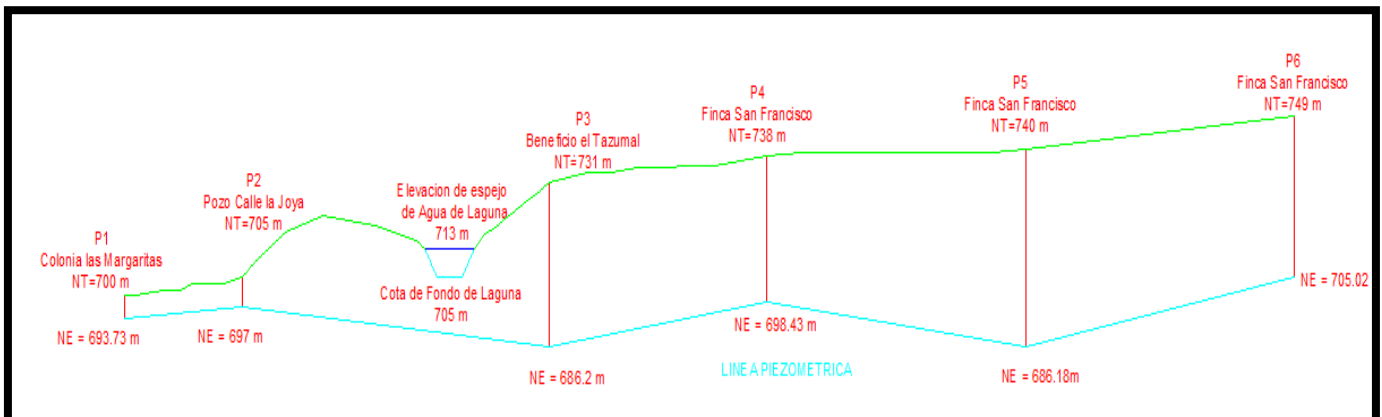
3.3.2. Efluentes

La laguna Cuscachapa debido a su configuración topográfica no presenta un efluente superficial, esto debido a que se encuentra confinada por estratos rocosos de 15 m de altura sobre el nivel de la superficie del espejo de agua; pero si se puede suponer que presenta un efluente subterráneo formado en alguna fractura del estrato rocoso lo cual genera un caudal de salida constante.

Para el análisis hipotético de la existencia de este efluente en la laguna fue necesario conocer el perfil piezométrico del acuífero en el cual está situada la laguna, y el nivel piezométrico de esta última.

Para la determinación del nivel piezométrico del acuífero fue necesario obtener datos de niveles freáticos los cuales corresponden al nivel superior de un acuífero y niveles estáticos que es la distancia del suelo al nivel de espejo de agua sin que esté funcionando la bomba de pozos cercanos a la zona de estudio, algunos de estos datos fueron proporcionados por la Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados, ANDA, y también de la recolección de datos obtenidos en campo en pozos privados en los sectores aledaños, véase tabla 3.1; y para el nivel piezométrico de la laguna se apoyó en los datos obtenidos en el levantamiento batimétrico realizado por el grupo de investigación, véase imagen 3.6

Figura 3.6: Perfil Piezométrico del Acuífero de Chalchuapa



Fuente: Equipo de trabajo de investigación

Tabla 3.1: Inventario de pozos

N° Pozo	Ubicación	Coordenada Norte (Lambert, El Salvador)	Coordenada Este (Lambert, El Salvador)	Elevación del terreno (m.s.n.m)	Profundidad en metros	Nivel Estático (m.s.n.m)	Fuente
1	Colonia las Margaritas	318764	427646	700	6.27	693.73	Datos de campo
2	Finca San Francisco	317196	427857	738	39.57	698.43	ANDA
3	Finca el Socorro, Cantón el Cuje	316600	428200	749	43.98	705.02	ANDA
4	Beneficio El Tazumal, Lomas del Calvario	317243	426476	731	44.8	686.2	ANDA
5	Cantón la Libertad, Chalchuapa	316750	425400	740	53.82	686.18	ANDA
6	Pozo privado en calle La Joya	318630	427680	705	8	697	Datos de Campo

Fuente: Equipo de trabajo de investigación

El resultado del perfil piezométrico realizado nos indica que el fondo de la laguna Cuscachapa se encuentra por encima del nivel piezométrico del acuífero, con lo cual se puede concluir que el acuífero y la laguna son sistemas que están interrelacionados pero no influye el acuífero considerablemente en la entrada de caudal debido a que este solo aporta una mínima cantidad de agua por fracturas en las paredes de efusivas basálticas que rodean la laguna, mas sin embargo la laguna influye en la aportación de caudal al acuífero mediante infiltración a través de fracturas en el estrato rocoso.

El cálculo del caudal del efluente se describiré en el capítulo 4 de esta investigación.

3.3.3. Batimetría de la Laguna Cuscachapa

Para la realización del estudio de las características físicas de la Laguna Cuscachapa es necesario conocer la batimetría de la laguna, la cual es el equivalente submarino de la altimetría, para la realización de esta se tomaron en cuenta las siguientes consideraciones:

- Establecimiento de un punto con elevación fija como banco de marca
- Instalación de un limnómetro
- Se realizó un reconocimiento del perímetro actual de la laguna en el cual se realizó una caminata en perímetro y el contorno navegable con una profundidad cero. En esta etapa no se tomó ninguna lectura de profundidad
- El espejo de agua de la laguna tiene aproximadamente 215 mts de ancho por 345 mts de longitud, por lo cual se conformó una grilla batimétrica con estaciones a cada 40 mts, delimitado por el contorno navegable de la laguna.

Debido a los cambios en el nivel de agua de la laguna Cuscachapa fue necesario realizar un recorrido en tierra para delimitar el nuevo contorno de la laguna, para lo

cual se utilizó un instrumento de GPS Garmin para obtener coordenadas y contorno, además a esto se utilizó un distanciometro para obtener la distancia de lo inundado en la antigua calle perimetral y las alturas de las paredes que rodean la laguna Cuscachapa véase figura 3.7

Figura 3.7: Recorrido del contorno de laguna Cuscachapa



Fuente: Equipo de trabajo de investigación, fecha de la captura de la imagen 26 de julio de 2014.

Para la obtención de diferencia de profundidad entre el fondo de la laguna y el espejo de agua se realizó un recorrido sobre el área de la laguna dejando caer un recipiente cerrado de un galón de capacidad con arena como peso muerto sujetado por una cuerda marcada a cada metro, véase figura 3.8, en los puntos sondeados se realizó la toma de profundidad y su coordenadas para posteriormente procesar los datos obtenidos.

Figura 3.8: Herramientas utilizadas para batimetría en laguna Cuscachapa



Fuente: Equipo de trabajo de investigación, fecha de la captura de la imagen 31 de julio de 2014.

La toma de medición de profundidades se realizó en balsas de pedal proporcionada por la Alcaldía Municipal de Chalchuapa, véase figura 3.9

Figura 3.9: Balsas utilizadas para batimetría en laguna Cuscachapa



Fuente: Equipo de trabajo de investigación, fecha de la captura de la imagen 31 de julio de 2014

3.3.3.1. Punto con elevación fija e instalación de limnómetro

El punto de elevación fija o banco de marca fue establecido en el cordón cuneta de la antigua calle perimetral de la laguna Cuscachapa, mediante la construcción de un mojón de concreto, véase figura 3.10, su elevación se fijó con la ayuda de dos aparatos de GPS así como su información geodésica, véase tabla 3.2.

Tabla 3.2: Información Geodésica de Banco de Marca en Laguna Cuscachapa

Coordenadas de Banco de Marca		
Latitud	Longitud	Elevación
13° 59.048" N	89°40.332" O	714.67 m.s.n.m.

Fuente: Equipo de trabajo de investigación

Figura 3.10: Obtención de Coordenadas y elevación de Banco de Marca en laguna Cuscachapa



Fuente: Equipo de trabajo de investigación, fecha de la captura de la imagen 26 de julio de 2014

Debido a la inundación de la Laguna Cuscachapa se inhabilitaron las vías de acceso a la laguna y su calle perimetral fue obstruida, por lo cual el limnómetro fue colocado en orilla de la laguna cerca del acceso de la calle oeste adyacente al Instituto Nacional “Jorge Eliseo Azucena Ortega”, véase figura 3.11, obteniendo su información geodésica con equipo GPS. Véase tabla 3.3, la finalidad de este aparato es medir la elevación del volumen de agua en la laguna.

Tabla 3.3: Información Geodésica de Limnómetro en Laguna Cuscachapa

Coordenadas de Limnómetro		
Latitud	Longitud	Elevación
13° 59'2.71" N	89°40'19.99" O	713.07 m.s.n.m.

Fuente: Equipo de trabajo de investigación

Figura 3.11: Limnómetro instalado en laguna Cuscachapa



Fuente: Equipo de trabajo de investigación, fecha de la captura de la imagen 3 de junio de 2014.

3.3.3.2. Grilla batimétrica

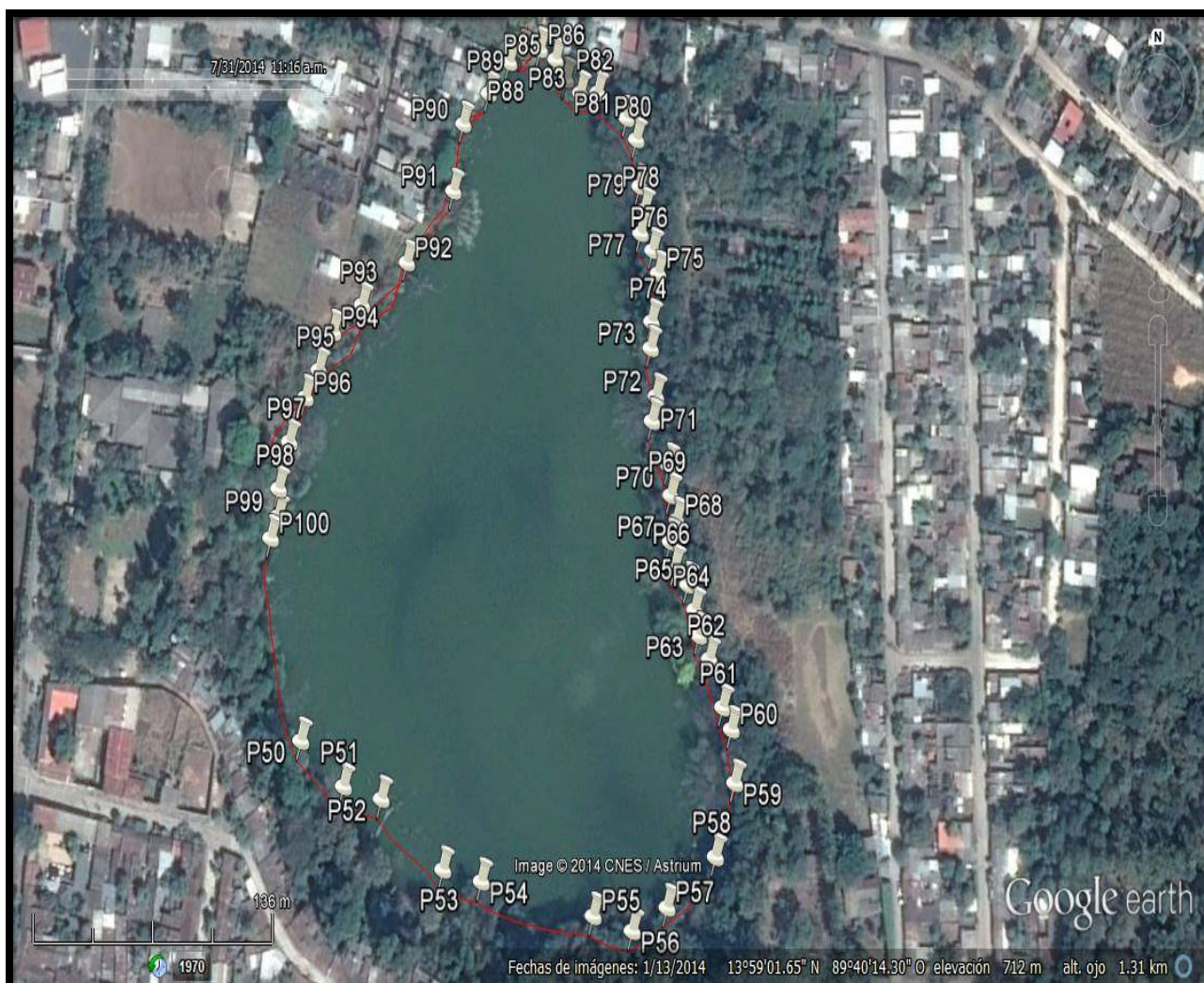
Para la obtención de la grilla batimétrica se realizó un recorrido en 2 lanchas partiendo cada una de los extremos norte y sur, recolectando las coordenadas geodesicas y midiendo sus profundidades en los 46 puntos recolectados. El programa utilizado fue google tracks el cual permitió marcar cada punto con una simbologia y con el numero de punto registrado, vease figura 3.12, como tambien se realizó la recoleccion de puntos del perimetro actual de la laguna con el mismo software para la obtencion de sus coordenadas y de esta manera delimitar el area actual de la laguna vease figura 3.13.

Figura 3.12 Recorrido en lancha realizado para la obtención de coordenadas geodésicas y profundidades de cada punto.



Fuente: Equipo de trabajo de investigación, fecha de la captura de la imagen 31 de julio de 2014

Figura 3.13: Recorrido del nuevo perímetro de la laguna.



Fuente: Equipo de trabajo de investigación, fecha de la captura de la imagen 26 de julio de 2014

3.3.3.3. Mapas batimétricos

Para procesar los datos obtenidos en campo y obtener los mapas batimétricos se realizó una unión de puntos geodésicos obtenidos en el recorrido del nuevo perímetro de la laguna y los puntos del recorrido en balsas para obtener sus profundidades y sus coordenadas, véase tabla 3.3.

Se realizó una modelación de la batimetría en el software AutoCAD Civil 3D, por lo cual se realizó una transformación de coordenadas geodésicas a Lambert y de esta manera importar los puntos en dicho software, véase en la tabla 3.4.

Tabla 3.4 conversión de coordenadas geodésicas a coordenadas Lambert.

COORDENADAS BATIMETRÍA CUSCACHAPA				
N°	DECIMAL		LAMBERT	
	LAT	LON	X	Y
1	13.98536900	-89.67097500	427508.398	318261.209
2	13.98533600	-89.67080000	427527.295	318257.505
3	13.98523700	-89.67065300	427543.146	318246.509
4	13.98499800	-89.67059200	427549.662	318220.050
5	13.98496300	-89.67064200	427544.250	318216.193
6	13.98447000	-89.67096900	427508.769	318161.751
7	13.98495200	-89.67114000	427490.443	318215.126
8	13.98509800	-89.67147300	427454.511	318231.378
9	13.98487200	-89.67148000	427453.685	318206.378
10	13.98463500	-89.67114300	427490.021	318180.058
11	13.98446100	-89.67076800	427530.482	318160.695
12	13.98441500	-89.67048300	427561.259	318155.520
13	13.98423300	-89.67042100	427567.901	318135.367
14	13.98429600	-89.67076500	427530.755	318142.440
15	13.98432800	-89.67102500	427502.675	318146.059
16	13.98442000	-89.67145100	427456.678	318156.365
17	13.98455500	-89.67162500	427437.921	318171.353

COORDENADAS BATIMETRÍA CUSCACHAPA					
18	13.98441500	-89.67193500	427404.386	318155.958	
19	13.98416800	-89.67154200	427446.769	318128.514	
20	13.98386200	-89.67130900	427471.848	318094.591	
21	13.98367100	-89.67100600	427504.525	318073.370	
22	13.98405100	-89.67058200	427550.451	318115.281	
23	13.98409800	-89.67050600	427558.676	318120.458	
24	13.98374800	-89.67046700	427562.782	318081.726	
25	13.98363700	-89.67070600	427536.926	318069.518	
26	13.98365000	-89.67090000	427515.970	318071.014	
27	13.98395800	-89.67125600	427477.603	318105.196	
28	13.98396700	-89.67161700	427438.604	318106.300	
29	13.98405800	-89.67205000	427391.851	318116.498	
30	13.98383100	-89.67213900	427382.165	318091.412	
31	13.98358600	-89.67191700	427406.074	318064.241	
32	13.98339400	-89.67155800	427444.801	318042.892	
33	13.98324100	-89.67116700	427486.997	318025.847	
34	13.98321700	-89.67087500	427518.538	318023.104	
35	13.98323900	-89.67040800	427568.999	318025.397	
36	13.98278100	-89.67032200	427578.149	317974.703	
37	13.98293300	-89.67076100	427530.767	317991.651	
38	13.98300800	-89.67117500	427486.061	318000.073	
39	13.98318900	-89.67154200	427446.466	318020.208	
40	13.98328300	-89.67203900	427392.800	318030.757	
41	13.98299700	-89.67209200	427386.985	317999.133	
42	13.98280000	-89.67170000	427429.276	317977.221	
43	13.98260600	-89.67129700	427472.756	317955.637	
44	13.98249400	-89.67088900	427516.802	317943.123	
45	13.98254200	-89.67042800	427566.623	317948.295	
46	13.98223100	-89.67069700	427537.465	317913.970	
47	13.98347200	-89.67247500	427345.753	318051.798	
48	13.98337800	-89.67244400	427349.073	318041.389	
49	13.98330000	-89.67240000	427353.802	318032.747	
50	13.98281700	-89.67228300	427366.294	317979.277	
51	13.98264700	-89.67205700	427390.658	317960.402	

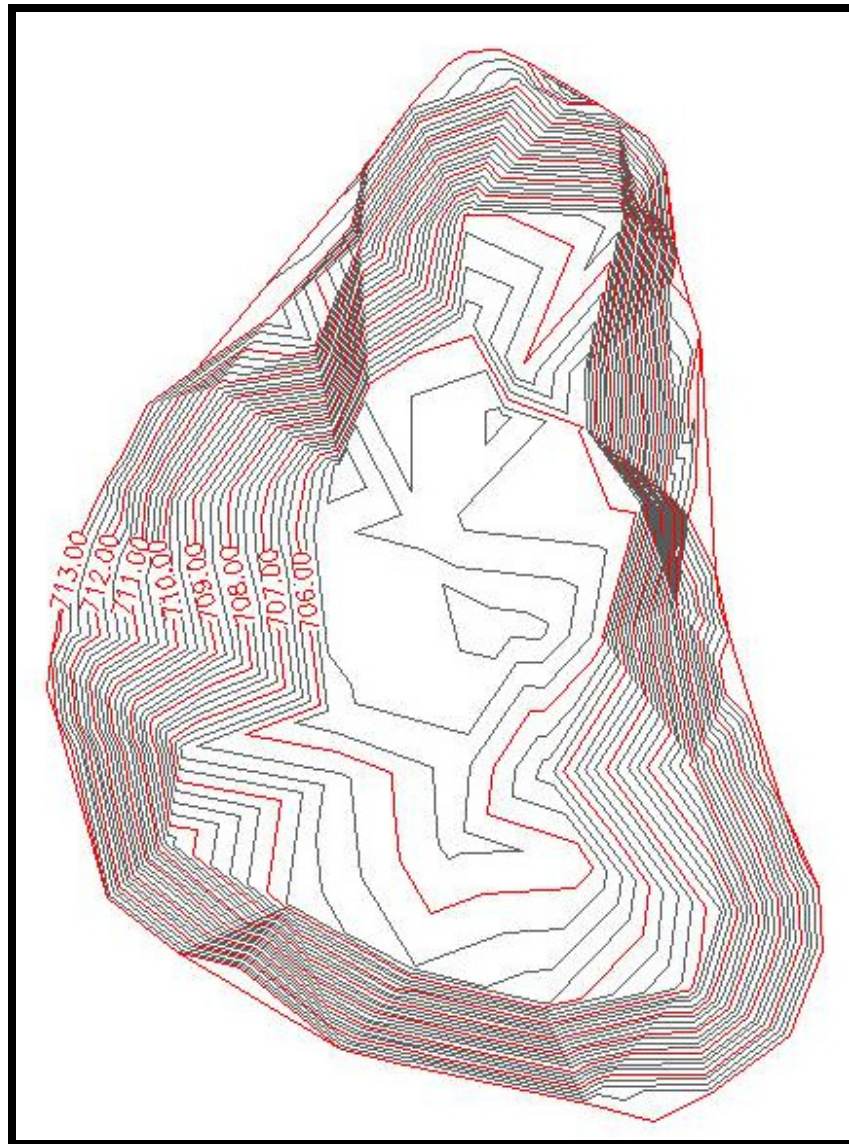
COORDENADAS BATIMETRÍA CUSCACHAPA					
52	13.98260000	-89.67185800	427412.144	317955.142	
53	13.98234400	-89.67153100	427447.394	317926.723	
54	13.98230000	-89.67132800	427469.312	317921.794	
55	13.98217800	-89.67074200	427532.586	317908.120	
56	13.98212500	-89.67053600	427554.826	317902.195	
57	13.98220800	-89.67035600	427574.299	317911.323	
58	13.98239400	-89.67010300	427601.691	317931.824	
59	13.98266100	-89.66999700	427613.225	317961.330	
60	13.98285800	-89.67001100	427611.774	317983.128	
61	13.98293900	-89.67005600	427606.937	317992.103	
62	13.98311700	-89.67012500	427599.537	318011.815	
63	13.98320600	-89.67018100	427593.514	318021.678	
64	13.98330300	-89.67020300	427591.167	318032.416	
65	13.98339700	-89.67023900	427587.307	318042.826	
66	13.98346400	-89.67030800	427579.872	318050.259	
67	13.98356100	-89.67033100	427577.417	318060.997	
68	13.98364700	-89.67029700	427581.117	318070.501	
69	13.98373600	-89.67032800	427577.796	318080.356	
70	13.98384700	-89.67033900	427576.641	318092.639	
71	13.98401900	-89.67042800	427567.079	318111.694	
72	13.98411400	-89.67040600	427569.485	318122.198	
73	13.98429700	-89.67043300	427566.624	318142.451	
74	13.98440000	-89.67042800	427567.196	318153.844	
75	13.98458600	-89.67039200	427571.143	318174.410	
76	13.98467800	-89.67042200	427567.930	318184.597	
77	13.98474400	-89.67048600	427561.036	318191.918	
78	13.98483600	-89.67046700	427563.117	318202.090	
79	13.98492800	-89.67049100	427560.553	318212.275	
80	13.98511400	-89.67050800	427558.773	318232.858	
81	13.98520000	-89.67056100	427553.074	318242.388	
82	13.98530300	-89.67071900	427536.036	318253.830	
83	13.98530300	-89.67081700	427525.448	318253.860	
84	13.98535600	-89.67089400	427517.145	318259.746	

COORDENADAS BATIMETRÍA CUSCACHAPA					
85	13.98543600	-89.67095300	427510.795	318268.614	
86	13.98547500	-89.67103900	427501.516	318272.955	
87	13.98546700	-89.67113600	427491.034	318272.099	
88	13.98542500	-89.67120800	427483.242	318267.474	
89	13.98530300	-89.67131900	427471.212	318254.011	
90	13.98511000	-89.67145800	427456.135	318232.702	
91	13.98491700	-89.67150800	427450.674	318211.365	
92	13.98463900	-89.67176400	427422.930	318180.687	
93	13.98447200	-89.67200300	427397.057	318162.284	
94	13.98436400	-89.67215600	427380.493	318150.383	
95	13.98421900	-89.67223100	427372.345	318134.364	
96	13.98411100	-89.67230000	427364.857	318122.437	
97	13.98393900	-89.67238100	427356.053	318103.433	
98	13.98376100	-89.67243100	427350.596	318083.756	
99	13.98365500	-89.67243100	427350.563	318072.029	
100	13.98357200	-89.67246700	427346.648	318062.858	

Fuente: Equipo de trabajo de investigación

Ya convertidas la coordenadas Geodésicas a Lambert se procedió a crear la superficie de la cuenca uniendo los puntos con curvas de nivel a cada 25 cm. Vease figura 3.14

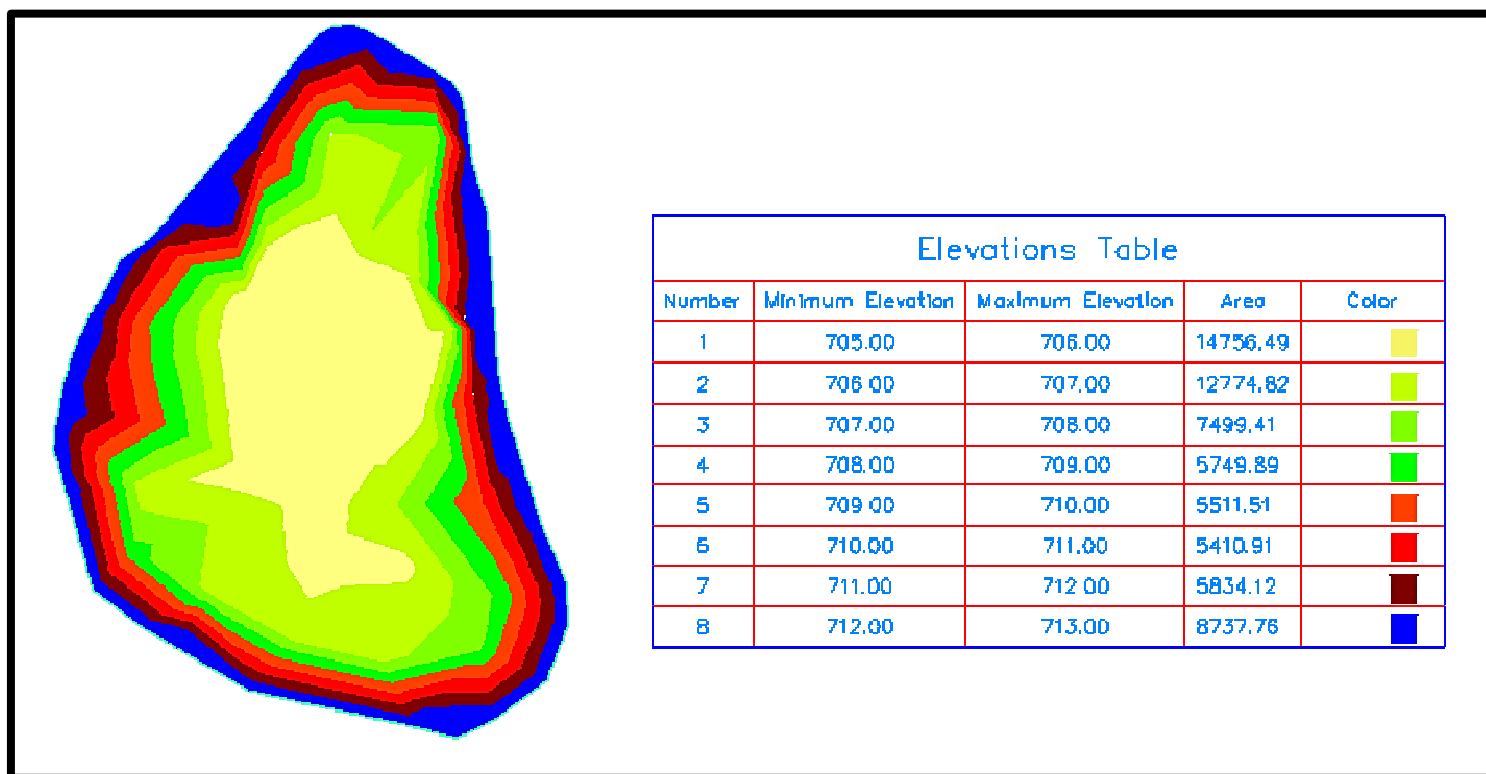
Figura 3.14 Modelación de curvas de nivel de la laguna.



Fuente: Equipo de trabajo de investigación

Con el modelo de las curvas de nivel trazado se procedió a la creación del modelo de elevación digital de la laguna, mostrando las diferentes profundidades con la degradación de colores, véase figura 3.15. Se inicia en la cota 713.00 mts, que constituye el nivel de la superficie del agua con el color azul degradándose a cada 1.00mt de profundidad e indicando el área que representa cada rango hasta llegar a su profundidad máxima de 8.04 mts en la cota 704.96 mts, donde se obtiene un volumen total de agua en la laguna de 304,811.56m³.

Figura 3.15: Modelo de elevación digital.



Fuente: Equipo de trabajo de investigación

3.3.3.4 Comparación de niveles históricos de Laguna

A lo largo de los años se ha visto un aumento y disminución del nivel del espejo de agua de la laguna Cuscachapa, esto debido a diferentes factores humanos y climatológicos que se han sucedido, por ende la laguna Cuscachapa ha sido motivo de diversos estudios e inspecciones por parte de personal del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, MARN, así como también por partes de estudiantes.

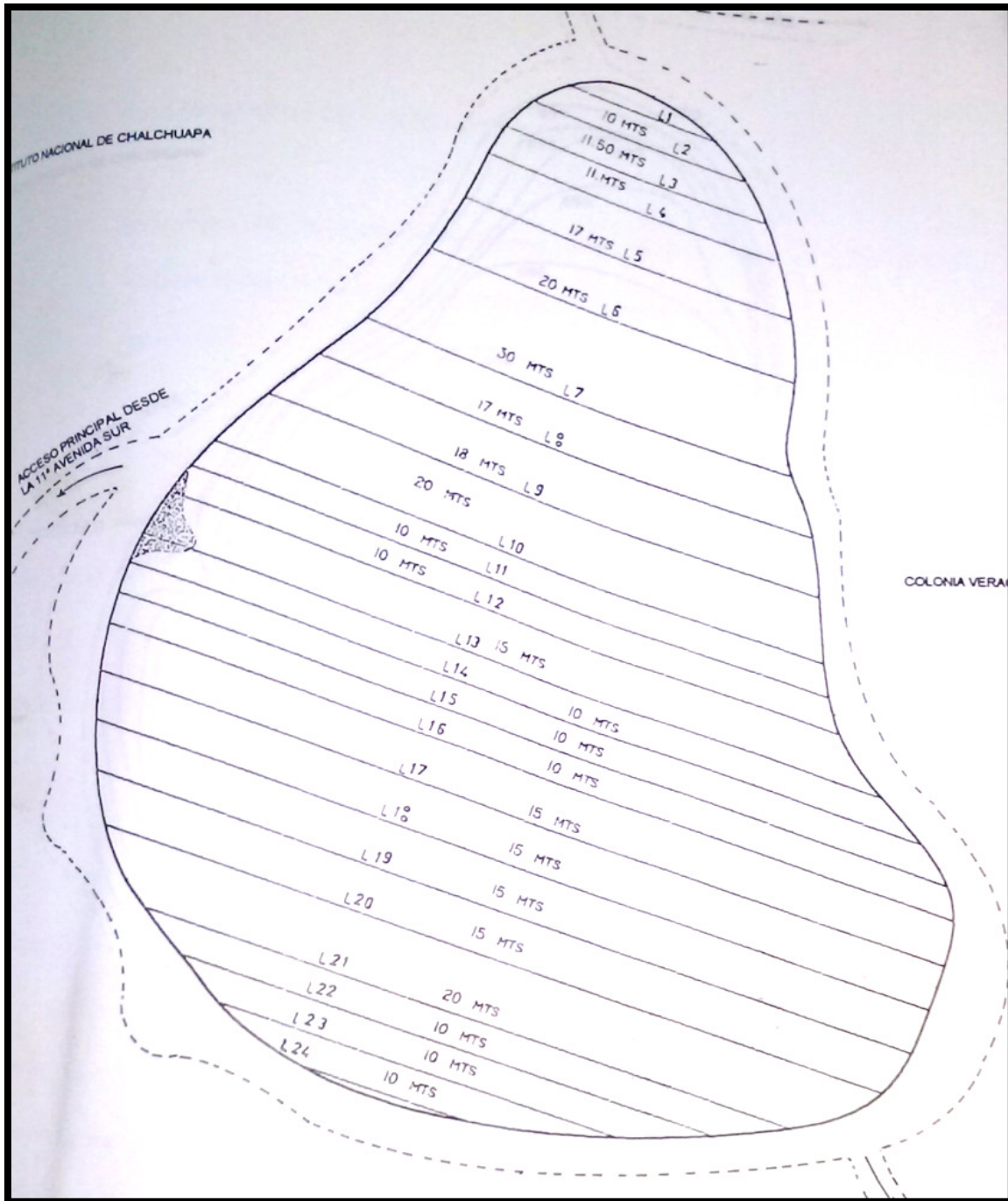
Entre los estudios hechos a la laguna Cuscachapa, se encuentran batimetrías realizadas en diversos años, a continuación se presenta la comparación de los diversos niveles históricos que ha alcanzado la laguna.

Batimetría realizada en el año 1997/1998

En los años de 1997 y 1998 un grupo de estudiantes de la Universidad de El Salvador realizaron el estudio llamado “Estudio de Saneamiento y Sedimentación para la Protección y Conservación de la Laguna de Cuscachapa” en el cual la profundidad máxima encontrada fue de 6.94 m. Realizándose estaciones a cada 10, 15, 20 y 30 m, véase figura 3.16, encontrándose que el volumen útil de agua de la laguna era de 276,280.51 m³ ¹⁵

¹⁵ *Estudio de Saneamiento y Sedimentación para la Protección y Conservación de la Laguna de Cuzcachapa*. L. Ramírez, H. Santamaría, C. Viana, Abril 1999, UES

Figura 3.16: Esquema Batimétrico de Laguna Cuscachapa 1997/1998



Fuente: "Estudio de Saneamiento y Sedimentación para la Protección y Conservación de la Laguna de Cuscachapa". L. Ramírez, H. Santamaría, C. Viana, Abril 1999, UES

Batimetría realizada en el año 2013

En Junio de 2013 se realizó una inspección técnica por parte del Ministerio de Medio Ambiente, con el propósito de evaluar las condiciones generales que poseía el espejo de agua de la Laguna Cuscachapa.

Paralelo a estos estudios se realizaron estudios de profundidad haciendo uso de equipo especializado llamado Eco Sonda, encontrando así que las profundidades van desde pocos centímetros hasta un promedio de 9.8m en la parte media, pero debido a limitantes en tiempo y recurso no se pudo realizar una medición exhaustiva¹⁶, véase figura 3.17

Figura 3.17: Batimetría realizada en por Ministerio de Medio Ambiente, Junio 2013



Fuente: Inspección Técnica Laguna Cuscachapa. Lic. Luis Henríquez, Lic. Georgina Mariona, Lic. Ana Eugenia Aguilar MARN, Junio 2013

¹⁶ Inspección Técnica Laguna Cuscachapa. Lic. Luis Henríquez, Lic. Georgina Mariona, Lic. Ana Eugenia Aguilar MARN, Junio 2013

CAPÍTULO 4

BALANCE

HIDRICO

4.1. Introducción

Al principio de la investigación se planteó la elaboración del Modelo Hidrológico de la Laguna Cuscachapa para evaluar los caudales de entrada y de salida que se observan en la laguna y con ello determinar por qué el nivel del agua en la laguna no ha disminuido al nivel registrado antes de la tormenta 12-E; sin embargo, durante la investigación se detectó una disminución de nivel de aproximadamente 96 cm con respecto al nivel obtenido después de la tormenta 12-E, pero sin embargo aún no ha logrado recuperar el nivel registrado antes de la tormenta ya que en algunos lugares se midió un desbordamiento de hasta 11mts., cubriendo la calle perimetral del sitio.

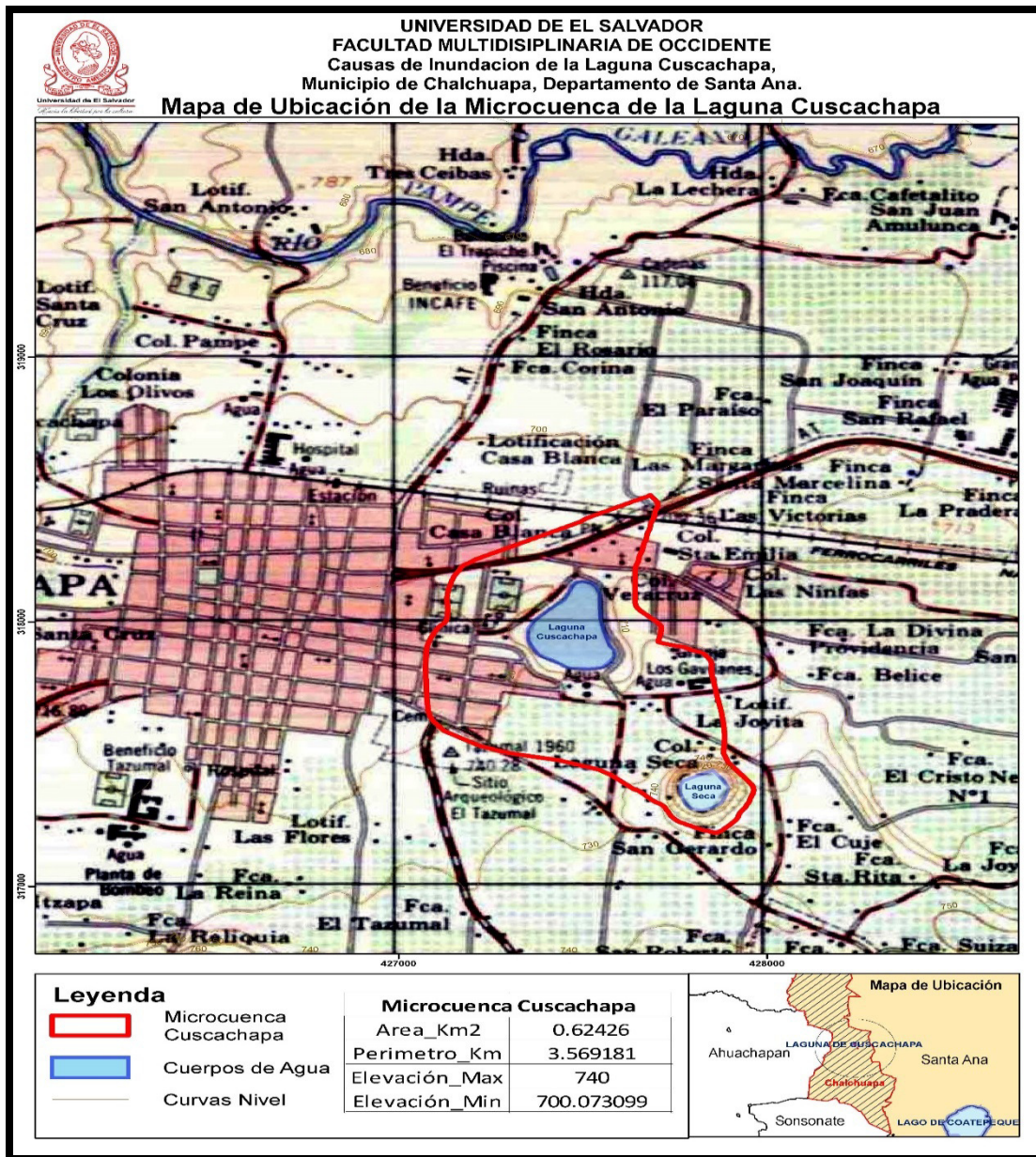
Es importante mencionar que el balance hídrico realizado es para determinar el comportamiento natural de la laguna en un periodo comprendido entre los años de 1,981 y 2,010, para los años 2012-2013, y un balance hídrico para el año 2,011 en el cual se suscitó la tormenta 12-E y con esto obtener una respuesta del porqué de su inundación en el periodo de la tormenta 12-E y por qué no se ha recuperado el nivel que se observaba antes de la tormenta.

4.2. Delimitación de la micro-cuenca.

Para realizar la delimitación de la micro-cuenca de la laguna Cuscachapa, se utilizó el software ArcGIS 10.0 y su extensión SWAT, para realizar todos los cálculos hidrológicos e hidrogeológicos. A continuación se detalla paso a paso el proceso de cálculo con dicho software para que cualquier lector obtenga las herramientas necesarias para retomar este estudio de la laguna Cuscachapa o de cualquier estudio hidrológico similar al presentado, véase anexo 3.

La micro-cuenca de la Laguna de la laguna Cuscachapa tiene una superficie de 0.62426km^2 con un perímetro de 3.569181km en el cual abarca las colonia Casa Blanca, Lotificación Casa Blanca, colonia Santa Cruz, lotificación la Joyita, Finca San Gerardo y colonia Tazumal, véase figura 4.1

Figura 4.1. Características superficiales de la micro-cuenca

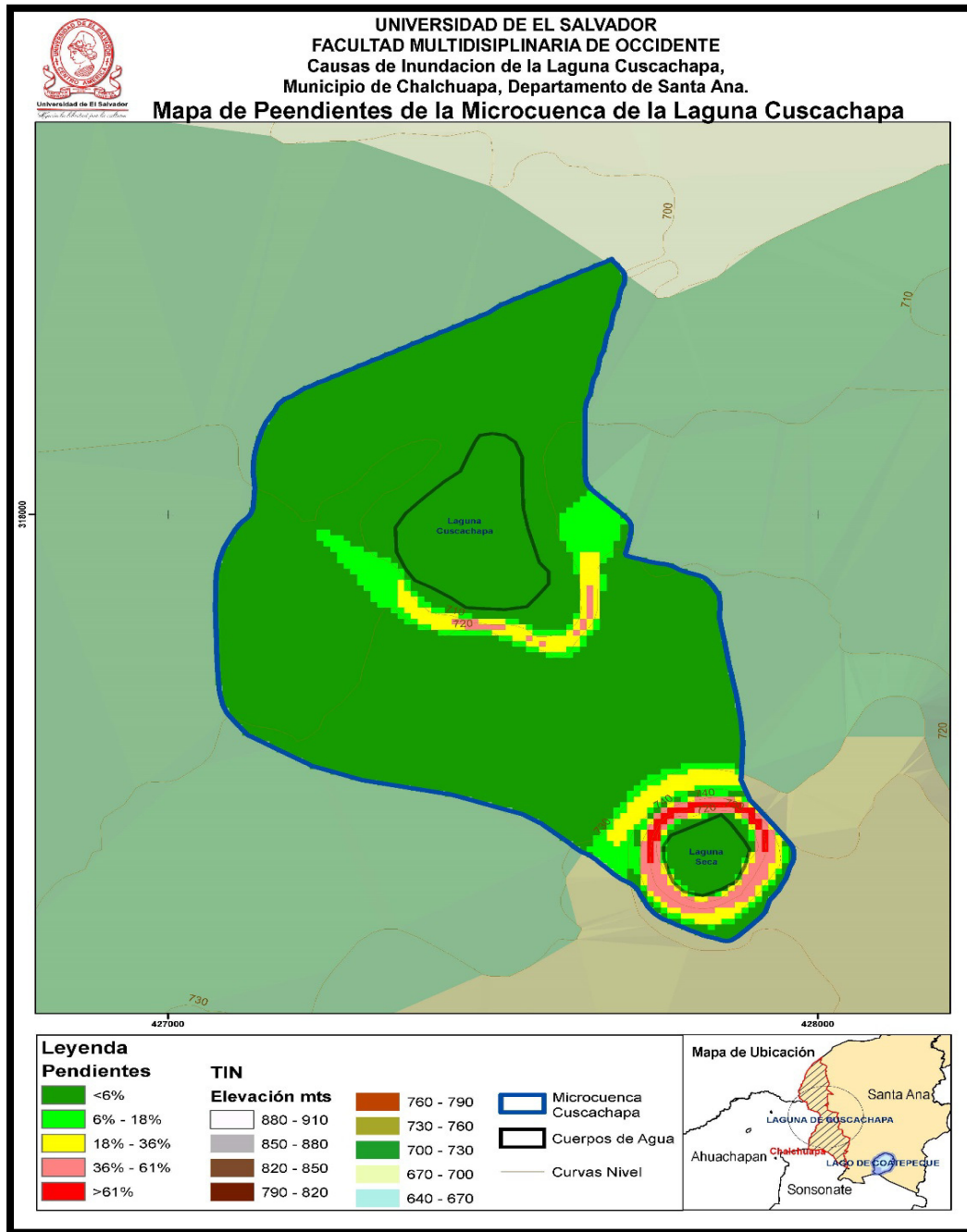


Fuente: Equipo de trabajo de investigación

4.2.1 Desnivel Altitudinal

En la delimitación de la micro-cuenca se observa las siguientes pendientes y curvas de nivel en la zona, véase figura 4.2

Figura 4.2. Mapa de pendiente de la micro-cuenca



Fuente: Equipo de trabajo de investigación

Del análisis de desnivel altitudinal de la micro cuenca se puede determinar que la pendiente de esta, es muy plano, por lo tanto el coeficiente de infiltración por pendiente K_p , es el presentado en la siguiente tabla. 4.1

Tabla 4.1: Coeficientes de infiltración por pendiente de la micro cuenca.

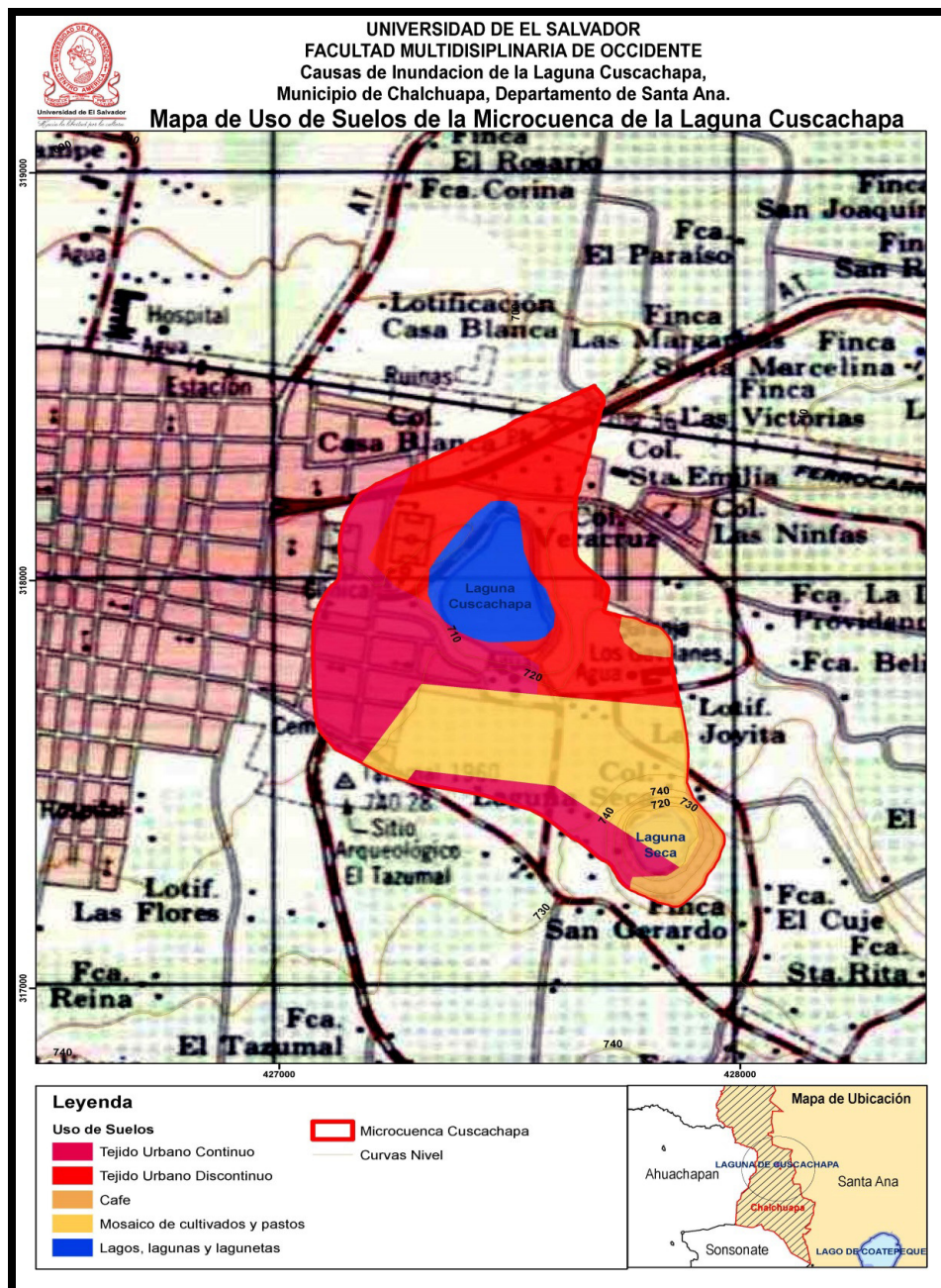
Para este caso se tiene un área con Superficie muy plana, por lo tanto:	
Kp	0.4

Fuente: Equipo de trabajo de investigación

4.2.2 Uso de Suelo

En esta sección se detalla el uso de suelo que se da en la región donde se ubica la micro-cuenca, y sus resultados se presentan a continuación, véase figura 4.3.

Figura 4.3. Mapa de uso de suelos de la micro-cuenca



Fuente: Equipo de trabajo de investigación

Del análisis del mapa anterior se puede obtener por medio de áreas de los polígonos delimitados, se puede obtener el coeficiente de infiltración por uso de suelo, y sus resultados se presentan a continuación.

Tabla 4.2: Coeficientes de infiltración por uso de suelos de la micro-cuenca.

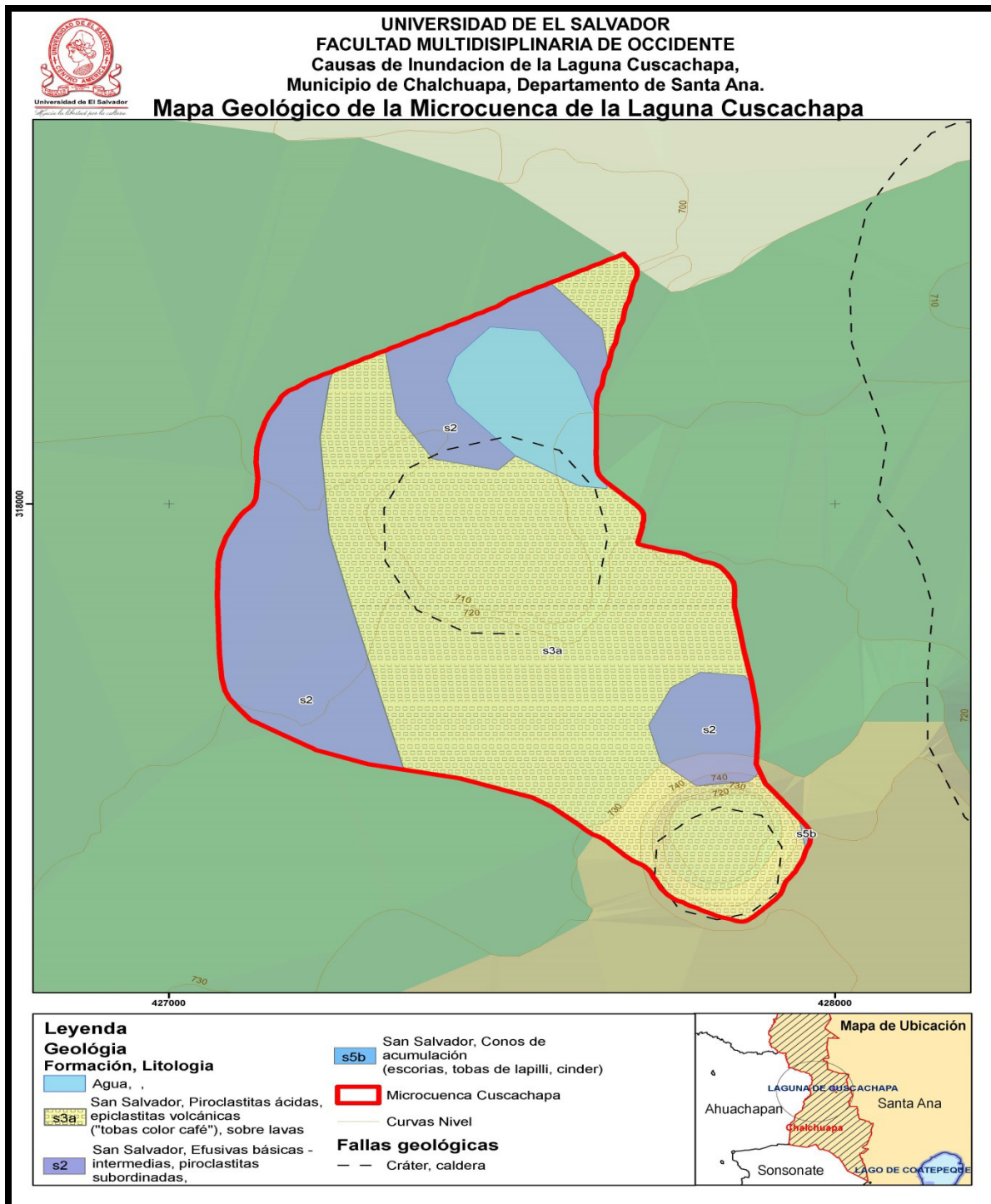
Polígono	área (m ²)	Área (Km ²)	% de Área	Uso de Suelo	Kv	%Área*Kv
1	169289.070	0.169	0.271	Mosaico de Cultivos y Pastos	0.1	0.0271
2	38626.934	0.039	0.062	Tejido Urbano Continuo	0.3	0.0186
3	17415.045	0.017	0.028	Café	0.2	0.0056
4	137038.996	0.137	0.220	Tejido Urbano Continuo	0.3	0.0659
5	189707.567	0.190	0.304	Tejido Urbano Continuo	0.3	0.0912
6	7408.626	0.007	0.012	Café	0.2	0.0024
7	64773.211	0.065	0.104	Laguna	0	0.0000
Total	624259.449	0.624	1.000			0.2107

Fuente: Equipo de trabajo de investigación

4.2.3 Geología de la micro-cuenca

En la delimitación de la micro-cuenca se observa las siguientes formaciones geológicas de la zona, véase figura 4.4.

Figura 4.4. Mapa geológico de la micro-cuenca



Fuente: Equipo de trabajo de investigación

De la información obtenida en el mapa geológico de la micro-cuenca, se determina el coeficiente de infiltración por tipo de suelos, los resultados se presentan a continuación.

Tabla 4.3: Coeficientes de infiltración por tipo de suelos de la micro-cuenca.

Pol.	Área (m2)	Área (Km2)	% de Área	Tipo de Suelo	Kfc	%Área*Kfc
1	51578.190	0.052	0.083			
2	13947.958	0.014	0.022	Formaciones volcánicas antiguas de reducida permeabilidad	0.1	0.0022
3	558733.301	0.559	0.895	Formaciones volcánicas antiguas de reducida permeabilidad	0.1	0.0895
Total	624259.5	0.624	1.000			0.0917

Fuente: Equipo de trabajo de investigación

4.2.4 Cálculo de Coeficiente de Infiltración de la Micro-cuenca.

Con los coeficientes ponderados obtenidos en las secciones anteriores, se calcula el coeficiente de infiltración de la micro-cuenca de la Laguna Cuscachapa. Véase tabla 4.4

Tabla 4.4: Coeficientes de infiltración de la micro-cuenca.

Cálculo de Coeficiente de Infiltración	
Kv	0.2107
Kfc	0.0917
Kp	0.4000

Fuente: Equipo de trabajo de investigación

$$\text{Ecuación 2.7} \quad \mathbf{C = Kv + Kfc + Kp}$$

$$\mathbf{C = 0.7024}$$

Dónde:

C: Coeficiente de Infiltración.

Kv: Coeficiente por uso del suelo de la micro cuenca.

K_{fc}: Coeficiente por textura del suelo de la micro cuenca.

K_p: Coeficiente por la pendiente de la superficie de la micro cuenca.

4.3 Curvas de Intensidad – Duración – Frecuencia (Periodo de retorno Curvas IDF)

Con el Propósito de dejar una base para una futura investigación que pudiese realizar alguna de las autoridades pertinentes relacionadas a la Laguna Cuscachapa, como pudiese ser la Alcaldía Municipal de Chalchuapa, departamento de Santa Ana, o el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, MARN. Se brindara de información relacionada a la intensidad, duración y frecuencia de las lluvias en la zona de la micro cuenca, para ser usada en el análisis de los efectos de eventos puntuales de precipitación. Para lo cual se tomaron datos brindados por MARN, de registros históricos, los cuales se presenta a continuación.

Tabla 4.5: Precipitación expresada en milímetros de lluvia, estación A-37 Santa Ana UNICAES

DURACION-INTENSIDAD-MINUTOS													
AÑO	5	10	15	20	30	45	60	90	120	150	180	240	360
1983	2.1	1.9	1.6	1.3	1.1	0.8	0.7	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.1
1984	2.8	1.7	1.3	1.3	1.1	1.0	0.7	0.5	0.4	0.3	0.4	0.3	0.2
1985	4.0	2.6	2.1	1.8	1.6	1.1	1.0	0.8	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2
1986	3.1	2.2	1.8	1.8	1.7	1.4	1.2	0.9	0.7	0.7	0.6	0.4	0.3
1987	3.1	2.2	1.8	1.8	1.5	1.2	0.9	0.7	0.5	0.4	0.4	0.3	0.2
1988	4.0	2.7	2.0	1.6	1.1	0.8	0.6	0.5	0.4	0.4	0.4	0.3	0.2
1989	3.7	2.8	2.5	2.3	1.9	1.4	1.1	0.8	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2
1990	2.9	2.4	1.9	1.7	1.4	1.2	0.9	0.6	0.5	0.4	0.4	0.3	0.2
1994	3.4	2.4	1.7	1.6	1.4	1.1	1.0	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2
1995	1.8	1.6	1.3	1.4	1.2	1.0	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.2
1996	3.0	2.0	1.7	1.6	1.4	1.1	1.0	0.7	0.5	0.4	0.4	0.3	0.2
1997	3.8	2.6	2.1	1.8	1.3	0.9	0.7	0.5	0.4	0.3	0.3	0.2	0.1
1999	4.6	2.7	2.1	1.7	1.3	0.9	0.7	0.5	0.4	0.3	0.3	0.2	0.1
2000	3.2	2.6	2.2	1.9	1.6	1.4	1.2	0.9	0.7	0.5	0.5	0.3	0.2
2001	2.6	2.1	2.0	1.9	1.4	1.0	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2
2002	2.7	1.8	1.6	1.5	1.2	1.0	0.9	0.6	0.5	0.5	0.4	0.3	0.2
2003	3.9	2.2	2.5	2.1	1.7	1.4	1.1	0.9	0.7	0.6	0.5	0.4	0.2
2004	4.1	2.6	2.2	1.8	1.5	1.2	1.1	0.8	0.6	0.5	0.4	0.3	0.3
2005	1.8	1.5	1.3	1.3	1.1	0.8	0.7	0.5	0.4	0.3	0.3	0.2	0.2
2006	3.2	2.2	2.0	1.7	1.6	1.3	1.0	0.7	0.5	0.4	0.4	0.3	0.2
2007	2.3	1.8	1.6	1.4	1.1	0.9	0.8	0.7	0.5	0.4	0.3	0.3	0.2
2008	2.6	1.8	1.5	1.4	1.1	0.9	0.8	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.2
2009	4.7	3.4	2.6	2.2	1.7	1.2	0.9	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.2
2010	3.8	2.3	1.7	1.4	1.3	1.2	0.9	0.7	0.5	0.4	0.4	0.3	0.2

Fuente: Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales MARN

De los datos presentados anteriormente y con la información detalla en la sección 4.2, “delimitación de la micro cuenca”, véase tabla 4.6. Se procede a realizar el cálculo de las curvas IDF para la micro cuenca de la Laguna Cuscachapa.

Tabla 4.6: Datos de la micro cuenca para el cálculo de las curvas IDF.

Datos					
Área=	0.6243	km ²	Tc=	0.19	horas
Lc=	0.5976	km	Tc=	11.34	min
Hmax=	740	m	Tc=	11	min (aprox.)
Hmin=	700.07	m	Elija las Duraciones de 5, 10 y 15		
ΔH=	720.04	m			

Fuente: Equipo de trabajo de investigación

Con datos obtenidos de la micro cuenca, se ha calculado el tiempo de concentración, el cual tiene un valor de 11 minutos, por lo que para el cálculo de las IDF, se recomienda utilizar las duraciones de 5, 10 y 15 minutos.

4.3.1 Duraciones de Lluvia.

Como se recomendé anteriormente, se tomaran para el cálculo de las curvas IDF, las duraciones de 5, 10 y 15 minutos. Véase tabla 4.7.

Tabla 4.7: Precipitación en milímetros, de las diferentes duraciones.

	5	10	15
	2.10	1.86	1.27
	2.80	1.70	1.25
	4.04	2.62	1.79
	3.10	2.15	1.83
	3.14	2.22	1.79
	4.00	2.70	1.58
	3.72	2.79	2.33
	2.90	2.40	1.70
	3.40	2.40	1.58
	1.80	1.60	1.35
	3.00	2.00	1.56
	3.76	2.58	1.81
	4.60	2.70	1.70
	3.20	2.62	1.92
	2.60	2.05	1.88
	2.70	1.79	1.46
	3.92	2.16	2.08
	4.08	2.62	1.84
	1.80	1.50	1.25
	3.20	2.20	1.70
	2.30	1.80	1.36
	2.62	1.77	1.42
	4.72	3.37	2.24
	3.80	2.30	1.40

Fuente: Equipo de trabajo de investigación

4.3.2 Frecuencia de Lluvia.

Para las diferentes duraciones de lluvias se calculara la frecuencia con la que se suscitan estas precipitaciones. Véase tabla 4.8.

Tabla 4.8: Frecuencia de precipitaciones para las diferentes duraciones de lluvia.

FRECUENCIA	5	10	15
0.0400	1.50	1.33	1.25
0.0800	1.60	1.33	1.25
0.1200	1.70	1.35	1.27
0.1600	1.77	1.55	1.35
0.2000	1.79	1.58	1.36
0.2400	1.80	1.60	1.40
0.2800	1.86	1.61	1.42
0.3200	2.00	1.67	1.46
0.3600	2.05	1.70	1.56
0.4000	2.15	1.70	1.58
0.4400	2.16	1.81	1.58
0.4800	2.20	1.81	1.70
0.5200	2.22	1.87	1.70
0.5600	2.30	1.97	1.70
0.6000	2.40	2.00	1.79
0.6400	2.40	2.03	1.79
0.6800	2.58	2.07	1.81
0.7200	2.62	2.08	1.83
0.7600	2.62	2.13	1.84
0.8000	2.62	2.21	1.88
0.8400	2.70	2.24	1.92
0.8800	2.70	2.48	2.08
0.9200	2.79	2.51	2.24
0.9600	3.37	2.65	2.33

Fuente: Equipo de trabajo de investigación

4.3.3 Intensidades de Lluvia.

Para calcular la intensidad de lluvia del tiempo de concentración obtenido anteriormente de la tabla 4.8, se debe determinar la intensidad de lluvia para las duraciones dadas en la tabla 4.9.

Tabla 4.9: Intensidad de Precipitación para diferentes tiempos de periodos de retorno, expresada en mm/min.

Periodo de Retorno	Intensidad
1.04	-1.17
1.09	-0.93
1.14	-0.75
1.19	-0.61
1.25	-0.48
1.32	-0.36
1.39	-0.24
1.47	-0.13
1.56	-0.02
1.67	0.09
1.79	0.20
1.92	0.31
2.08	0.42
2.27	0.55
2.50	0.67
2.78	0.81
3.13	0.95
3.57	1.11
4.17	1.29
5.00	1.50
6.25	1.75
8.33	2.06
12.50	2.48
25.00	3.199

Fuente: Equipo de trabajo de investigación

De la información anterior, se puede calcular la intensidad de lluvia necesaria para el caudal de escorrentía que pudiera aportar una determinada cantidad de agua a la laguna Cuscachapa, en una tormenta, para eso, la institución interesada u otra persona con la intención de realizar alguna investigación relacionada al sistema hidrológico de la laguna, podrá, basado en reglamento de diseño para diferentes

parámetros, definir un periodo de retorno de diseño, expresada en años, para el cual le será útil los datos antes presentados, o realizar un modelo hidrológico de inundación de la laguna por eventos de precipitación en la micro cuenca.

4.4 Componentes del Balance Hídrico 1981-2010

A continuación se detallaran los resultados obtenidos para cada uno de los parámetros considerados en el Balance Hídrico realizado para un periodo de estudio comprendido entre 1,981 y 2,010. Para el análisis del balance hídrico se tomara únicamente un área de influencia perimetral a la laguna, medido 15 metros horizontales hacia afuera desde el espejo de agua, esto debido a que, como se observó en el capítulo 3, sección 3.3.2 “Efluentes”, figura 3.6, el nivel piezométrico se encuentra por debajo del nivel más profundo de la laguna, por lo que se puede asumir que la laguna y el acuífero de la micro cuenca, no están directamente conectados, por lo tanto la, contribución de esta última, a la Laguna Cuscachapa es mínima y no se considerara para el cálculo de componentes del balance hídrico, excepcionando el cálculo de recarga acuífera subterránea. Para datos registrados en estación, véase Anexo 4.

4.4.1 Precipitación (P)

Este parámetro se determinó a partir de datos de precipitación recolectados en la estación A-37 Santa Ana UNICAES, que es la estación más cercana a la Laguna Cuscachapa que cuenta con un registro continuo.

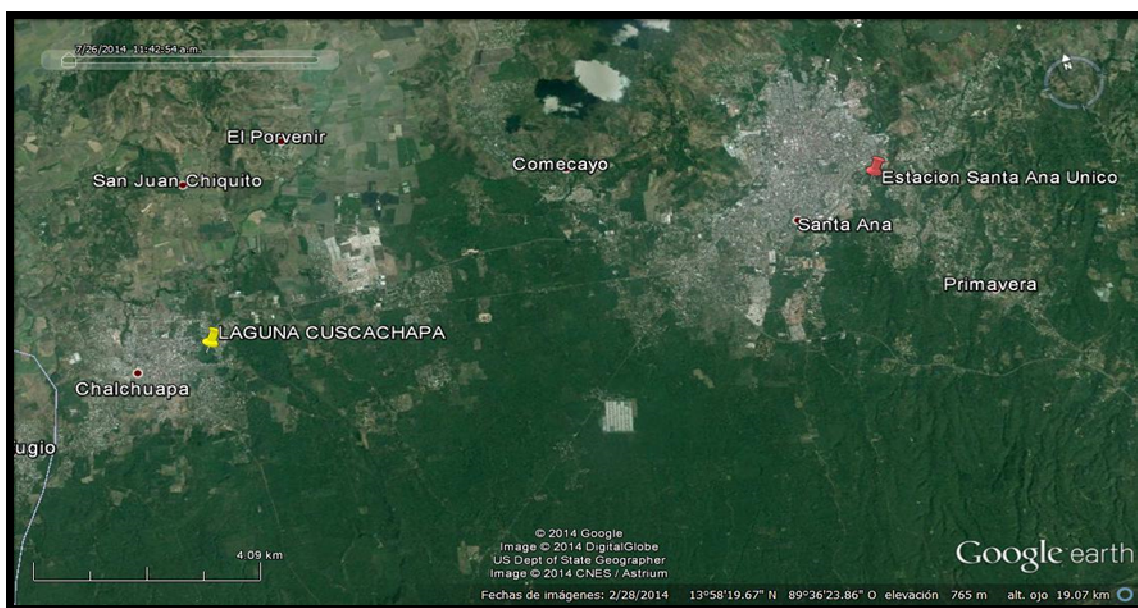
La ubicación de la estación es la siguiente, véase tabla 4.10:

Tabla 4.10: Ubicación de Estación A-37 Santa Ana UNICAES

CODIGO	ESTACION	LATITUD	LONGITUD
A-37	SANTA ANA UNICO	13.982	-89.549

Fuente: Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales MARN

Figura 4.5: Ubicación de Estación A-37 Santa Ana UNICAES



Fuente: Equipo de trabajo de investigación, imagen tomada de Google Earth, 11 de agosto de 2,014

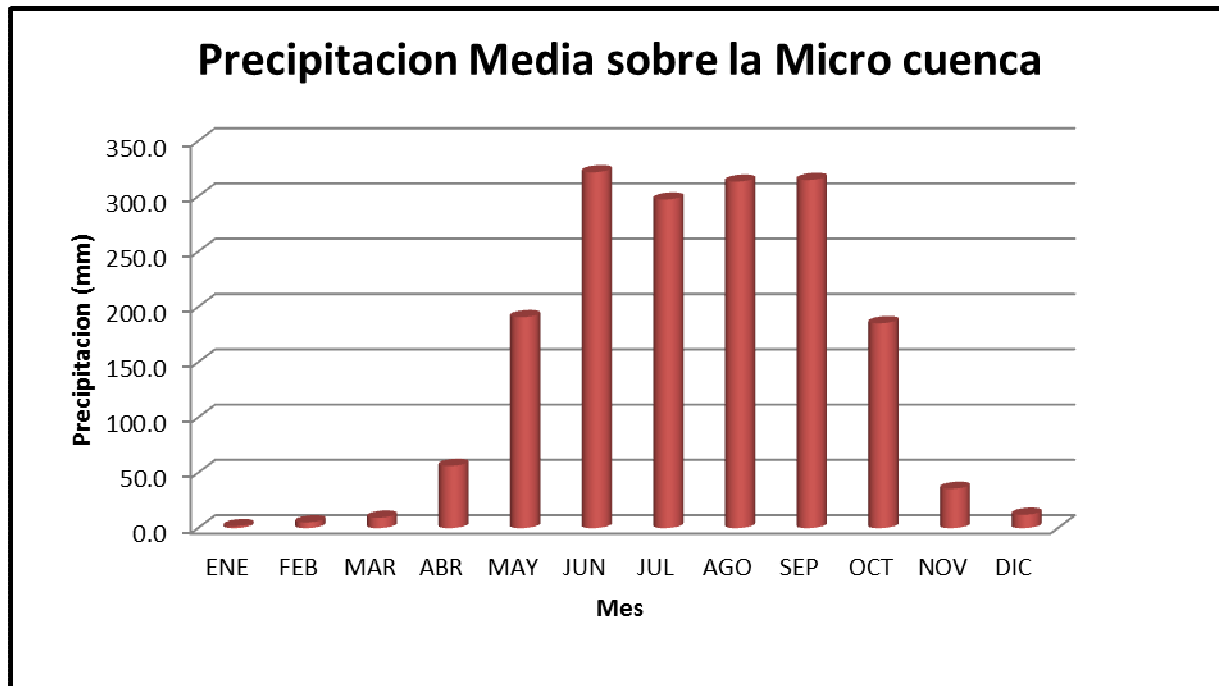
Para esta estación se calculará la precipitación media mensual del periodo de estudio 1981-2010, véase tabla 4.11 y figura 4.6

Tabla 4.11: Precipitación Media Mensual, Periodo 1981-2010

Mes	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Precipitación(mm)	1.7	5.2	9.4	56.3	190.8	321.9	297.2	313.3	314.9	185.3	35.6	12.0

Fuente: Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales MARN.

Figura 4.6 Precipitación Media Mensual, Periodo 1981-2010



Fuente: Equipo de trabajo de investigación

4.4.2 Evapotranspiración + Evaporación (E)

Para el cálculo de la Evapotranspiración se dispone del método de Hargreaves, en el cual se utilizan parámetros de temperatura y radiación solar, para los cuales se tomarán los datos recolectados en la estación A-37, antes descrita, véase tabla 4.12, la cual tiene datos de temperatura promedio, temperaturas máxima y mínima, y radiación extraterrestre. Dichos datos registrados también serán utilizados en el cálculo de Evaporación. Véase figura 4.7

Tabla 4.12: Radiación Solar Media Mensual del Periodo 1981-2010.

Radiación Solar	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
(KWh/m ² /día)	8.27	9.12	9.95	10.47	10.55	10.48	10.47	10.44	10.09	9.32	8.45	7.99
(MJ/m ² /día)	29.78	32.84	35.82	37.70	37.98	37.73	37.70	37.59	36.33	33.56	30.42	28.77
(mm/día)	12.15	13.40	14.62	15.38	15.50	15.39	15.38	15.34	14.82	13.69	12.41	11.74

Fuente: Equipo de trabajo de investigación

Factores de conversión utilizados para cálculo de milímetros de agua por radiación solar:

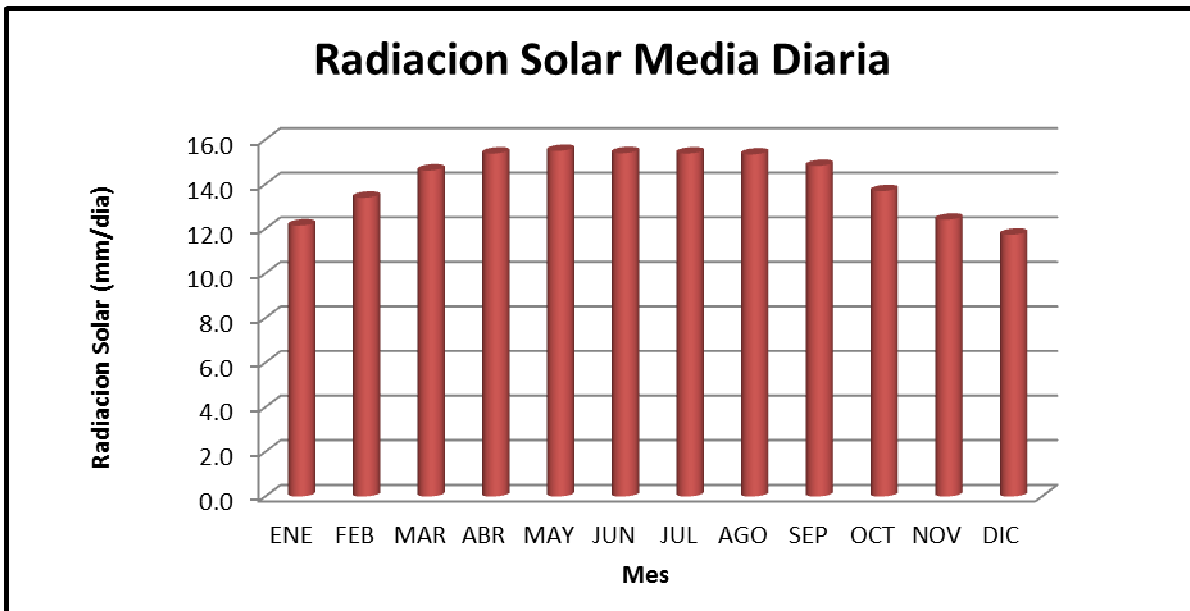
Factor 1:

$$1MJ = \frac{1KWh}{0.27775}$$

Factor 2:

$$0.408mm = 1MJ/m^2$$

Figura 4.7 Radiación Solar Media, Periodo 1981-2010



Fuente: Equipo de trabajo de investigación

Tabla 4.13: Parámetros para cálculo de Evapotranspiración de Cultivo Media Mensual, Periodo 1981-2010

Parámetro	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Tprom (°C)	22.9	23.9	24.9	25.9	25.3	24.4	24.5	24.5	23.6	23.6	23.2	23.1
Tmáx (°C)	30.7	32.1	33.7	33.9	32.2	30.8	30.9	31.1	30.3	30.0	29.8	30.3
Tmin (°C)	16.3	17.0	17.5	19.0	19.6	19.5	19.2	19.3	19.1	18.9	17.7	17.0
Rs (mm/día)	12.15	13.40	14.62	15.38	15.50	15.39	15.38	15.34	14.82	13.69	12.41	11.74

Fuente: Equipo de trabajo de investigación

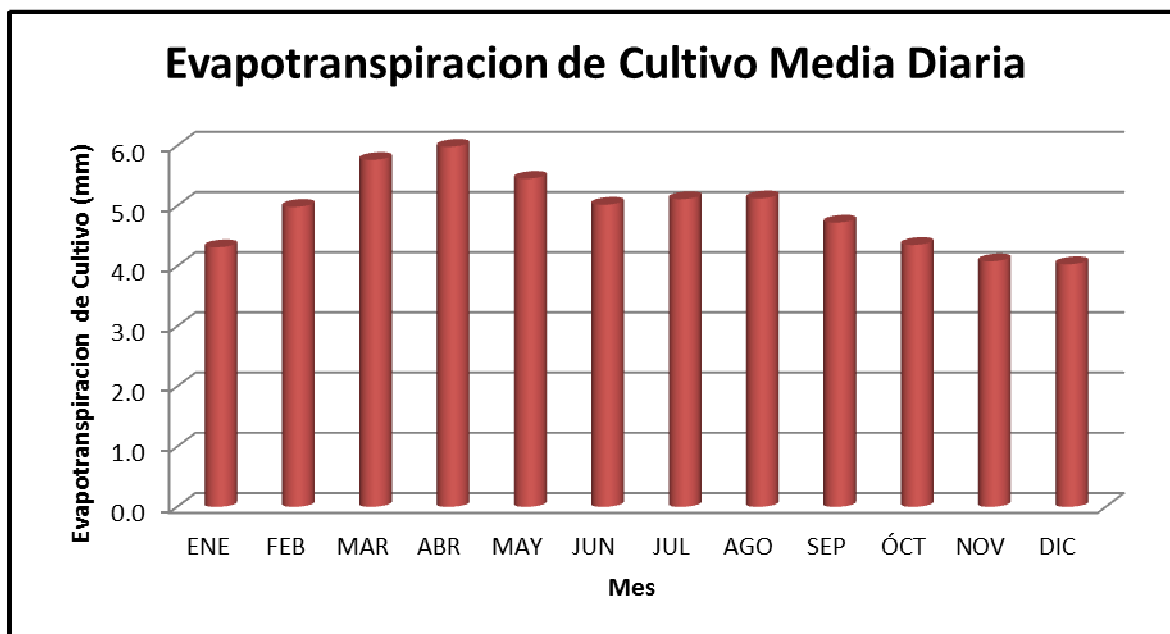
Para el cálculo de evapotranspiración de cultivo se empleara la ecuación 2.16. Los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla, véase tabla 4.14:

Tabla 4.14: Evapotranspiración de Cultivo Media Diaria, Periodo 1981-2010

Parámetro	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Eto (mm/día)	4.313	4.984	5.764	5.984	5.451	5.019	5.113	5.125	4.723	4.353	4.078	4.031

Fuente: Equipo de trabajo de investigación

Figura 4.8 Evapotranspiración de Cultivo Media, Periodo 1981-2010



Fuente: Equipo de trabajo de investigación

A partir de los datos obtenidos en el cálculo de la evapotranspiración de cultivo media, utilizando la Ecuación 2.14, se calcula la evapotranspiración potencial del área de influencia de la laguna, ver tabla 4.16

Tabla 4.15: Cálculo de Coeficiente de Cultivo Kc del Área de Influencia de la Laguna Cuscachapa.

	Área (m ²)	%de Área	Kc	Kc *%Área
Área de Influencia	77957.4866	1.000		
Laguna	64773.2106	0.83087864	0.1	0.08308786
Bosques de Galería	13184.276	0.16912136	0.6	0.10147281
				0.18456068

Fuente: Equipo de trabajo de investigación

Ecuación 2.14:

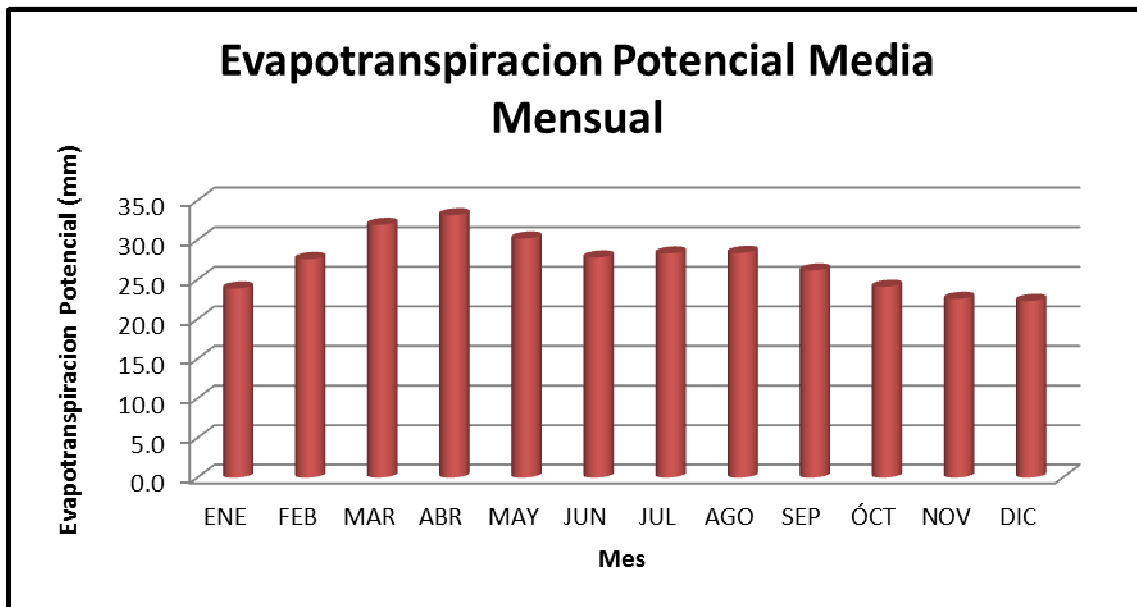
$$ETP = Eto * Kc$$

Tabla 4.16: Evapotranspiración Potencial Media del Área de Influencia de la Laguna Cuscachapa, Periodo 1,981-2,010

Parámetro	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Eto(mm/día)	4.313	4.984	5.764	5.984	5.451	5.019	5.113	5.125	4.723	4.353	4.078	4.031
Kc	0.185	0.185	0.185	0.185	0.185	0.185	0.185	0.185	0.185	0.185	0.185	0.185
ETP(mm/día)	0.796	0.920	1.064	1.104	1.006	0.926	0.944	0.946	0.872	0.803	0.753	0.744
ETP (mm)	23.88	27.60	31.92	33.13	30.18	27.79	28.31	28.38	26.15	24.10	22.58	22.32

Fuente: Equipo de trabajo de investigación.

Figura 4.9 Evapotranspiración Potencial Media, Periodo 1981-2010



Fuente: Equipo de trabajo de investigación.

4.4.2.1 Evapotranspiración Real Sobre el Área de Influencia de La Laguna.

En el cálculo de la evapotranspiración real influyen dos factores importantes, estos son: la evapotranspiración potencial y la precipitación. La ecuación para su determinación es la siguiente:

Ecuación 4.1

$$ETR = \begin{cases} ETP, & \text{si } ETP < P \\ P, & \text{si } ETP > P \end{cases}$$

Dónde:

ETR= Evapotranspiración Real

ETP= Evapotranspiración Potencial

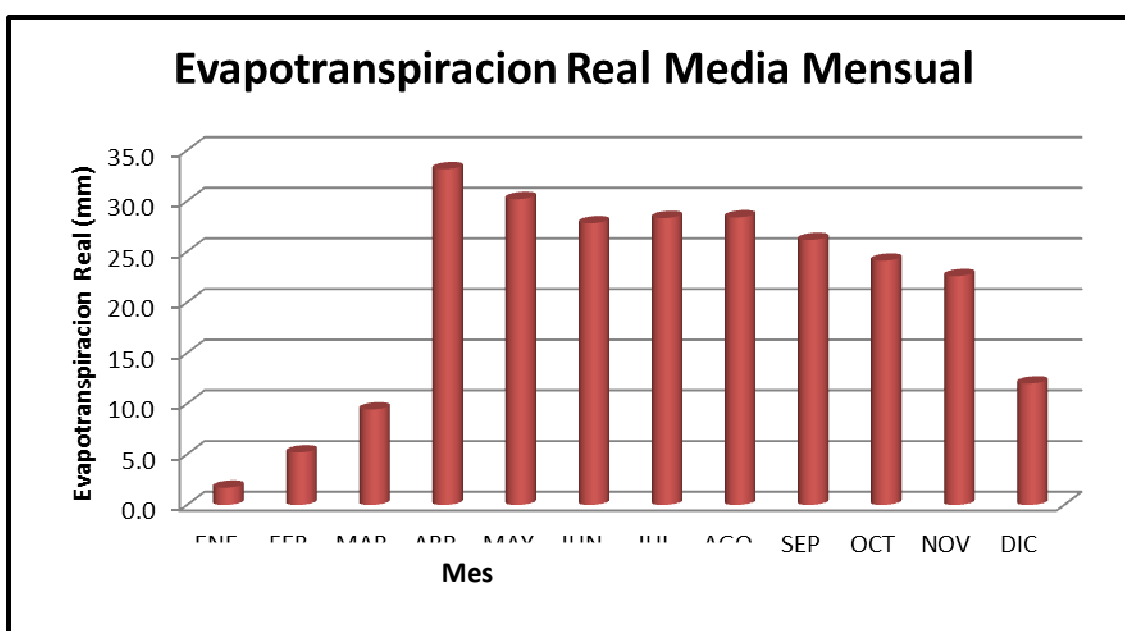
P= Precipitación

Tabla 4.17: Evapotranspiración Real Media, Periodo 1981-2010

MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
P (mm)	1.697	5.180	9.420	56.263	190.820	321.850	297.183	313.334	314.879	185.253	35.563	11.983
ETP (mm)	23.880	27.597	31.916	33.130	30.180	27.791	28.308	28.377	26.148	24.099	22.581	22.317
ETR (mm)	1.697	5.180	9.420	33.130	30.180	27.791	28.308	28.377	26.148	24.099	22.581	11.983

Fuente: Equipo de trabajo de investigación.

Figura 4.10 Evapotranspiración Real, Periodo 1981-2010



Fuente: Equipo de trabajo de investigación

4.4.2.2 Evaporación en Cuerpos de Agua.

No se pudo contar con registros de evaporímetros colocados en el área cercana a la micro cuenca de la Laguna Cuscachapa, por lo tanto, se optó por estimar la evaporación a través de los datos de la evapotranspiración de cultivo, proporcionando un valor de K_c al área cubierta por el agua.

Tabla 4.18: Parámetros para el cálculo de evapotranspiración de cultivo, Periodo 1981-2010

Parámetro	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Tprom (°C)	22.86	23.92	24.94	25.93	25.25	24.36	24.52	24.48	23.62	23.63	23.23	23.11
Tmáx (°C)	30.68	32.09	33.65	33.95	32.20	30.85	30.88	31.11	30.27	30.00	29.82	30.32
Tmin (°C)	16.25	17.04	17.54	18.97	19.57	19.53	19.20	19.29	19.07	18.86	17.69	16.98
Rs(mm/día)	12.15	13.40	14.62	15.38	15.50	15.39	15.38	15.34	14.82	13.69	12.41	11.74
Eto(mm/día)	4.31	4.98	5.76	5.98	5.45	5.02	5.11	5.13	4.72	4.35	4.08	4.03

Fuente: Equipo de trabajo de investigación

Tabla 4.19: Cálculo de coeficiente de Evaporación de la Laguna

	Área(m ²)	% de Área	Kc	Kc*% Área
Área de Influencia	77957.4866	1.000		
Laguna	64773.2106	0.831	0.1	0.083088

Fuente: Equipo de trabajo de investigación

Para el cálculo de Evaporación se emplea la Ecuación 2.14, usando como coeficiente Kc, el coeficiente de evaporación de Lagos, Lagunas y Lagunetas.

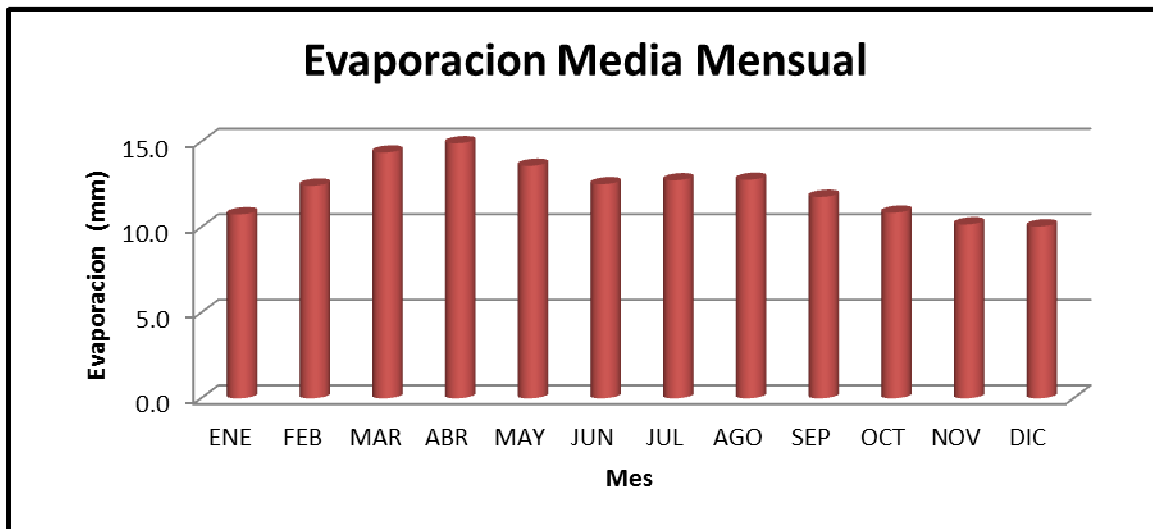
$$\text{Ecuacion 2.14: } ETP = Eto * Kc$$

Tabla 4.20: Evaporación media de la Laguna Cuscachapa, Periodo 1981-2010

Parámetro	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Eto(mm/día)	4.31	4.98	5.76	5.98	5.45	5.02	5.11	5.13	4.72	4.35	4.08	4.03
Evo diaria (mm/día)	0.36	0.41	0.48	0.50	0.45	0.42	0.42	0.43	0.39	0.36	0.34	0.33
Evo(mm)	10.75	12.42	14.37	14.91	13.59	12.51	12.74	12.78	11.77	10.85	10.17	10.05

Fuente: Equipo de trabajo de investigación

Figura 4.11 Evaporación Media, Periodo 1981-2010



Fuente: Equipo de trabajo de investigación

4.4.3 Caudal Subterráneo y Superficial de Entrada

Recarga acuífera.

Representa el valor de las entradas de agua que existe en el área de influencia a la laguna. Para esta investigación se determinó por medio del método de Recarga Acuífera Subterránea RAS, y el caudal superficial proveniente de manantiales, los cuales se han descrito anteriormente en el capítulo 3.

4.4.3.1 Cálculo del método RAS.

Como ya se vio anteriormente en el capítulo 2, para el cálculo de la recarga acuífera subterránea es necesario disponer de los registros de precipitación y de evapotranspiración real en la micro cuenca. Para el cálculo del método RAS se analizará la micro cuenca para el cálculo del coeficiente de infiltración C.

Tomando los valores presentados en el apartado “precipitación media sobre la laguna”, y, los valores obtenidos en el cálculo de “evapotranspiración real media sobre la laguna”, se procede a calcular el coeficiente de infiltración C ponderado, estimado en base a todos los coeficientes que se determinaron para la micro

cuenca en la cual influyen, logrando así determinar un coeficiente de infiltración C uniformado para toda la micro cuenca.

Tabla 4.21: Cálculo de Coeficiente de infiltración de la micro cuenca.

Cálculo de Coeficiente de Infiltración	
Kv	0.2107
Kfc	0.0917
Kp	0.4000

Fuente: Equipo de trabajo de investigación

Ecuación 2.7
$$C = Kv + Kfc + Kp$$
$$C = 0.7024$$

Dónde:

C: Coeficiente de Infiltración.

Kv: Coeficiente por uso del suelo de la micro cuenca.

Kfc: Coeficiente por textura del suelo de la micro cuenca.

Kp: Coeficiente por la pendiente de la superficie de la micro cuenca.

Con el valor obtenido del coeficiente de infiltración C, se procede a realizar el cálculo de la recarga acuífera subterránea RAS, empleando la ecuación 2.5.

Ecuación 2.5
$$R = BC * C$$

Dónde:

R: Recarga Acuífera (mm)

BC: Balance Climático (mm)

C: Coeficiente de Infiltración (adimensional)

El balance climático BC, es la diferencia entre la precipitación y la evapotranspiración real del área de influencia de la laguna, y se calcula por medio de la ecuación 2.6.

$$\text{Ecuación 2.6 } BC = P - ETR$$

Dónde:

P: Precipitación media sobre la micro cuenca (mm)

ETR: Evapotranspiración Real sobre la micro cuenca (mm)

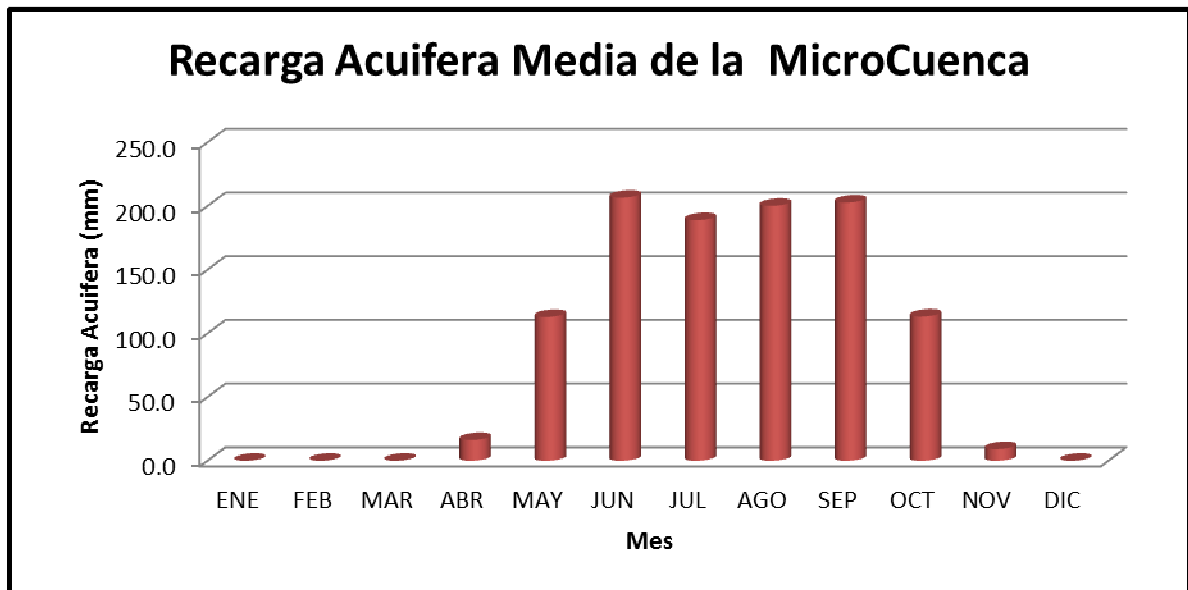
Los resultados obtenidos son los siguientes:

Tabla 4.22: Recarga Acuífera Media Mensual, Periodo 1981 – 2010.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
P(mm)	1.7	5.2	9.4	56.3	190.8	321.9	297.2	313.3	314.9	185.3	35.6	12.0
ETR(mm)	1.697	5.180	9.420	33.130	30.180	27.791	28.308	28.377	26.148	24.099	22.581	11.983
BC(mm)	0.000	0.000	0.000	23.133	160.640	294.059	268.875	284.957	288.731	161.154	12.983	0.000
C	0.702	0.702	0.702	0.702	0.702	0.702	0.702	0.702	0.702	0.702	0.702	0.702
R (mm)	0.000	0.000	0.000	16.249	112.833	206.546	188.857	200.153	202.804	113.194	9.119	0.000

Fuente: Equipo de trabajo de investigación

Figura 4.12 Recarga Acuífera Subterránea RAS, Periodo 1981-2010



Fuente: Equipo de trabajo de investigación

4.4.3.2 Manantiales superficiales.

Estos se consideran como una entrada al sistema hidrológico de la laguna. Debido a que no se cuenta con un registro continuo de control de caudal en estos manantiales, los datos obtenidos en aforos realizados por el equipo de investigación, se tomarán como constantes para todos los meses del año en los periodos de análisis. Para este periodo en análisis comprendido entre los años 1,981-2,010, se tomará en cuenta el afluente 1, descrito anteriormente en el capítulo 3, sección “Afluentes”, el cual fue aforado por el equipo de investigación, y su caudal de aportación a la laguna es de 3.00L/min, lo que equivale a 0.003m³/min. Para efectos de uniformidad de unidades en el cálculo del balance hídrico, se expresara este caudal obtenidos, en mm, para esto se utilizará la siguiente ecuación:

Ecuación 4.2

$$Q_{se} = \frac{Q_m * 43,200}{\text{Area de Laguna}} * 1000mm$$

Dónde:

Q_{se}: Caudal aportado por el manantial superficial (mm)

Q_m: Caudal de Manantial superficial (m³/min).

Factor 43,200: factor de conversión de tiempo, utilizara para convertir caudal por minuto a caudal por día.

Factor 1,000mm: factor de conversión para convertir caudal en metros a milímetro.

El área de la laguna ha sido calculada anteriormente en este capítulo y el valor obtenido es de 64,773.2106m². Utilizando la ecuación 4.2, la aportación del manantial superficial a la laguna, queda estimado de la siguiente manera:

Ecuación 4.2

$$Q_{se} = \frac{0.003 * 43,200}{64,773.2106} * 1000mm$$

$$Q_{se} = 2.00mm$$

Este valor es el utilizado en el cálculo de balance hídrico.

4.4.4 Cálculo Parcial de Balance Hídrico 1981-2010.

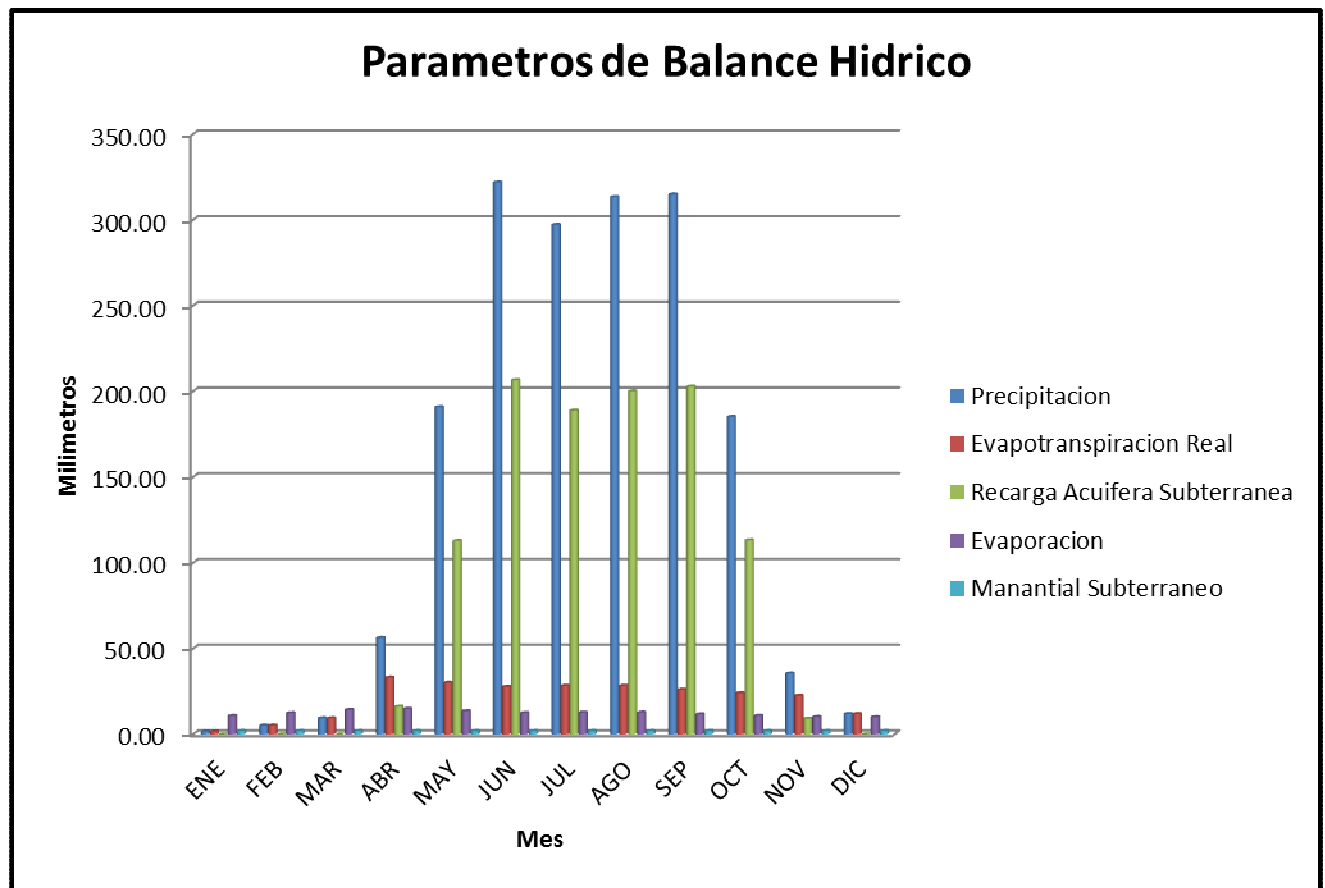
A continuación se resumen los parámetros calculados para determinar un balance hídrico parcial, y los resultados se presentan en la tabla siguiente.

Tabla 4.23: Parámetros para cálculo parcial de balance hídrico, expresados en mm de agua. Periodo 1,981-2,010.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
P	1.70	5.18	9.42	56.26	190.82	321.85	297.18	313.33	314.88	185.25	35.56	11.98
ETR	1.70	5.18	9.42	33.13	30.18	27.79	28.31	28.38	26.15	24.10	22.58	11.98
RAS	0.00	0.00	0.00	16.25	112.83	206.55	188.86	200.15	202.80	113.19	9.12	0.00
Evo	10.75	12.42	14.37	14.91	13.59	12.51	12.74	12.78	11.77	10.85	10.17	10.05
Qse	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00

Fuente: Equipo de trabajo de investigación

Figura 4.13 Parámetros Para el Cálculo de Balance Hídrico, Periodo 1981-2010



Fuente: Equipo de trabajo de investigación

Tabla 4.24: Datos de Área de Influencia de Laguna para el cálculo de balance hídrico.

	Área (m ²)
Área de Influencia	77,957.4866
Laguna	64,773.2106
Bosques de Galería	13,184.276

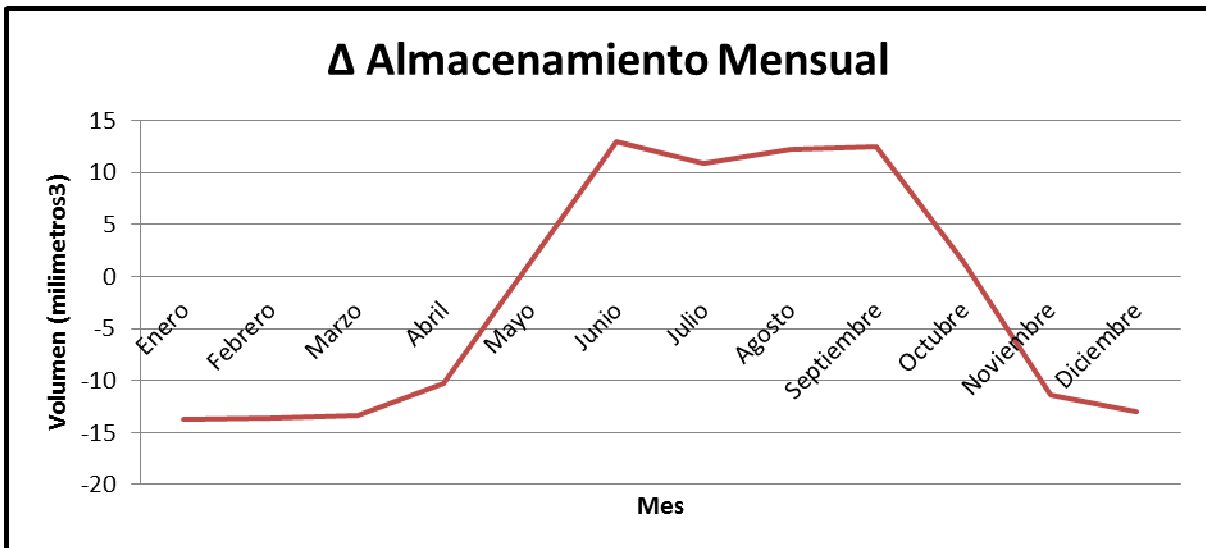
Fuente: Equipo de trabajo de investigación

Tabla 4.25: Parámetros de Balance Hídrico en Miles de Metros Cúbicos

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Anual
P	0.13	0.40	0.73	4.39	14.88	25.09	23.17	24.43	24.55	14.44	2.77	0.93	135.91
ETR	0.02	0.07	0.12	0.44	0.40	0.37	0.37	0.37	0.34	0.32	0.30	0.16	3.28
RAS	0.00	0.00	0.00	0.21	1.49	2.72	2.49	2.64	2.67	1.49	0.12	0.00	13.84
Evo	0.70	0.80	0.93	0.97	0.88	0.81	0.83	0.83	0.76	0.70	0.66	0.65	9.52
Qse	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	1.56
ΔAlm.	-0.46	-0.34	-0.19	3.33	15.22	26.77	24.59	25.99	26.24	15.04	2.07	0.26	138.51

Fuente: Equipo de trabajo de investigación

Figura 4.14 Almacenamiento Mensual en Laguna Cuscachapa, Periodo 1,981-2,010.



Fuente: Equipo de trabajo de investigación

Del cálculo de balance hídrico, obtenemos como resultado el Δ de almacenamiento mensual, de la cual se obtiene un Δ de almacenamiento anual para el periodo de 1981-2010, de:

$$\Delta \text{Almacenamiento Total} = 138,511.32 \text{ m}^3/\text{año.}$$

Para el cambio de altura anual en el espejo de agua, se divide el Δ de almacenamiento total anual entre el área de la laguna, y obtenemos el siguiente resultado:

Ecuación 4.3

$$\Delta \text{Altura} = \frac{\Delta \text{ de almacenamiento total anual}}{\text{Área de laguna}}$$

$$\Delta \text{Altura} = \frac{138,511.32 \text{ m}^3}{64,773.2106 \text{ m}^2}$$

$$\Delta \text{Altura} = 2.14 \text{ m}$$

Lo que indica que en promedio la laguna aumentaría una altura aproximada de 2.14 metros al año.

4.4.5 Cálculo de Caudal de Salida por Infiltración.

Recordando que en el cálculo de balance hídrico anterior no se ha tomado en cuenta el caudal subterráneo de salida, el cual se estaría dando por infiltración, para determinar este caudal, se tomará en cuenta la variación en los volúmenes de agua de la laguna y los resultados obtenidos en el balance hídrico parcial.

Tabla 4.26: Volúmenes de Agua Registrados en la Laguna Cuscachapa.

Tiempo de Medición	Volumen en m ³
V12e, Posterior a Tormenta 12-E	401,983.97
Va, Julio de 2,014	304,811.56

Fuente: Equipo de trabajo de investigación

En el transcurso de los últimos 3 años, desde que se suscitó la tormenta 12-E, la cual causó la inundación de la Laguna Cuscachapa, se ha registrado hasta la fecha una disminución en el volumen de agua en la Laguna ΔV , igual a:

Ecuación 4.4

$$\Delta V = V_{12e} - V_a$$

$$\Delta V = 401,983.97 - 304,811.56$$

$$\Delta V = 97,172.41 \text{m}^3$$

Esta variación del volumen que se ha dado en el transcurso de estos tres años es debido a pérdidas por Evaporación, Evapotranspiración y un Caudal de Salida por Infiltración Q_i . Los datos sobre Evaporación y Evapotranspiración ya se han calculado anteriormente, por lo cual, el único parámetro a encontrar es el caudal de salida por infiltración Q_i , el cual será calculado con la siguiente ecuación:

Ecuación 4.5

$$\Delta V_{\text{anual}} = V_i + V_{\text{evo}} + V_{\text{etr}}$$

Dónde:

ΔV_{anual} : Es la variación de volumen al año.

V_i : Volumen de salida por infiltración.

V_{evo} : Volumen de pérdida por evaporación.

V_{etr} : Volumen de pérdida por evapotranspiración.

Para determinar la variación de volumen anual, basta con sumar el Δ de volumen total desde la tormenta 12-E, en 2,011 hasta julio de 2,014 y el volumen de almacenamiento anual obtenido en el cálculo de balance hídrico parcial. Se calcula de la siguiente manera:

Ecuación 4.6

$$\Delta V_{anual} = \frac{\Delta V}{3 \text{ años}} + \Delta \text{Almacenamiento anual}$$

$$\Delta V_{anual} = \frac{97,172.41}{3 \text{ años}} + 138,511.32$$

$$\Delta V_{anual} = 170,902.12 \text{ m}^3$$

De la ecuación 4.5, se despeja el volumen de infiltración, quedando la siguiente ecuación:

Ecuación 4.7

$$V_i = \Delta V_{anual} - V_{evo} - V_{etr}$$

$$V_i = 170,902.12 - 9,515.78 - 3,281.50$$

$$V_i = 158,104.84 \text{ m}^3$$

Este es el volumen de agua que se pierde anualmente en la laguna debido a la Infiltración a través de fracturas en los estratos rocosos que rodean la laguna Cuscachapa.

Por lo tanto, el Caudal de Salida por Infiltración mensual es:

$$Q_{inf.} = 13,175.40 \text{ m}^3/\text{mes}$$

4.5 Cálculo de Balance Hídrico Real, Periodo 1,981-2,010.

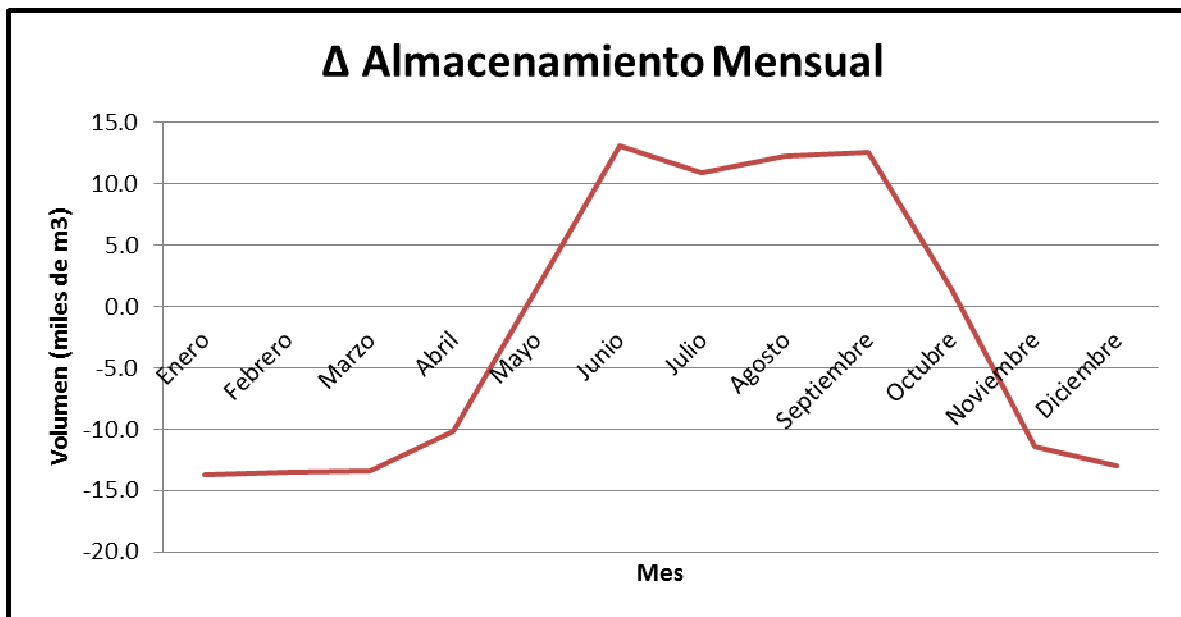
Teniendo todos los parámetros necesarios, se procede a realizar el cálculo de balance hídrico real de la Laguna Cuscachapa. Para lo cual se llevará a cabo el mismo procedimiento que el utilizado en la sección 4.3.4, "Cálculo parcial de balance hídrico".

Tabla 4.27: Parámetros Para el Cálculo de Balance Hídrico en Miles de Metros Cúbicos.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Anual
P	0.13	0.40	0.73	4.39	14.88	25.09	23.17	24.43	24.55	14.44	2.77	0.93	135.91
ETR	0.02	0.07	0.12	0.44	0.40	0.37	0.37	0.37	0.34	0.32	0.30	0.16	3.28
RAS	0.00	0.00	0.00	0.21	1.49	2.72	2.49	2.64	2.67	1.49	0.12	0.00	13.84
Evo	0.70	0.80	0.93	0.97	0.88	0.81	0.83	0.83	0.76	0.70	0.66	0.65	9.52
Qse	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	1.56
Qinf.	13.18	13.18	13.18	13.18	13.18	13.18	13.18	13.18	13.18	13.18	13.18	13.18	158.10
Δ Alm.	-13.63	-13.52	-13.37	-9.85	2.04	13.59	11.41	12.82	13.07	1.87	-11.11	-12.92	-19.59

Fuente: Equipo de trabajo de investigación

Figura 4.15 Almacenamiento Mensual Real en Laguna Cuscachapa, Periodo 1,981-2,010.



Fuente: Equipo de trabajo de investigación

Como resultado se obtiene el Δ de almacenamiento total de la Laguna Cuscachapa, el cual tiene un valor de $-19,593.524\text{m}^3$ al año, con esto se puede calcular la variación en el nivel del espejo de agua en la Laguna. Su cálculo se realiza por medio de la ecuación 4.3.

Ecuación 4.3

$$\Delta\text{Altura} = \frac{\Delta \text{ de almacenamiento total anual}}{\text{Area de laguna}}$$

$$\Delta\text{Altura} = \frac{-19,593.524\text{m}^3}{64,773.2106\text{m}^2}$$

$$\Delta\text{Altura} = -0.302\text{m}$$

Esto indica que cada año la Laguna Cuscachapa tiene una disminución en su volumen de aproximadamente $-19,593.524\text{m}^3$, lo cual se ve reflejado en una disminución de la altura del espejo de agua igual a 0.302m , equivalente a 30.2cm .

4.6 Componentes del Balance Hídrico 2,011

A continuación se detallarán los resultados obtenidos para cada uno de los parámetros considerados en el Balance Hídrico realizado para el año 2,011, año en el cual se suscitó la inundación de la laguna. El procedimiento es el mismo utilizado en la sección 4.4, “Componentes del Balance Hídrico 1,981-2,010” y sección 4.5, “Cálculo del Balance Hídrico Real, Periodo 1,981-2,010”. Por lo tanto se opta para presentar de forma más precisa los resultados obtenidos para determinación de los parámetros del balance hídrico correspondiente al año 2,011. Como se detalló en la sección 4.4, para el análisis de los componentes del balance hídrico, se tomara en cuenta únicamente el área de influencia perimetral de la Laguna Cuscachapa. Para datos registrados en la estación, véase Anexo 5.

4.6.1 Precipitación (P)

Este parámetro se determinó al igual que en la sección 4.4.1, a partir de datos de precipitación recolectados en la estación A-37 Santa Ana UNICAES, que es la estación más cercana a la Laguna Cuscachapa que cuenta con un registro continuo.

Los datos obtenidos se presentan a continuación. Véase Tabla 4.28.

Tabla 4.28: Precipitación Mensual, Año 2,011.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Precipitación(mm)	0.0	23.5	15.4	82.3	174.6	344.5	456.0	406.0	247.9	538.6	35.4	0.0

Fuente: Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales MARN

4.6.2 Evapotranspiración + Evaporación (E)

Para el cálculo de la Evapotranspiración se dispone del método de Hargreaves, en el cual se utilizan parámetros de temperatura y radiación solar, para los cuales se tomaran los datos recolectados en la estación A-37, antes descrita, la cual tiene datos de temperatura promedio, temperaturas máxima y mínima, y radiación extraterrestre. Dichos datos registrados también serán utilizados en el cálculo de Evaporación.

Tabla 4.29: Radiación Solar Mensual, Año 2,011.

Radiación Solar	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
H-8 (KWh/m2/día)	8.2	8	8.6	6.7	6.8	5.7	6.6	5.8	4.8	4.6	7.8	8.1
(MJ/m2/día)	29.5231	28.8030	30.9633	24.1225	24.4826	20.5222	23.7625	20.8822	17.2818	16.5618	28.0830	29.1631
(mm/día)	12.0454	11.7516	12.6330	9.8420	9.9889	8.3730	9.6951	8.5199	7.0510	6.7572	11.4579	11.8985

Fuente: Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales MARN.

4.6.2.1 Evaporación en Cuerpos de Agua, Año 2011

Siguiendo los lineamientos realizados en la sección 4.4.2.2 “Evaporación en Cuerpos de Agua”, se procede a realizar el cálculo de evaporación en la laguna, para el año 2,011. Véase tabla 4.32.

Tabla 4.30: Evaporación Mensual de la Laguna, Año 2011.

Parámetro	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Tprom. °C	22.70	23.40	23.30	24.50	25.10	23.90	23.70	23.70	23.40	22.70	22.40	22.00
Tmáx. °C	31.50	32.60	32.70	33.60	32.90	31.40	31.10	31.30	31.00	28.60	30.40	30.40
Tmin. °C	17.20	17.90	17.40	16.20	20.50	19.90	19.90	19.90	20.00	19.20	17.80	17.60
Rs.(mm/día)	12.05	11.75	12.63	9.84	9.99	8.37	9.70	8.52	7.05	6.76	11.46	11.90
Eto(mm/día)	4.24	4.27	4.67	3.99	3.47	2.72	3.10	2.74	2.21	1.93	3.76	3.89
Evo(mm/día)	0.35	0.35	0.39	0.33	0.29	0.23	0.26	0.23	0.18	0.16	0.31	0.32
Evo (mm)	10.57	10.64	11.64	9.95	8.65	6.78	7.72	6.84	5.52	4.81	9.37	9.71

Fuente: Equipo de trabajo de investigación.

4.6.2.2 Evapotranspiración Real Sobre el Área de Influencia de la Laguna, Año 2011.

Para el cálculo de evapotranspiración real, necesitamos conocer la evapotranspiración potencial promedio mensual del año 2,011, los resultados se presentan resumidos en la tabla 4.31.

Tabla 4.31: Evapotranspiración Potencial Mensual de la Laguna, Año 2011.

Parámetro	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	ÓCT	NOV	DIC
Tprom. °C	22.7	23.4	23.3	24.5	25.1	23.9	23.7	23.7	23.4	22.7	22.4	22.0
Tmáx. °C	31.5	32.6	32.7	33.6	32.9	31.4	31.1	31.3	31.0	28.6	30.4	30.4
Tmin. °C	17.2	17.9	17.4	16.2	20.5	19.9	19.9	19.9	20.0	19.2	17.8	17.6
Rs.(mm/día)	12.05	11.75	12.63	9.84	9.99	8.37	9.70	8.52	7.05	6.76	11.46	11.90
Eto(mm/día)	4.241	4.267	4.669	3.992	3.469	2.722	3.095	2.744	2.215	1.929	3.759	3.895
ETP(mm/día)	0.783	0.788	0.862	0.737	0.640	0.502	0.571	0.507	0.409	0.356	0.694	0.719
ETP Mensual (mm)	23.481	23.628	25.851	22.105	19.208	15.071	17.139	15.196	12.264	10.680	20.811	21.565

Fuente: Equipo de trabajo de investigación

Nuevamente se calculará la evapotranspiración real sobre el área de influencia por medio de la ecuación 4.1, dando como resultado los datos presentados en la siguiente tabla.

Tabla 4.32: Evapotranspiración Real Sobre el Área de Influencia de la Laguna, Año 2,011.

MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
P (mm)	0	23.500	15.400	82.300	174.600	344.500	456.000	406.000	247.900	538.600	35.400	0.000
ETP (mm)	23.481	23.628	25.851	22.105	19.208	15.071	17.139	15.196	12.264	10.680	20.811	21.565
ETR (mm)	0.000	23.500	15.400	22.105	19.208	15.071	17.139	15.196	12.264	10.680	20.811	0.000

Fuente: Equipo de trabajo de investigación

4.6.3 Caudal Subterráneo y Superficial de Entrada.

Recarga acuífera.

Representa el valor de las entradas de agua que existen en la laguna. Para esta investigación se determinó por medio del método de Recarga Acuifera Subterránea RAS, y el caudal superficial proveniente de manantiales, los cuales se han descrito anteriormente en el capítulo 3.

4.6.3.1 Cálculo del Método RAS.

Como se vio en la sección “Cálculo del Método RAS” para el periodo 1,981-2,010, se tomarán nuevamente los parámetros de precipitación y evapotranspiración real en el área de influencia de la laguna, y utilizando el coeficiente de infiltración C, obtenemos la recarga acuifera subterránea a la Laguna Cuscachapa para el año 2,011. Los resultados se presentan en la tabla 4.33.

Tabla 4.33: Recarga acuifera Subterránea del Área de Influencia de la Laguna, Año 2,011.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
P(mm)	0.0	23.5	15.4	82.3	174.6	344.5	456.0	406.0	247.9	538.6	35.4	0.0
ETR(mm)	0.000	23.500	15.400	22.105	19.208	15.071	17.139	15.196	12.264	10.680	20.811	0.000
BC(mm)	0.000	0.000	0.000	60.195	155.392	329.429	438.861	390.804	235.636	527.920	14.589	0.000
C	0.702	0.702	0.702	0.702	0.702	0.702	0.702	0.702	0.702	0.702	0.702	0.702
RAS(mm)	0.00	0.00	0.00	42.28	109.15	231.39	308.25	274.50	165.51	370.81	10.25	0.000

Fuente: Equipo de trabajo de investigación

4.6.3.2 Manantiales Superficiales.

Para el año de análisis realizado en esta sección, se tomará, para los meses desde Enero, hasta Octubre, un solo manantial, que es el “afluente 1” cuyo caudal es de 3L/min, y en los meses de Noviembre y Diciembre, adicional al caudal aportado por el “afluente 1”, se tomara en cuenta el caudal aportado por el “afluente 2” detallado en el capítulo 3, debido que este manantial se presentó

después de la Tormenta 12-E, y su caudal es de 2.5L/min. Dando un aporte a la laguna en altura de agua igual a 3.67mm.

4.7 Cálculo de Balance Hídrico, Año 2011.

Teniendo todos los parámetros para el cálculo del balance correspondiente al año 2,011, se procede a determinar el balance hídrico de la Laguna Cuscachapa.

Tabla 4.34: Parámetros Para el Cálculo del Balance Hídrico, Año 2,011. Expresados en milímetros de agua.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
P	0.00	23.5	15.4	82.3	174.6	344.5	456	406	247.9	538.6	35.4	0
ETR	23.48	23.63	25.85	22.10	19.21	15.07	17.14	15.20	12.26	10.68	20.81	21.57
RAS	0.00	0.00	0.00	42.28	109.15	231.39	308.25	274.50	165.51	370.81	10.25	0
Evo	10.57	10.64	11.64	9.95	8.65	6.78	7.72	6.84	5.52	4.81	9.37	9.71
Qse	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	3.67	3.67
Qi	13.18	13.18	13.18	13.18	13.18	13.18	13.18	13.18	13.18	13.18	13.18	13.18

Fuente: Equipo de trabajo de investigación

Tabla 4.35: Datos de Área de Influencia de Laguna para el cálculo de balance hídrico.

	Área (m ²)
Área de Influencia	77,957.4866
Laguna	64,773.2106
Bosques de Galería	13,184.276

Fuente: Equipo de trabajo de investigación

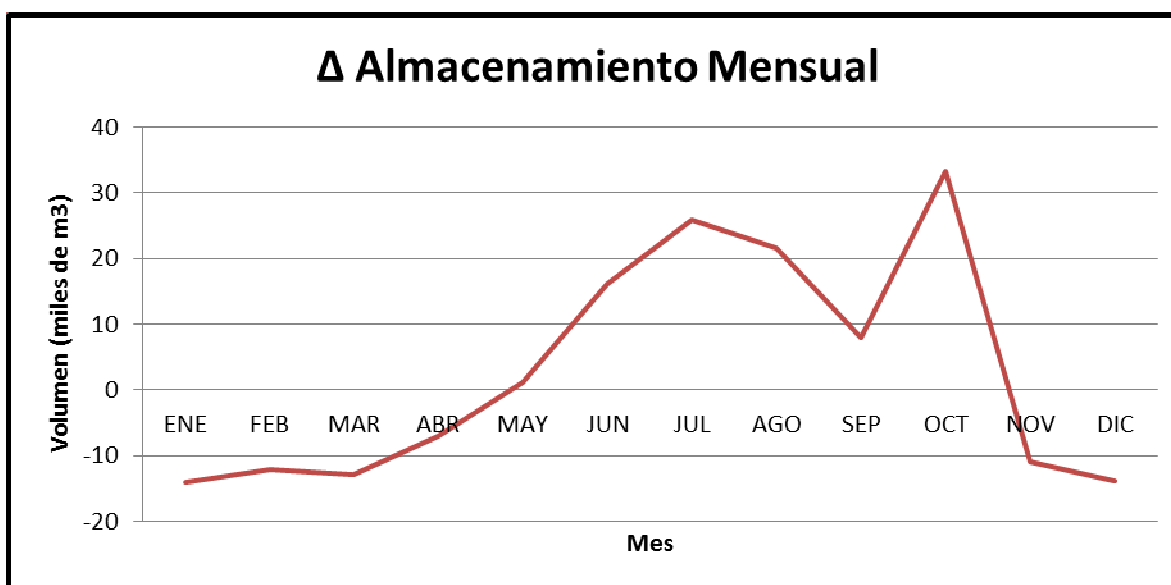
Con datos de parámetros para el cálculo del balance, y los valores dentro del área de influencia de la laguna, podemos calcular el balance hídrico de la Laguna Cuscachapa para el año 2,011. Véase tabla 4.36.

Tabla 4.36: Balance Hídrico de la Laguna Cuscachapa, Año 2,011, expresado en miles de metros cúbicos.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
P	0.00	1.83	1.20	6.42	13.61	26.86	35.55	31.65	19.33	41.99	2.76	0.00	181.19
ETR	0.31	0.31	0.34	0.29	0.25	0.20	0.23	0.20	0.16	0.14	0.27	0.28	2.99
RAS	0.00	0.00	0.00	0.56	1.44	3.05	4.06	3.62	2.18	4.89	0.14	0.00	19.94
Evo	0.68	0.69	0.75	0.64	0.56	0.44	0.50	0.44	0.36	0.31	0.61	0.63	6.62
Qse	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.24	0.24	1.77
Qi	13.18	13.18	13.18	13.18	13.18	13.18	13.18	13.18	13.18	13.18	13.18	13.18	158.10
Δ ALM	-14.04	-12.21	-12.94	-7.01	1.19	16.22	25.84	21.58	7.94	33.38	-10.92	-13.85	35.18

Fuente: Equipo de trabajo de investigación

Figura 4.16 Almacenamiento Mensual Real en Laguna Cuscachapa, Año 2,011.



Fuente: Equipo de trabajo de investigación

Con el Δ de almacenamiento en la laguna, el cual equivale a 35,179.58m³ se puede determinar la altura que subiría la laguna por su comportamiento natural, es decir, sin la influencia de factores relaciones con la actividad humana que pueden afectar el ecosistema de la Laguna Cuscachapa, durante el año 2,011.

Ecuación 4.3

$$\Delta\text{Altura} = \frac{\Delta \text{ de almacenamiento total anual}}{\text{Area de laguna}}$$

$$\Delta\text{Altura} = \frac{35,180.45\text{m}^3}{64,773.2106\text{m}^2}$$

$$\Delta\text{Altura} = 0.543\text{m}$$

Esto indica que debido a un invierno con alto índice de precipitación, y, especialmente por la influencia de la Tormenta 12-E, la Laguna Cuscachapa hubiese tenido un aumento en su volumen de aproximadamente 35,180.45m³, lo cual se ve reflejado en un aumento de la altura del espejo de agua igual a 0.543m, equivalente a 54.30cm.

4.8 Cálculo de Balance Hídrico, Periodo 2012-2013.

Con el fin de determinar si la disminución en el nivel de la Laguna Cuscachapa, es parte de su comportamiento natural, y no a causa de la intervención del hombre, se llevará a cabo el cálculo de un balance hídrico de los años 2012-2013, para lo cual se tomarán en cuenta nuevamente todos los parámetros utilizados en los cálculos de balance hídrico realizados anteriormente y siempre tomando en cuenta únicamente el área perimetral de la laguna para el análisis de componentes de balance hídrico. Para datos registrados en estación, véase Anexo 6.

Realizando el mismo procedimiento, se han calculado los parámetros necesarios y sus resultados son presentados de forma resumida a continuación. Véase Tabla 4.37.

Tabla 4.37: Parámetros Para el Cálculo del Balance Hídrico, Periodo 2,012-2,013. Expresados en Milímetros de Agua.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
P	3.3	3.7	17.6	69.4	270.3	214.0	213.2	343.2	257.0	236.0	18.5	3.1
ETR	3.3	3.7	17.6	21.1	15.1	14.2	19.5	17.8	14.9	17.3	18.5	3.1
RAS	0.0	0.0	0.0	33.9	179.2	140.3	136.0	228.5	170.0	153.6	0.0	0.0
Evo	9.8	10.1	11.7	9.5	6.8	6.4	8.8	8.0	6.7	7.8	8.4	9.4
Qse	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7
Qi	13.2	13.2	13.2	13.2	13.2	13.2	13.2	13.2	13.2	13.2	13.2	13.2

Fuente: Equipo de trabajo de investigación

Tabla 4.38: Datos de Área de Influencia de Laguna para el cálculo de balance hídrico.

	Área (m ²)
Área de Influencia	77,957.4866
Laguna	64,773.2106
Bosques de Galería	13,184.276

Fuente: Equipo de trabajo de investigación

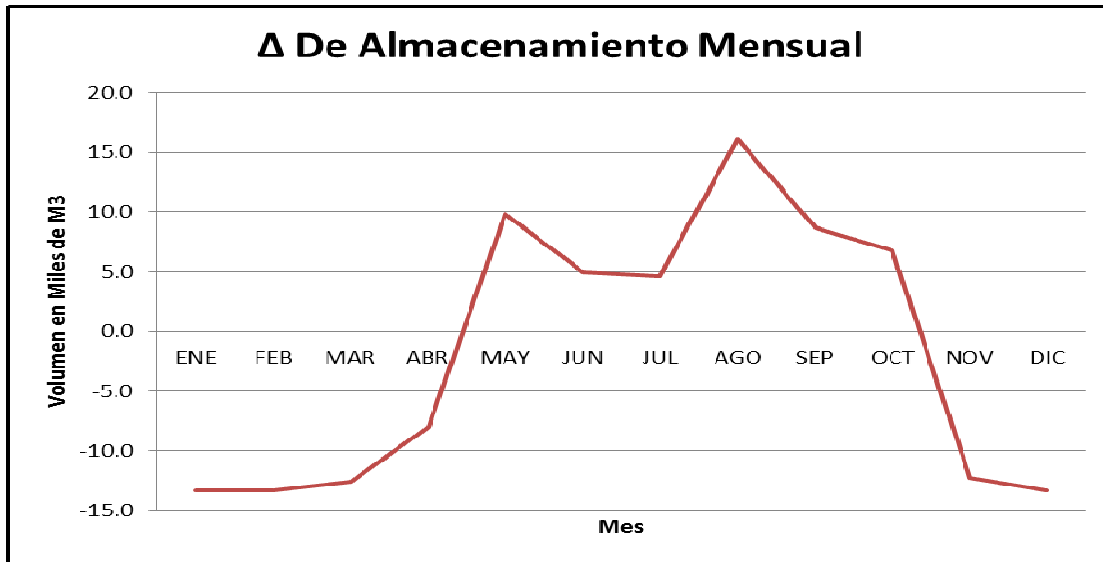
Con los valores de los parámetros detallados en la tabla 4.37, y los obtenidos de la tabla 4.38, se procede a calcular el balance hídrico de la Laguna Cuscachapa para el periodo 2,012-2,013. Sus resultados son presentados a continuación.

Tabla 4.39 Balance Hídrico de la Laguna Cuscachapa, Periodo 2,012-2,013. Expresada en Miles de Metros Cúbicos.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
P	0.26	0.29	1.37	5.41	21.07	16.68	16.62	26.75	20.03	18.40	1.44	0.24	128.54
ETR	0.04	0.05	0.23	0.28	0.20	0.19	0.26	0.24	0.20	0.23	0.24	0.04	2.19
RAS	0.00	0.00	0.00	0.45	2.36	1.85	1.79	3.01	2.24	2.03	0.00	0.00	13.73
Evo	0.64	0.65	0.76	0.61	0.44	0.42	0.57	0.52	0.44	0.50	0.55	0.61	6.70
Qse	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	2.85
Qi	13.18	13.18	13.18	13.18	13.18	13.18	13.18	13.18	13.18	13.18	13.18	13.18	158.10
Δ ALM	-13.36	-13.35	-12.56	-7.98	9.85	4.99	4.64	16.07	8.70	6.76	-12.28	-13.35	-21.87

Fuente: Equipo de trabajo de investigación

Figura 4.17 Almacenamiento Mensual Real en Laguna Cuscachapa, Periodo 2,012-2,013.



Fuente: Equipo de trabajo de investigación

Con el Δ de almacenamiento en la laguna, el cual equivale a $-21,870.14\text{m}^3$ al año se puede determinar la altura que disminuye la laguna por su comportamiento natural durante el periodo 2,012-2,013.

Ecuación 4.3

$$\Delta\text{Altura} = \frac{\Delta \text{ de almacenamiento total anual}}{\text{Area de laguna}}$$

$$\Delta\text{Altura} = \frac{-21,870.14\text{m}^3}{64,773.2106\text{m}^2}$$

$$\Delta\text{Altura} = -0.3376\text{m}$$

Esto indica que durante los últimos dos años, la Laguna Cuscachapa tiene una disminución en su volumen de aproximadamente $-21,870.14\text{m}^3$ al año, lo cual se ve reflejado en una disminución de la altura del espejo de agua igual a 0.3376m , equivalente a 33.76cm .

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y

RECOMENDACIONES

5.1 Introducción

Analizando los resultados presentados en este estudio, se puede observar una tendencia natural de la Laguna Cuscachapa a disminuir y aumentar su nivel de forma cíclica con cada invierno, por lo cual es necesario hacer recomendaciones de propuestas amigables con el medio ambiente para respetar el curso natural de la laguna, en este capítulo se detallan algunas propuestas para la preservación de la laguna Cuscachapa.

5.2 Conclusiones

- Realizado el balance hídrico para la tormenta 12-E se pudo constatar que el aumento de nivel en la laguna Cuscachapa se debió a una combinación de factores naturales, como lo fue el invierno copioso que se registró en ese año, ya que las precipitaciones mensuales registradas por la estación A-37 Santa Ana UNICAES del Ministerio de Medio Ambiente, superó ampliamente a los registros de años anteriores en precipitación, lo cual sumado a escorrentía superficial proveniente de rebalse de las canaletas de las colonias aledañas generó una aportación extra de caudal a la laguna, lo cual contribuyó a la inundación registrada en ese año.
- Del reconocimiento geológico e hidrogeológico realizado en este estudio se pudo observar que los estratos que conforman la zona de la laguna Cuscachapa son pertenecientes a la formación San Salvador siendo efusivas basálticas de baja permeabilidad, los cuales no permiten una rápida infiltración, véase Figura 4.36. Mapa geológico de la micro-cuenca
- Los afluentes que alimentan la laguna Cuscachapa son provenientes de grietas y fisuras ubicadas en la zona sur de la laguna, estos afluentes provienen del acuífero de Chalchuapa, por medio de la diferencia de presión que generan el estrato rocoso que la conforman, haciendo subir agua del acuífero a la superficie, siendo su aportación de caudal de 3 l/min.
- Para la identificación de efluentes en la laguna Cuscachapa fue necesario una inspección de nivel freático en la zona, debido a que en recorrido al perímetro de la laguna no se identificó ningún efluente superficial.

- El perfil piezómetro del acuífero de Chalchuapa se encuentra aproximadamente 10 metros abajo del fondo de la laguna, con lo cual se puede inferir que existe un efluente subterráneo por posibles fracturas en el estrato rocoso. Estando la cota de fondo de la laguna en la elevación 705 m.s.n.m y el nivel del acuífero en la elevación 695 m.s.n.m
- Para el estudio hidrológico se tomó como pérdidas de caudal o efluentes solamente la evapotranspiración, evaporación e infiltración, debido a la ausencia de un caudal de efluente superficial.
- Se realizó un recorrido al perímetro de la laguna Cuscachapa para medir el descenso de nivel manifestado por los habitantes de la zona, con cual se pudo constatar que existe hasta la fecha un descenso de aproximadamente 1 metro al nivel registrado por la inundación en 2011. Siendo la tasa de descenso anual de 34 cm.
- El volumen de agua simulado con datos actuales e históricos de la laguna Cuscachapa para la tormenta 12-E fue de: 401,983.97 m³
- Con el estudio batimétrico realizado se pudo determinar que la profundidad máxima hasta agosto de 2014 en la laguna Cuscachapa es de 8.04 metros, sobre el nivel actual, cuya elevación es de 713 m.s.n.m
- El volumen de agua de la laguna Cuscachapa medida en agosto de 2014 es de 304,811.54 m³
- La comparación de batimetrías realizadas en entre año 1997 y 1998 realizada por un grupo de estudiantes de la Universidad de El Salvador, en 2012 por el Ministerio de Medio ambiente y la realizada en este documento

nos manifiesta un cambio significativo de niveles al pasar de los años, el cual refleja el comportamiento natural de la laguna Cuscachapa a aumentar y disminuir de forma cíclica con cada año hidrológico, ya que en el estudio de 1999 se presenta una profundidad de 6.4 m. y en 2013 una profundidad medida de 9.8m

- Según los resultados obtenidos en el balance hídrico se espera que aproximadamente en 4 años y 10 meses la laguna Cuscachapa recupere su nivel registrado antes de la tormenta 12-E.

5.3 Recomendaciones

1. Se recomienda una reforestación en los alrededores de la laguna con árboles nativos de la región y/o árboles que puedan estar sumergidos en el agua. Véase tabla 5.1.

Tabla.5.1 Especies de árboles recomendados para reforestación.

Nombre Común	Nombre Científico
Sauce Llorón	<i>Salix babilónica</i>
Almendro de Rio	<i>Andira Inermes</i>
Mango	<i>Mangifera indica</i>
Caoba	<i>Ceiba pentandra</i>
Conacaste Negro	<i>Enterolobium cyclocarpum</i>
Madre Cacao	<i>Gliricidia sepium</i>
Guachipilín	<i>Diphysa americana</i>

Fuente: Ministerio de Agricultura y Ganadería, Dirección de Ordenamiento Forestal Cuencas y Riego, Área Forestal – Región I Santa Ana

2. El nivel de la laguna Cuscachapa debe ser monitoreado periódicamente, para esto se sugiere la instalación de un limnómetro en la parte Este de la laguna por parte de las autoridades municipales o el Ministerio de Medio Ambiente, con esto se busca mantener un registro de la altura de la laguna.

3. Se sugiere que cuando este nivel sea superado se implemente una extracción de agua controlada para fines de riego u otra actividad que se considere pertinente por parte de las autoridades municipales para no sobre explotar el recurso y hacerse de manera progresiva para no afectar el ecosistema formado por la laguna, tomando en cuenta las disposiciones de la ley de riego y avenamiento vigentes, que en su Capítulo III, Régimen de Permisos y Concesiones, Artículo 10, regula el permiso para estas actividades, dejando como ente regulador al Ministerio de Agricultura y Ganadería, MAG.

4. La implementación de proyectos de cualquier índole en la laguna Cuscachapa debe tener un carácter sostenible y amigable con el medio ambiente, por cual se deben someter a estudios de impacto ambiental, tal como lo dictamina la Ley de Medio Ambiente en su Art. 21, y para el caso de atracciones turísticas el literal J del mismo artículo determina que debe ser evaluado su impacto al medio ambiente antes de ser puestas en funcionamiento.

5. En el caso de la Laguna Cuscachapa si se quisiese reactivar el proyecto turístico se debe tomar en consideración la calidad del agua, esta deber estar dentro de los Límites permisibles de Calidad de Agua para el contacto humano y/o actividades recreativas sugeridos por la Organización Mundial para la Salud.

6. Se recomienda retirar los cables y bases del canopy, con la finalidad de proteger la integridad de los árboles que no fueron afectados por la inundación, y así hacer al proyecto amigable con el medio ambiente.

BIBLIOGRAFIA

Hidrología Aplicada, Ven Te Chow, Mc Graw-Hill, 3era Edición.

Fundación Wikipedia. (26 Mayo 2014).Wikipedia La Enciclopedia Libre [Versión Electrónica]. http://es.wikipedia.org/wiki/Ciclo_hidrol%C3%B3gico

Métodos de Cálculo del balance hídrico, Guía internacional de investigación y métodos, UNESCO, 1981

Cornejo A. & Córdova O. (201). Causas de Inundación del área natural protegida laguna El Jocotal, Ubicada en la cuenca del rio Grande de San Miguel. Universidad de El Salvador, San Salvador, El Salvador.

Estudio de Saneamiento y Sedimentación para la Protección y Conservación de la Laguna de Cuscachapa". L. Ramírez, H. Santamaría, C. Viana, Abril 1999, UES

Allen Bateman, 1997, Hidrología Básica y Aplicada, Recuperado. <http://www.upct.es/~minaees/hidrologia.pdf>

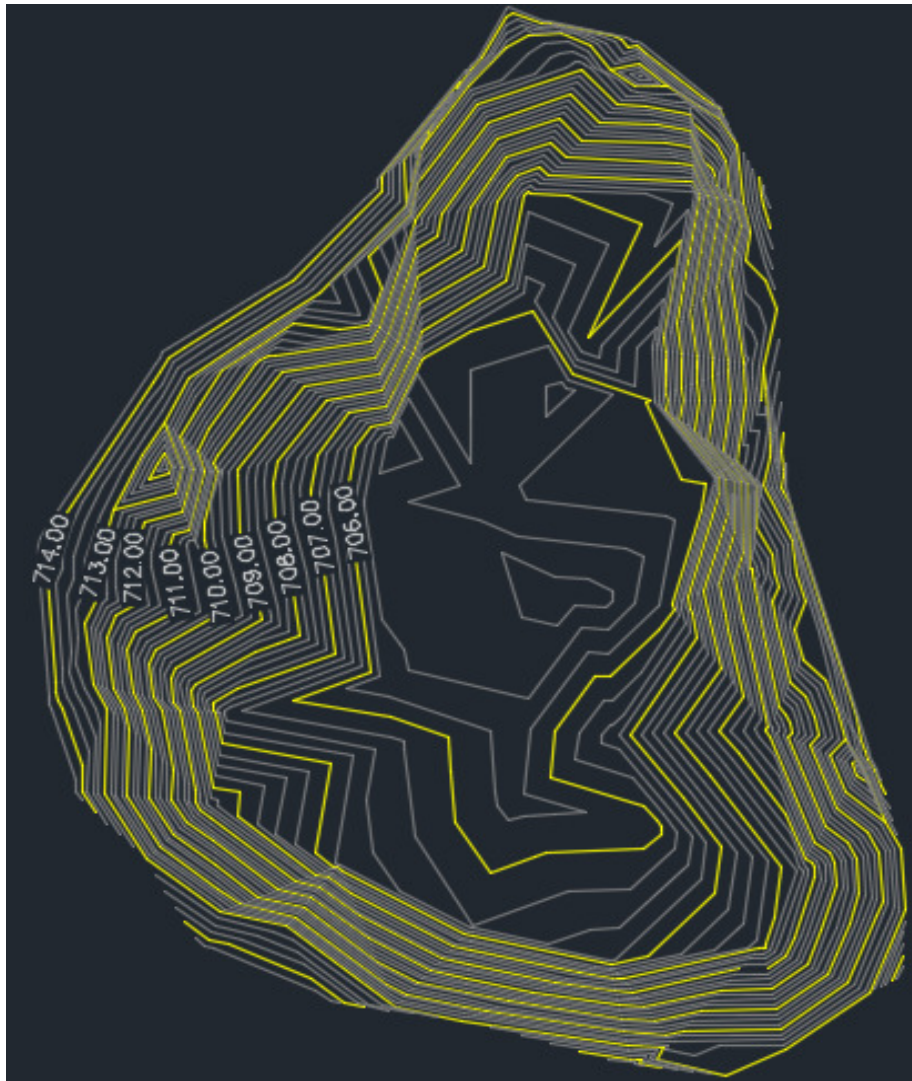
Martín Junker. (s.f.). Método RAS para determinar la Recarga de Agua Subterránea. San Salvador.

UNESCO. (1981). Métodos de cálculo del balance hídrico - Guía internacional de investigación y métodos. París.

Servicio Nacional de Estudios Territoriales - Servicio Hidrológico Nacional. (2005).
BALANCE HÍDRICO INTEGRADO Y DINAMICO EN EL SALVADOR. San
Salvador.

ANEXOS

Anexo 1. Mapa con curvas de nivel para la creación de la nueva superficie de la Laguna Cuscachapa, después de la tormenta 12-E en Octubre de 2011.



Anexo 2. Mapa de Modelo de Elevacion Digital o DEM, para la simulacion de la inundacion por la tormenta 12-E en Octubre de 2011.



Number	Minimum Elevation	Maximum Elevation	Area	Color
1	705.00	706.00	14756.49	Light Green
2	706.00	707.00	12774.55	Light Green
3	707.00	708.00	7494.58	Light Green
4	708.00	709.00	5729.83	Light Green
5	709.00	710.00	5132.80	Light Green
6	710.00	711.00	5252.31	Light Green
7	711.00	712.00	5729.81	Light Green
8	712.00	713.00	7154.14	Light Green
9	713.00	714.00	5459.57	Light Green
10	714.00	715.00	2183.13	Light Green

Anexo 3 Metodo Utilizado Para El Trazado De La Microcuenca De La Laguna De Cuscachapa

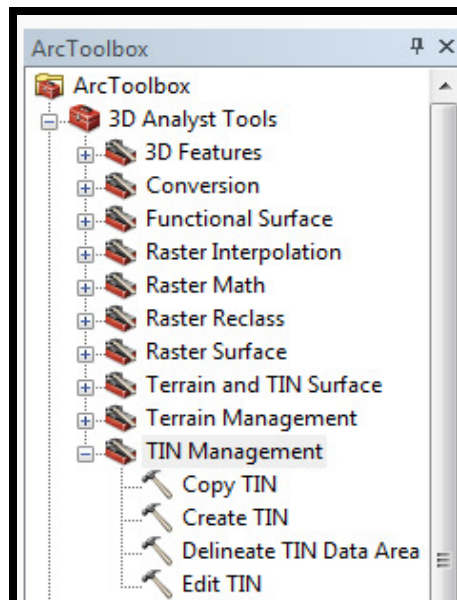
- **METODO UTILIZADO PARA EL TRAZADO DE LA MICROCUENCA DE LA LAGUNA DE CUSCACHAPA.**

Para poder trazar la Micro Cuenca de la Laguna Cuscachapa, primero se necesita tener un **Modelo Digital del Terreno** o **DEM**, por sus siglas en inglés, este lo crearemos a partir de las curvas de nivel cada diez metros con escala 1:25000, sacadas de los cuadrantes 25,000.

Utilizaremos el Programa de ArcGIS 10 para transformar las curvas cada 10 metros en una **Red de Triangulación Irregular** o **TIN**, por sus siglas en inglés, siguiendo los siguientes pasos:

En ArcGIS 10 se utiliza la extensión **3D Analyst Tools**, donde encontraremos la opción **TIN Management** y seleccionaremos **Create TIN**,

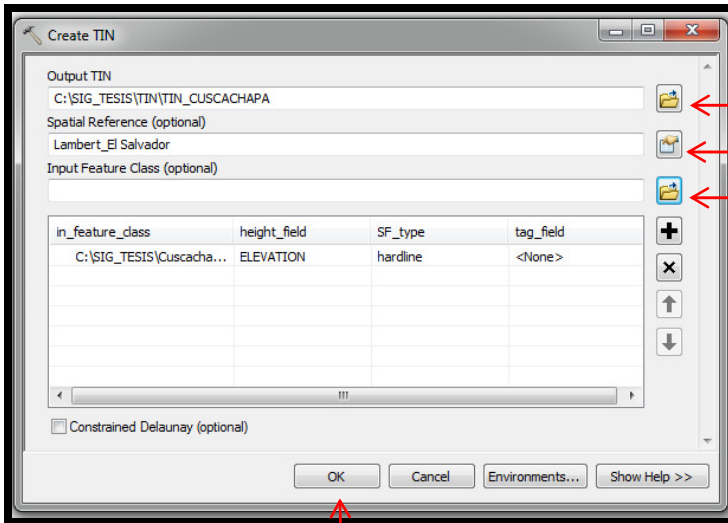
Barra de herramientas de ArcGIS



Fuente: Equipo de trabajo de investigación

A continuación nos aparecerá la siguiente ventana,

: Create TIN



Aquí se selecciona el archivo de las curvas de nivel

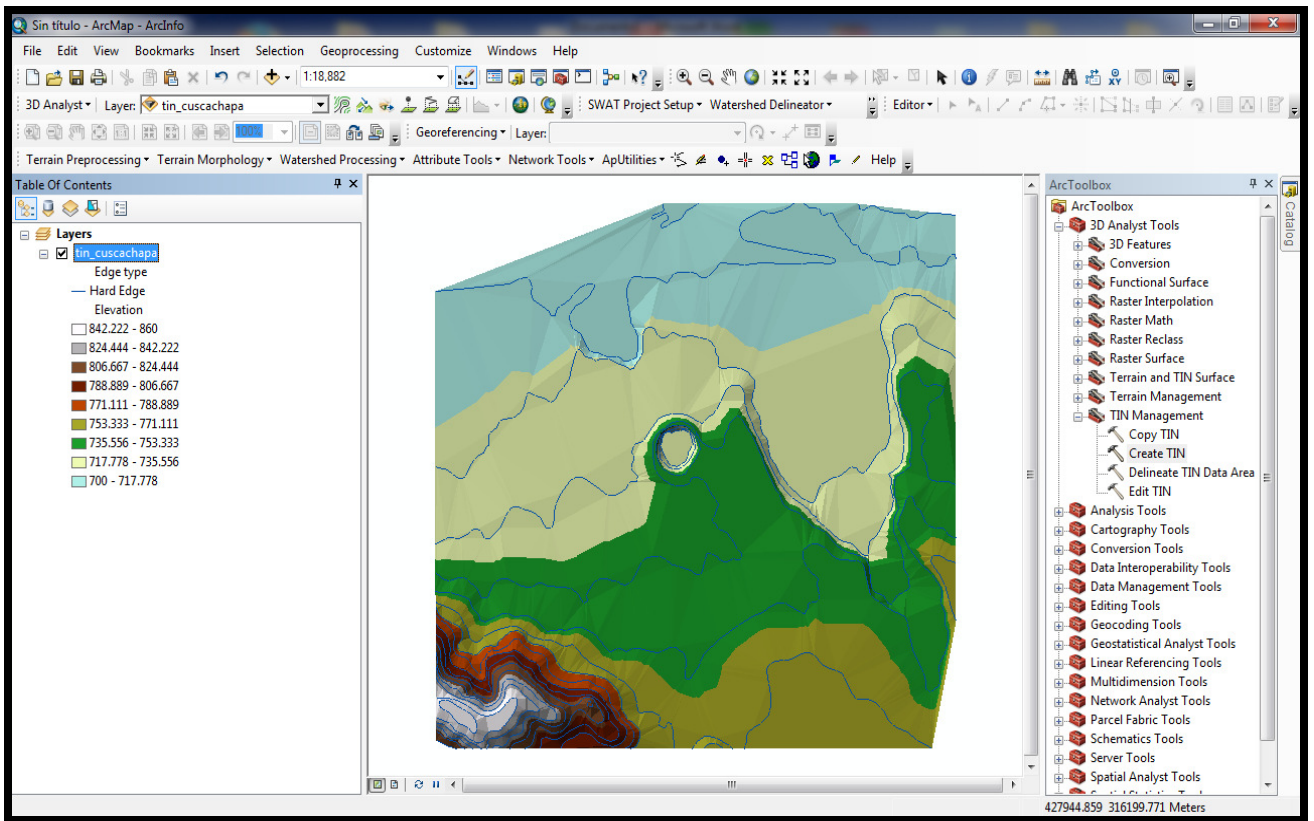
Aquí se selecciona el Sistema de Coordenadas

Aquí se selecciona la Ubicación en donde se almacenará el

Por último se presiona el Botón OK.

Al haber finalizado el programa nos desplegará en pantalla el resultado final que es el TIN, como se muestra a continuación,

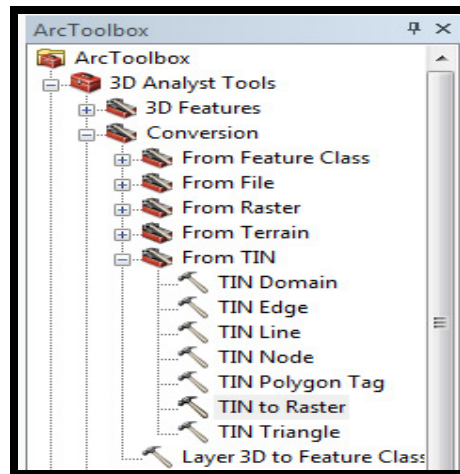
Pantalla con resultado TIN.



Fuente: Equipo de trabajo de investigación

Luego transformaremos el Archivo TIN a formato Raster utilizando la extensión del 3D Analyst Tools donde encontraremos la opción Conversión, luego seleccionaremos la opción From TIN y allí seleccionaremos TIN to Raster

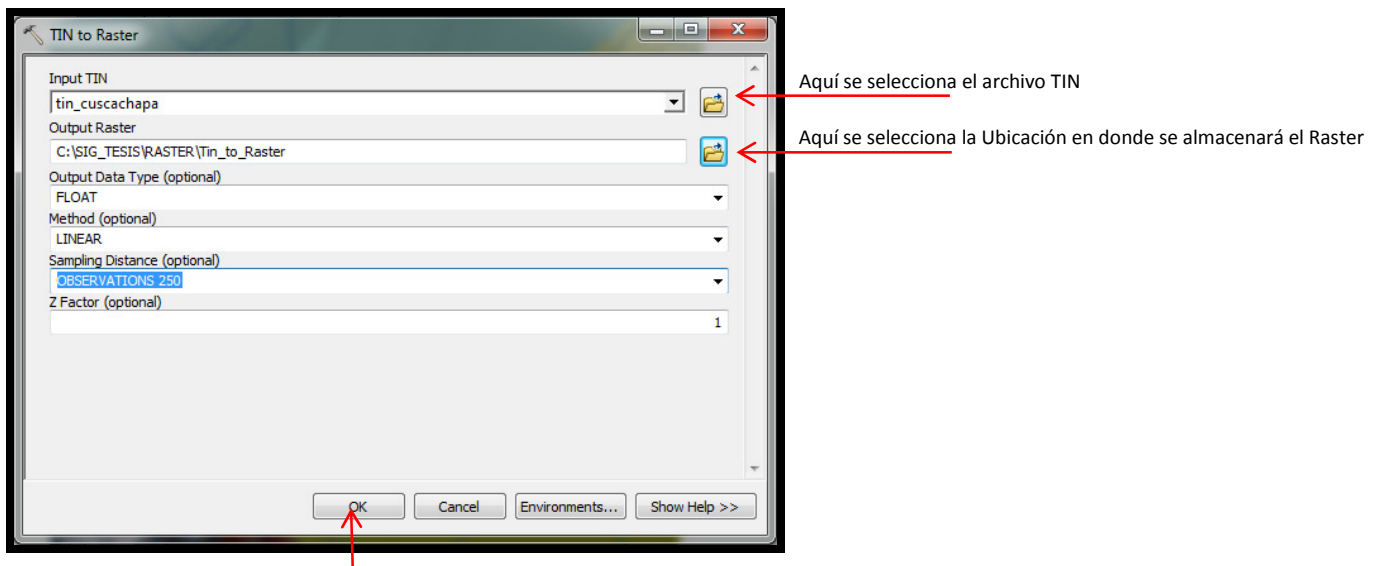
Barra de herramientas ArcGIS



Fuente: Equipo de trabajo de investigación

Se nos desplegará una ventana como la siguiente:

Ventana TIN to Raster

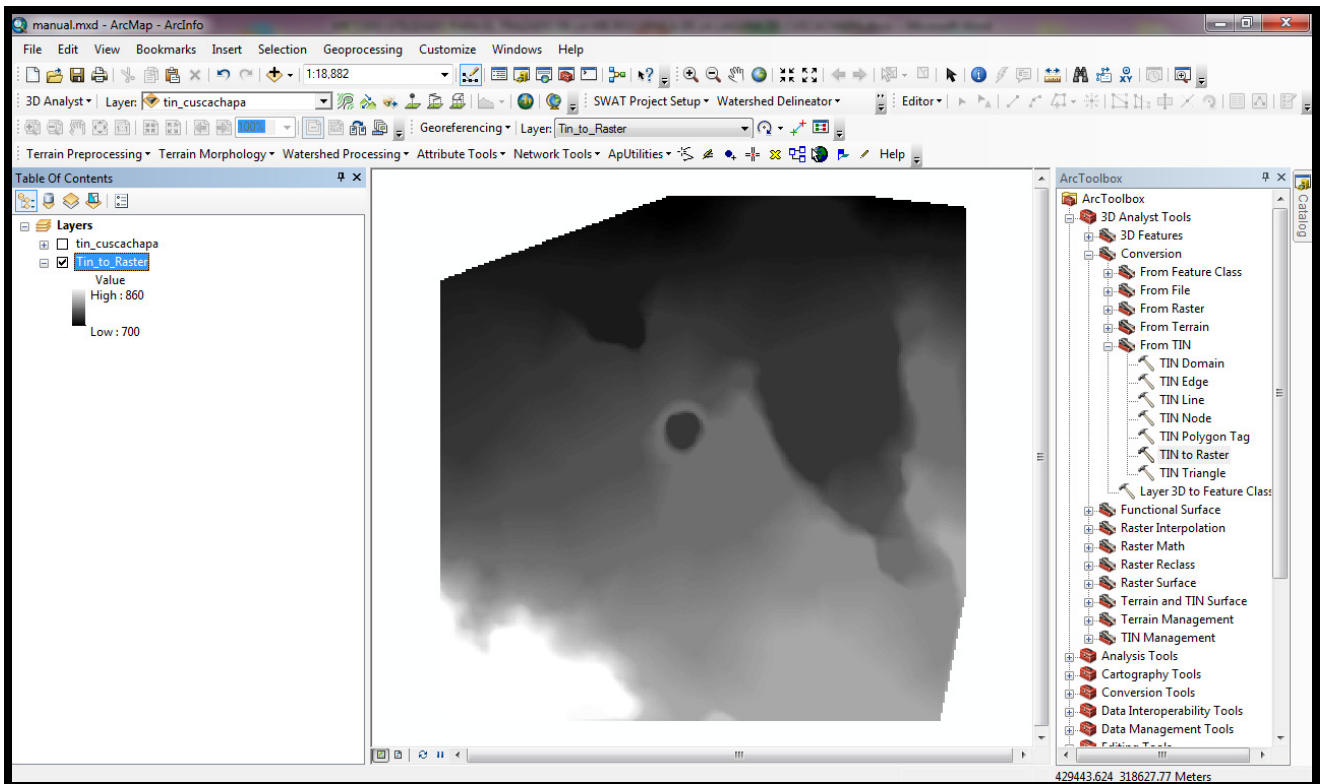


Fuente: Equipo de trabajo de investigación

Por ultimo se preciona el Boton **OK**.

Al haber finalizado el programa nos desplegara en pantalla el resultado final que es el Raster resultante a partir del archivo TIN, como se muestra a continuacion.

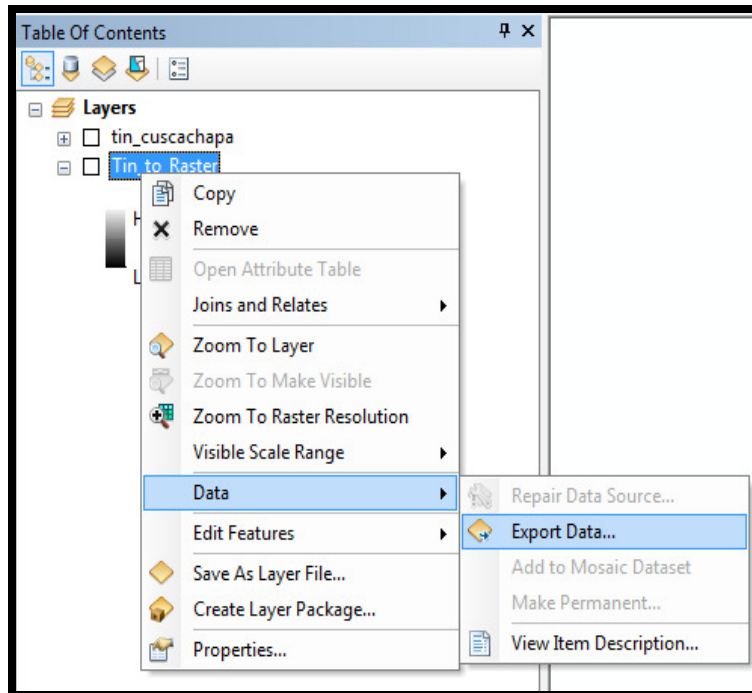
Pantalla con resultado de imagen RASTER



Fuente: Equipo de trabajo de investigación

Al Tener creado el Raster de Elevaciones lo cambiaremos a formato **GRID**, para esto se dará un clic derecho sobre el Archivo Raster y seleccionaremos la opción **Data** y luego la opción **Export Data...**, como se muestra continuación.

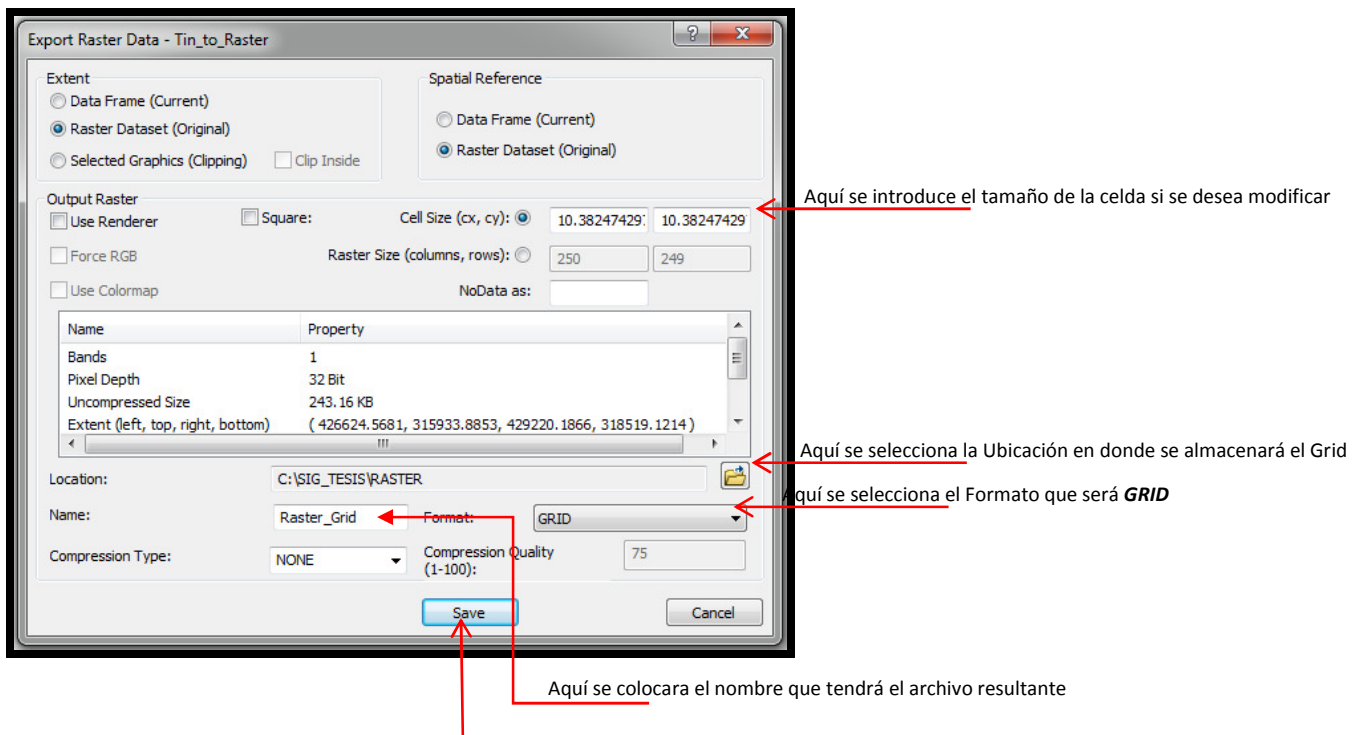
Menú desplegable para exportar datos.



Fuente: Equipo de trabajo de investigación

Se nos desplegara una ventana como la siguiente

Menú desplegable para exportar datos.

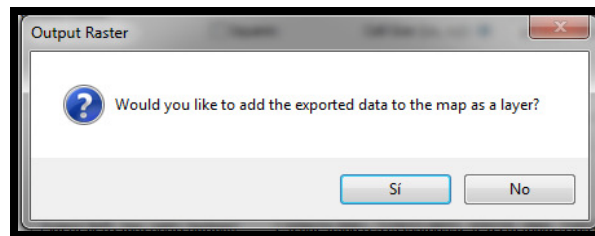


Por ultimo se preciona el Boton **Save**

Fuente: Equipo de trabajo de investigación

A continuacion aparecera una ventana en donde nos preguntan si deseamos agregar el archivo que acabamos de crear al proyecto, como se muestra a continuacion.

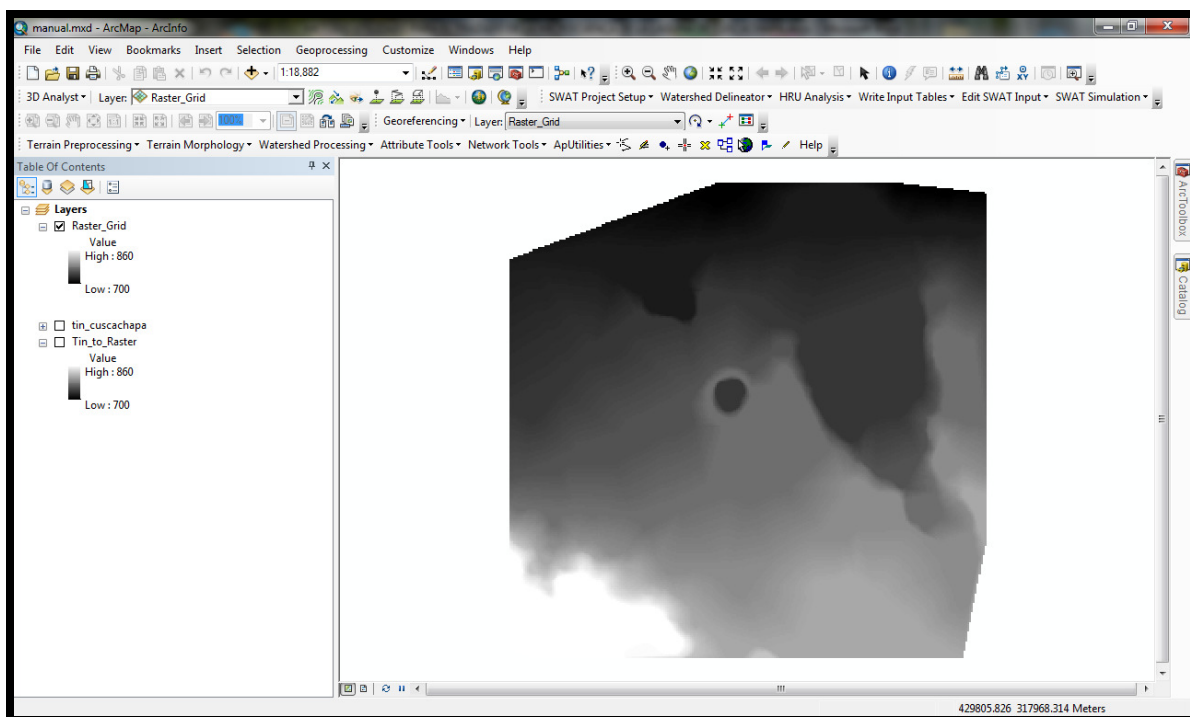
Menú desplegable para exportar datos.



Fuente: Equipo de trabajo de investigación

Al final aparecera en el proyecto un archivo que es igual al archivo raster generado pero esta en formato GRID.

Pantalla de resultado GRID.

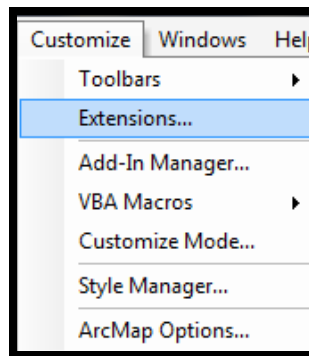


Fuente: Equipo de trabajo de investigación

Al Tener el Modelo de Elevacion del Terreno (DEM) en formato GRID, procedemos a utilizar una extencion Gratuita para **ArcGIS 10** llamada **ArcSWAT**, la cual hemos descargado de la pagina web siguiente: <http://swat.tamu.edu/software/arcsbat/> .

Despues de descargar la extencion e instalarla procedemos a activar dicha extencion, esto se hace en el menu de **Customize** y luego seleccionamos la opcion de **Extensions**.

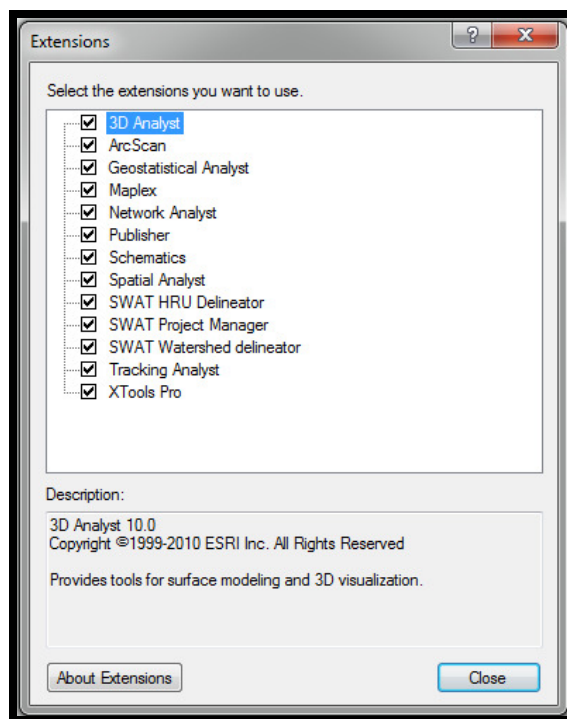
Menú desplegable Customize.



Fuente: Equipo de trabajo de investigación

Nos aparecera una ventana como la siguiente en la cual deberemos de activar las cajas de chequeo de las extensiones **SWAT HRU Delineator**, **SWAT Project Manager**, **SWAT Watershed delineator** , como se muestra.

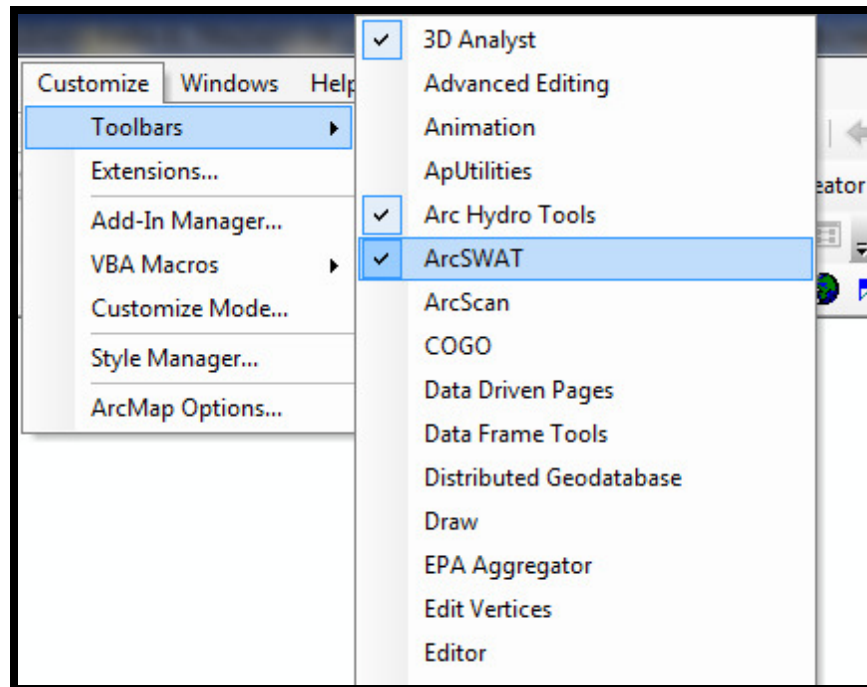
Menú desplegable Extensions



Fuente: Equipo de trabajo de investigación

A continuación procedemos a activar la barra de herramientas de ArcSWAT, para esto nos dirigiremos al menú **Customize** y seleccionaremos la opción **Toolbars**, aquí activaremos el chequeo de la caja de herramienta llamada **ArcSWAT**.

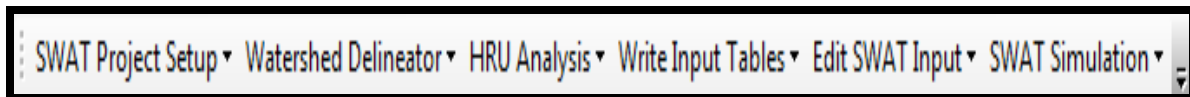
Menú de herramientas.



Fuente: Equipo de trabajo de investigación

La barra de herramientas que se nos desplegara sera la siguiente.

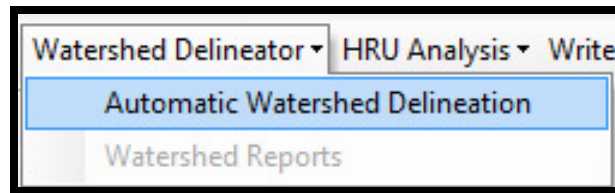
Barra de herramientas de SWAT.



Fuente: Equipo de trabajo de investigación

En esta barra de herramientas damos clic a **Watershed Delineator** y seleccionamos la opción **Automatic Watershed Delineator**.

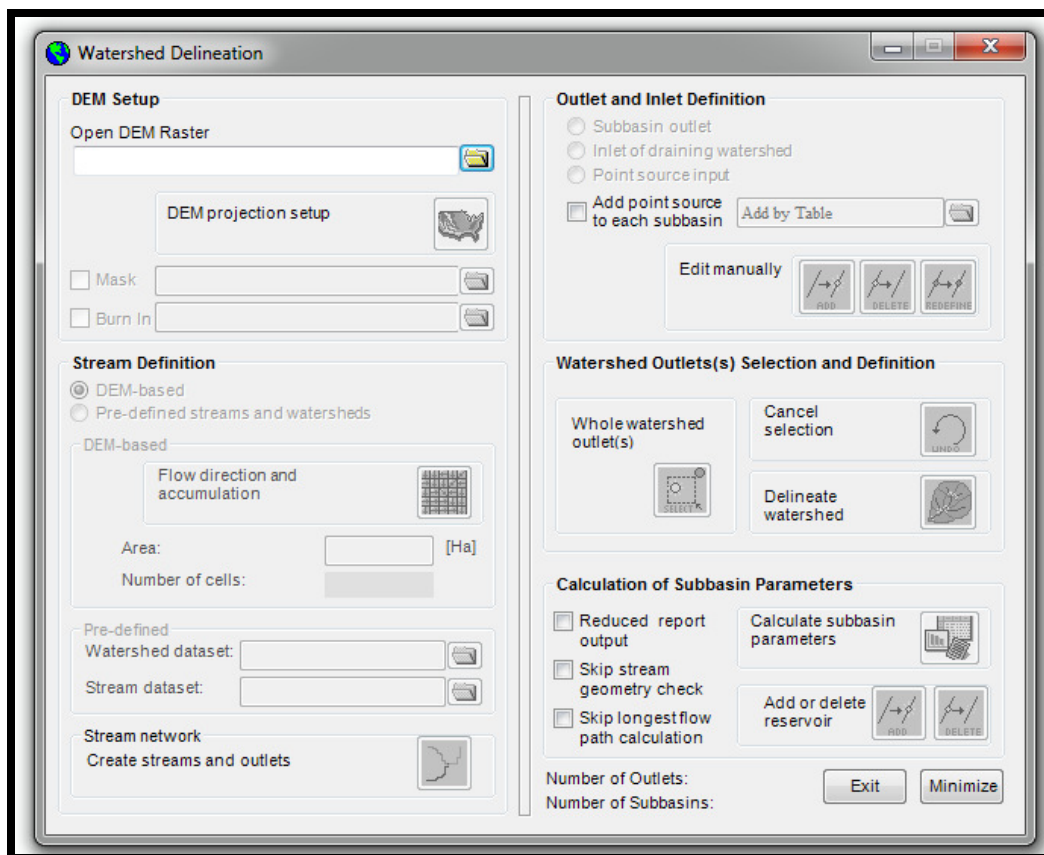
Barra de herramientas de SWAT.



Fuente: Equipo de trabajo de investigación

Esta opción nos despliega la siguiente ventana.

Barra de herramientas de SWAT.

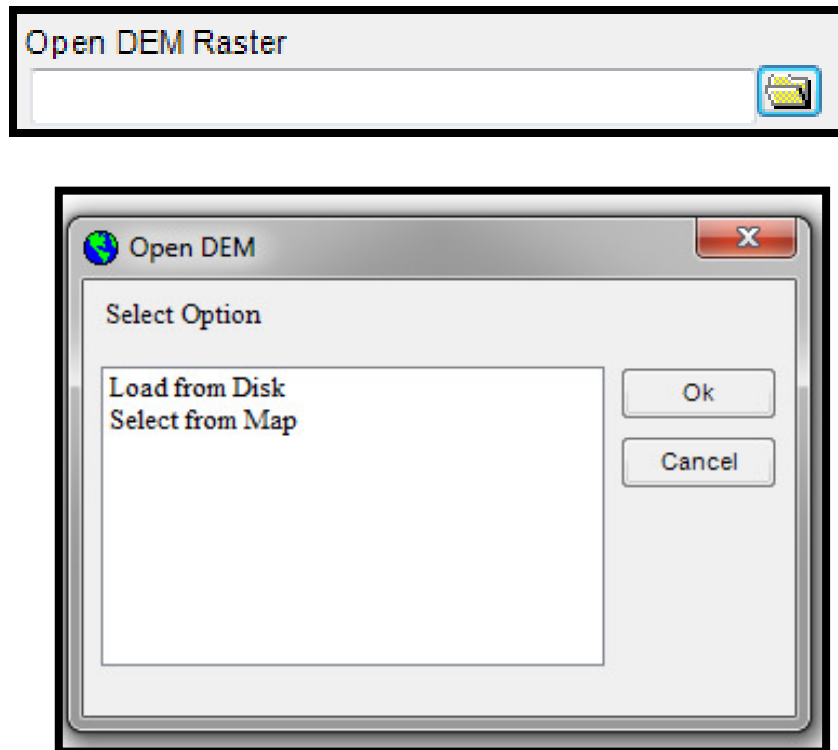


Fuente: Equipo de trabajo de investigación

En esta ventana, en el apartado **Open DEM Raster** seleccionaremos la ubicación de nuestro DEM, dando clic a la carpeta, esto nos desplegará una caja de diálogo con dos opciones, **Load from Disk** y **Select from Map**, la primera es para

seleccionar el DEM de una ubicación en el disco duro y la segunda es para seleccionarlo directamente del proyecto que tenemos, esto implica que ya le tendríamos que tener cargado con anterioridad, dicho esto utilizamos la opción que más nos convenga y cargamos el DEM.

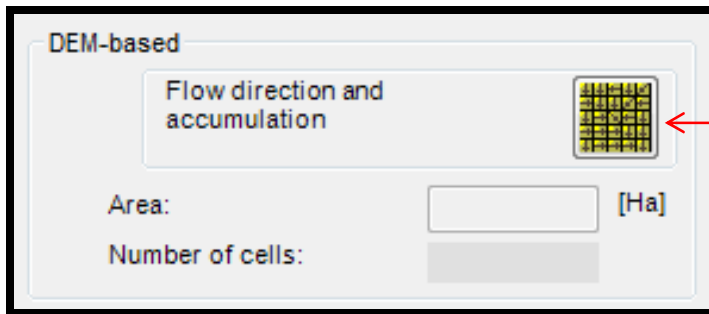
Cuadro de dialogo Open DEM Raster.



Fuente: Equipo de trabajo de investigación

Después de cargar el DEM procedemos a calcular la dirección del flujo y la acumulación del flujo, esto lo hacemos utilizando la opción de **Flow direction and accumulation**, del apartado **Stream Definition** como se muestra.

Cuadro de dialogo DEM-based

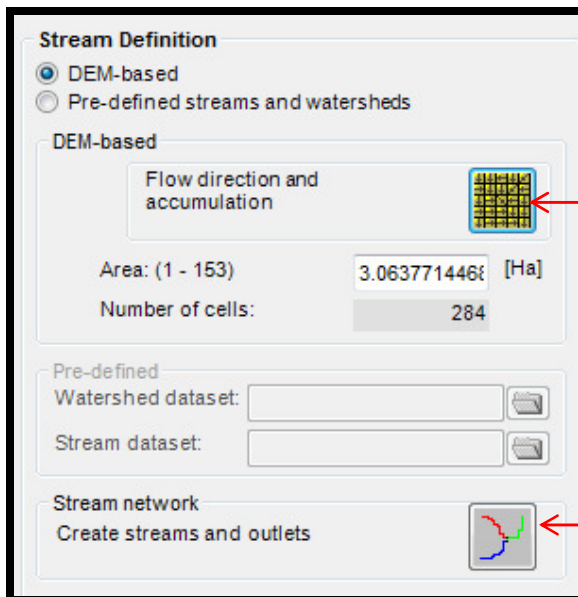


Se da clic en este botón para activar el cálculo de la dirección del flujo y la acumulación del flujo, todo esto basado en el DEM.

Fuente: Equipo de trabajo de investigación

Al finalizar se rellenaran las casillas de **Area:** y **Number of cells:** asi como tambien se activara el siguiente apartado llamado **Stream Network** (Red de causes) como se muestra.

. Cuadro de dialogo DEM-based



Casillas de área y número de celdas se encuentran rellenas

Botón de creación de líneas de causes activo

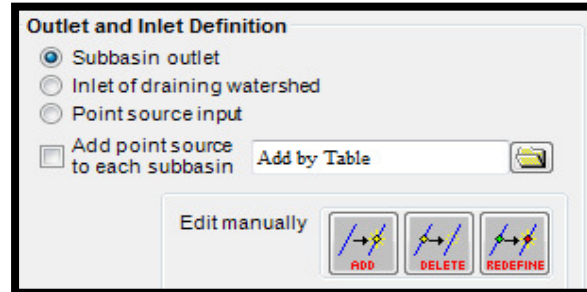
Fuente: Equipo de trabajo de investigación

Proseguimos a dar clic en el botón de **Create Streams and outlets**, para generar la red de causes de la zona asi como los posibles puntos de desfogue de estos.

Al finalizar se activara el siguiente apartado **Outlet and inlet Definition** y se desplegara en pantalla la red completa de causes basada en el Modelo Digital del

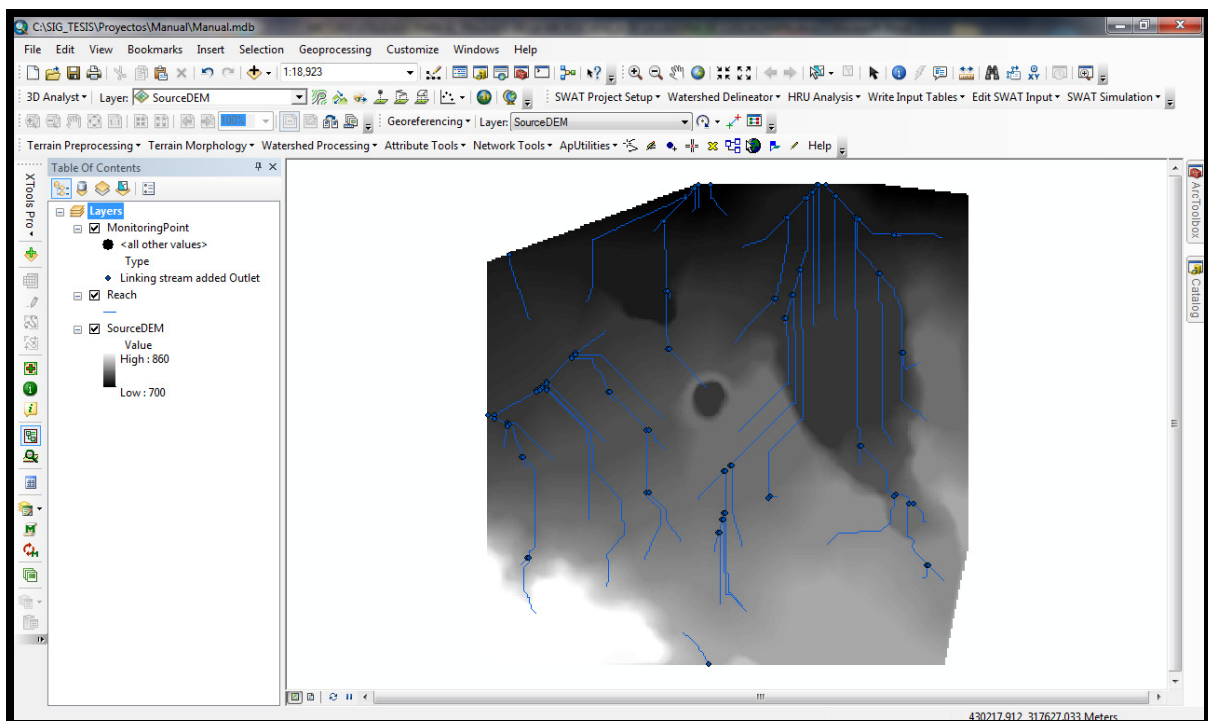
Terreno (DEM), así como los posibles puntos de desfogue para cada cause, como se muestra.

Cuadro de dialogo de SWAT



Fuente: Equipo de trabajo de investigación

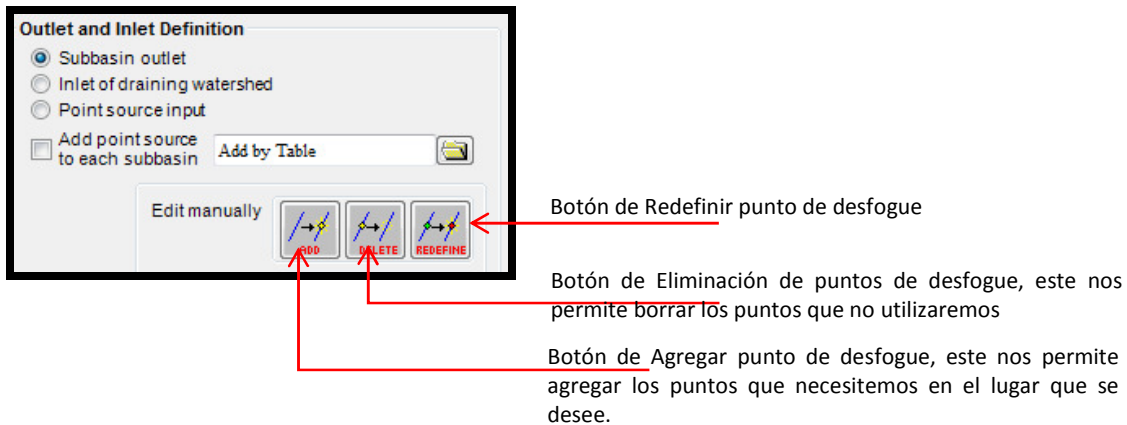
Posible puntos de desfogue resultantes después de la selección de la opción Sobasen outlet.



Fuente: Equipo de trabajo de investigación

A continuación proseguimos a quitar todos los puntos de desfogue que no nos interesan, y a agregar los puntos de interes para el trazado de la microcuenca, para esto utilizaremos las herramientas del apartado **Outlet and inlet Definition**.

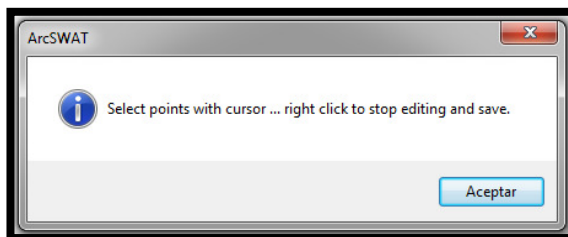
Barra de herramientas Outlet and inlet Definition.



Fuente: Equipo de trabajo de investigación

Primero utilizaremos el botón de **Delete** para eliminar todos los puntos de desfogue creados por el programa, para poder agregar los puntos que nos interesan despues, al dar clic al botón nos aparece el siguiente cuadro de dialogo.

Barra de herramientas Outlet and inlet Definition.

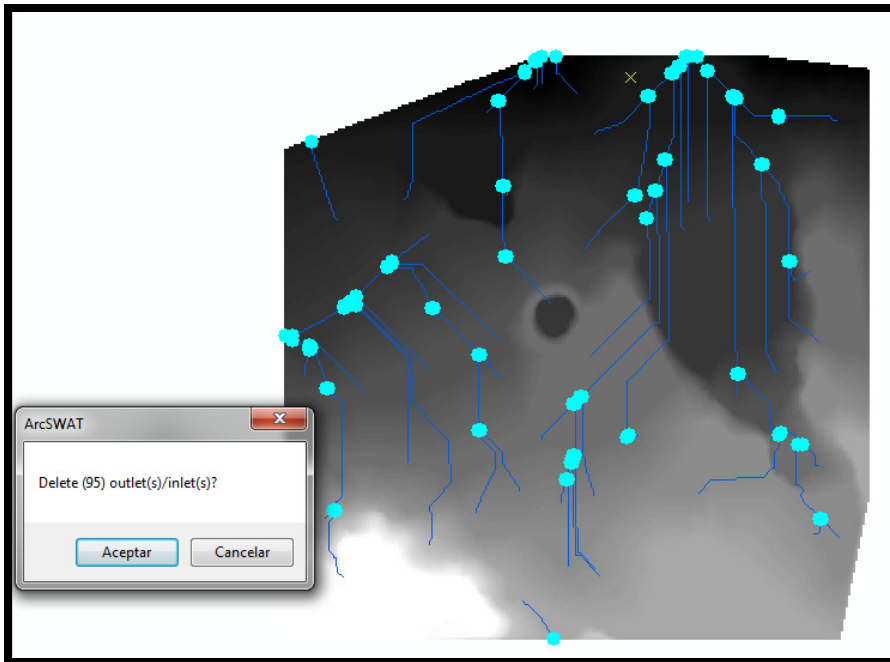


Este mensaje nos dice que selecciones los puntos con el cursor, y al finalizar demos un clic izquierdo para detener la edicion y salvar los cambios realizados.

Fuente: Equipo de trabajo de investigación

A continuacion procedemos a hacer un rectangulo con el cursor para seleccionar todos los puntos creados automaticamente, al hacer esto los puntos se resaltaran y aparecera un mensaje diciendonos que estamos a punto de eliminar los puntos seleccionados, tal y como se muestra

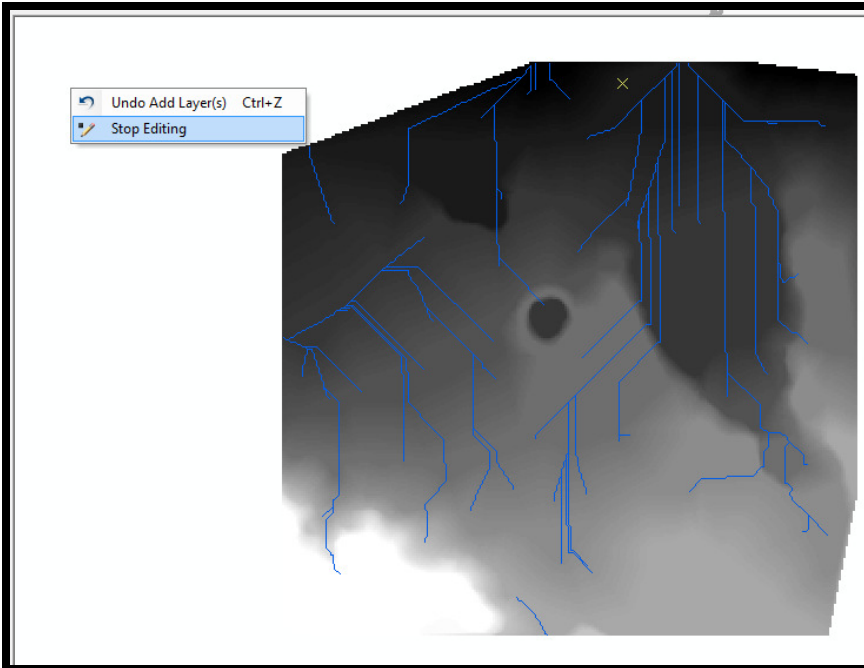
Delete Inlet Outlet



Fuente: Equipo de trabajo de investigación

Damos un clic en la opción de aceptar y desaparecerán todos los puntos quedando únicamente las líneas de cause generadas, a continuación damos un clic izquierdo en cualquier parte del área de trabajo y nos aparecerá una ventana en la cual daremos clic en la opción **Stop Editing**, para finalizar la eliminación de los puntos, así como se muestra.

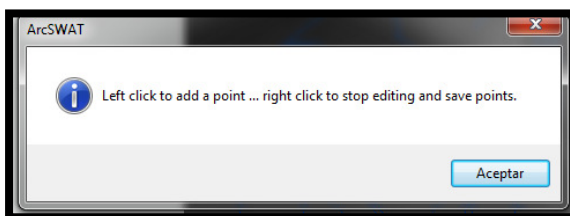
Delete Inlet Outlet



Fuente: Equipo de trabajo de investigación

A continuación utilizaremos el botón de **Add** para agregar el punto de desfogue que nos interesa, al dar clic en el boton nos aparece la siguiente ventana.

Cuadro de dialogo para añadir Punto de Desfogue

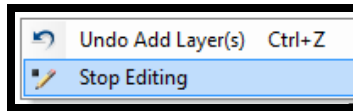
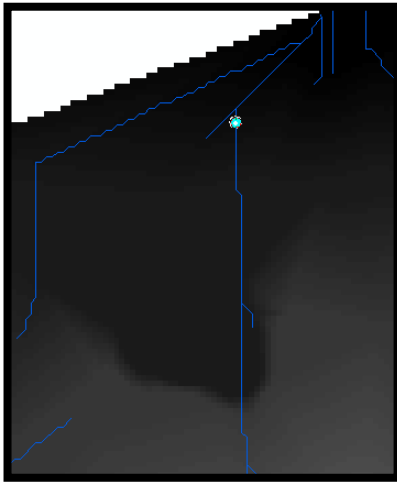


Este mensaje nos dice que para agregar los puntos demos clic derecho, y al finalizar demos un clic izquierdo para detener la edicion y salvar los cambios realizados.

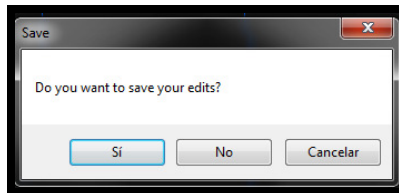
Fuente: Equipo de trabajo de investigación

Agregamos el punto de desfogue y al finalizar damos clic izquierdo y nos aparecera la opcion de **Stop Editing**.

Cuadro de dialogo para añadir Punto de Desfogue



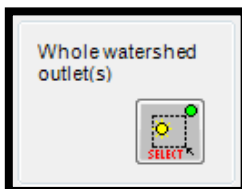
la seleccionamos y nos aparecera un mensaje preguntando si deseamos guardar los cambios, damos clic en **Si**



Fuente: Equipo de trabajo de investigación

A continuacion pasamos al siguiente apartado que es **Watershed Outlet(s) selection and Definition** (Selección de punto de desfogue de la cuenca y Definición), en este apartado seleccionaremos el punto de desfogue que utilizaremos para crear la cuenca, a partir de este se crean las subcuencas y microcuencas, en nuestro caso la cuenca sera unica.

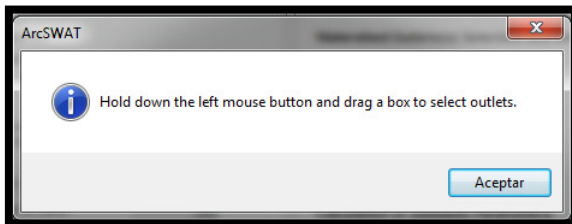
Botón Watershed Outlet(s) selection and Definition



Para comenzar damos clic en el botón **Whole watershed outlet(s)** nos aparecera un mensaje como el siguiente

Fuente: Equipo de trabajo de investigación

Cuadro de dialogo SWAT

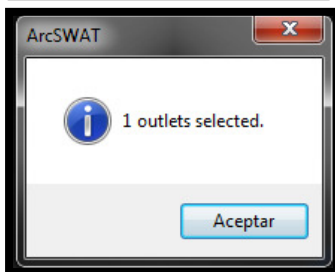
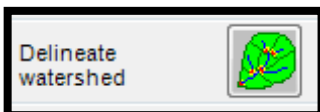


Este mensaje dice que mantenga el clic derecho del mouse presionado y haga una caja para seleccionar el punto de desfogue.

Fuente: Equipo de trabajo de investigación

Damos clic en aceptar y elegimos el punto de desfogue, nos aparecera una ventana como la siguiente.

Delineate watershed

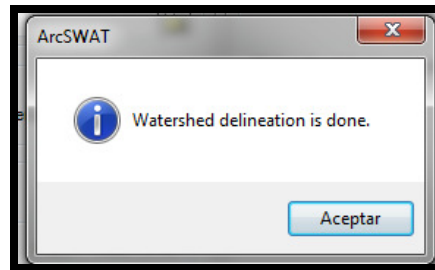


Esta ventana nos muestra el numero de puntos de desfogue seleccionados, al dar clic en **Aceptar** automaticamente se activa el botón de **Delineate watershed** (delimitacion de Cuenca).

Fuente: Equipo de trabajo de investigación

Este es el ultimo paso para la creacion de la cuenca, damos clic en el botón de ***Delineate watershed*** y al finalizar nos aparecera una ventana confirmando que la creacion de la cuenca a finalizado exitosamente.

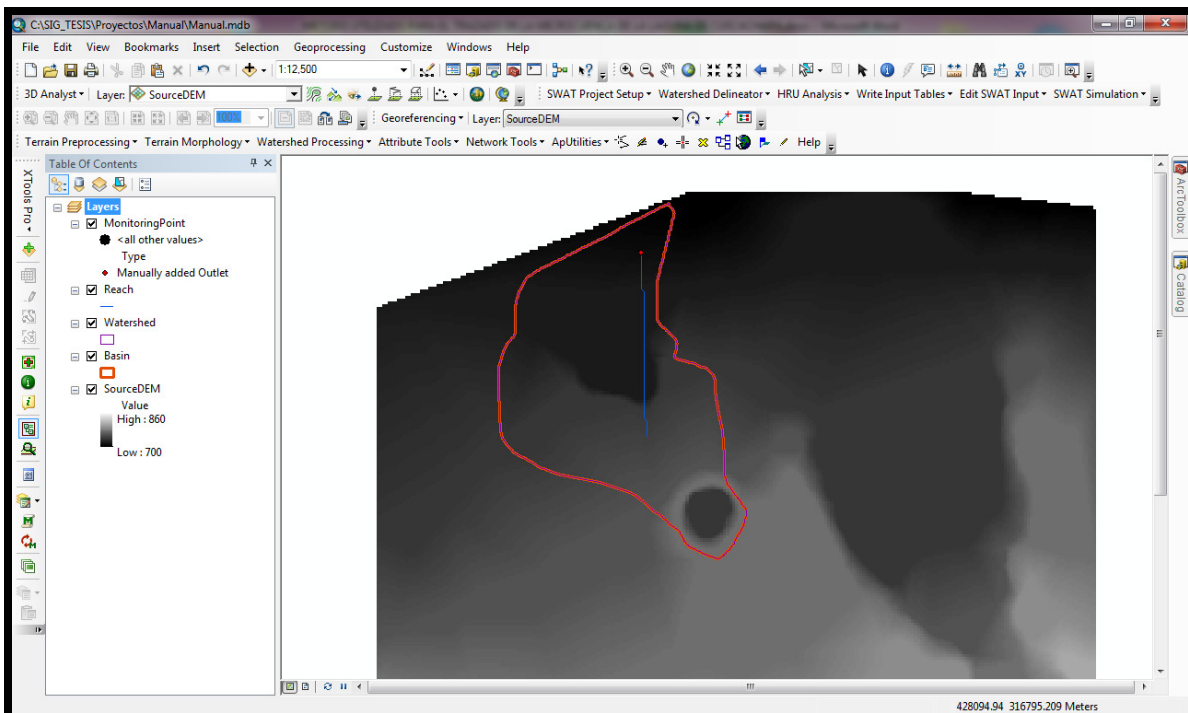
Cuadro de dialogo Delineate watershed



Fuente: Equipo de trabajo de investigación

y tendremos en pantalla nuestra cuenca delimitada, como se muestra.

Resultado de delimitación de micro-cuenca



Fuente: Equipo de trabajo de investigación

Anexo 4. Informe de temperatura, lluvia y radiación solar promedio mensual 1,981-2,010 de estación A-37, Santa Ana UNICAES.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Precipitación (mm)	1.7	5.2	9.4	56.3	190.8	321.9	297.2	313.3	314.9	185.3	35.6	12.0
Tprom. (°C)	22.9	23.9	24.9	25.9	25.3	24.4	24.5	24.5	23.6	23.6	23.2	23.1
Tmáx. (°C)	30.7	32.1	33.7	33.9	32.2	30.8	30.9	31.1	30.3	30.0	29.8	30.3
Tmin. (°C)	16.3	17.0	17.5	19.0	19.6	19.5	19.2	19.3	19.1	18.9	17.7	17.0
Radiación Solar (KWh/m2/día)	8.27	9.12	9.95	10.47	10.55	10.48	10.47	10.44	10.09	9.32	8.45	7.99

Fuente: Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales MARN

Anexo 5. Informe de temperatura, lluvia y radiación solar mensual año 2,011 de estación A-37, Santa Ana UNICAES.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Tmáx (°C)	31.5	32.6	32.7	33.6	32.9	31.4	31.1	31.3	31.0	28.6	30.4	30.4
Tmin (°C)	17.2	17.9	17.4	19.2	20.5	19.9	19.9	19.9	20.0	19.2	17.8	17.6
Tprom. (°C)	22.7	23.4	23.3	24.5	25.1	23.9	23.7	23.7	23.4	22.7	22.4	22.0
Radiación Solar (KWh/m2/día)	8.2	8.0	8.6	6.7	6.8	5.7	6.6	5.8	4.8	4.6	7.8	8.1
Precipitación (mm)	0.0	23.5	15.4	82.3	174.6	344.5	456.0	406.0	247.9	538.6	35.4	0.0

Fuente: Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales MARN

Anexo 6. Informe de temperatura, lluvia y radiación solar promedio mensual 2,012-2,013 de estación A-37, Santa Ana UNICAES.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Tmaxima (°C)												
Año 2,012	31.4	33.0	34.3	33.1	32.2	31.1	32.4	31.7	32.0	30.9	29.9	31.4
Año 2,013	32.0	33.6	33.2	35.1	32.8	31.8	31.8	31.5	30.2	31.5	30.6	31.1
Media	31.7	33.3	33.8	34.1	32.5	31.5	32.1	31.6	31.1	31.2	30.3	31.3
Tminima (°C)												
Año 2,012	17.8	18.5	18.4	18.6	20.4	19.9	19.7	19.7	19.5	19.4	18.2	17.5
Año 2,013	18.1	18.0	18.5	20.1	20.2	20.0	19.7	19.5	20.0	19.9	19.2	18.0
Media	18.0	18.3	18.5	19.4	20.3	20.0	19.7	19.6	19.8	19.7	18.7	17.8
Tmedia (°C)												
Año 2,012	22.6	23.7	24.2	24.1	24.5	23.7	24.0	23.6	23.3	23.4	22.0	22.0
Año 2,013	23.1	24.3	24.3	25.9	24.6	23.9	24.0	23.6	22.9	23.9	23.6	23.3
Media	22.9	24.0	24.3	25.0	24.6	23.8	24.0	23.6	23.1	23.7	22.8	22.7
Radiación Solar (KW/m2/día)												
Año 2,012	7.8	7.1	8.7	7.5	5.2	5.1	7.7	6.3	7.3	6.5	7.8	8.0
Año 2,013	7.7	7.7	8.2	6.2	5.7	5.7	6.5	7.0	4.3	6.6	6.7	7.1
Media	7.8	7.4	8.5	6.9	5.5	5.4	7.1	6.7	5.8	6.6	7.3	7.6
Precipitación (mm)												
Año 2,012	5.6	6.9	35.0	125.3	227.9	128.5	258.0	332.8	277.9	193.0	0.0	6.1
Año 2,013	1.0	0.5	0.1	13.4	312.6	299.4	168.3	353.5	236.0	279.0	37.0	0.0
Media	3.3	3.7	17.6	69.4	270.3	214.0	213.2	343.2	257.0	236.0	18.5	3.1

Fuente: Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales MARN

Anexo 7. Especies de árboles inidentificadas en Laguna Cuscachapa

Nombre Común	Nombre Científico
Almendo de Rio	<i>Andira Inermes</i>
Maquilishuat	<i>Tabebuia rosea</i>
Ceiba	<i>Ceiba pentandra</i>
Mango	<i>Mangifera indica</i>
Mulato	<i>Triplaris americana</i>
Chilamate	<i>Sapium macrocarpum</i>
Amate	<i>Ficus sp.</i>
Cedro	<i>Cedrela odorata</i>
Sauce llorón	<i>Salix babilónica</i>
Cadam	<i>Anthocephalus cadamba</i>
Conacaste negro	<i>Enterolobium cyclocarpum</i>
Teca	<i>Tectona grandis</i>
Calistemo	<i>Calistemus lanceolatus</i>
Guayaba	<i>Psidium quajaba</i>
Flor Barbona	<i>Caesalpinia pulcherrima</i>
San Andrés	<i>Tecoma Stans</i>
Capulín	<i>Munqitinga calabura</i>
Tigüilote	<i>Cordia dentata</i>
Caulote	<i>Guazuma ulmifolia</i>
Cabo de hacha	<i>Luechea speciosa</i>
Contonron	
Cerezo de Belice	<i>Myrcia Splendens</i>

Fuente: Ministerio de Agricultura y Ganadería, Dirección de Ordenamiento Forestal Cuencas y Riego, Área Forestal – Región I Santa Ana

Anexo 8. Informe de laboratorio.



INSTITUTO DEL AGUA

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA DE OCCIDENTE
APARTADO 1908, SANTA ANA, EL SALVADOR, C.A.

TELEFONOS (503) 2484-089

INFORME DE LABORATORIO

N° 01 – 2014

Pág. 1 de 1


IDENTIFICACION DE LAS MUESTRAS:

Procedencia : Laguna Cuzcachapa
Ubicación : Punto 1 (Entrada de Manantial)
Municipio : Chalchuapa
Departamento : Santa Ana
Fechas y horas de muestreo : 13 de mayo de 2014, 9.30 a.m.
Fecha de recepción y análisis : 13 de mayo de 2014
Fecha de informe : 19 de mayo de 2014
Solicitante : Br. Francisco Muñoz

ANALISIS PRACTICADOS:

Determinación Físico-química	Unidades	Método	Resultados
DQO	mg/l	Manométrico	16
DBO	mg/l	Espectrofotométrico	5
Coliformes totales	UFC/100 ml	Membrana filtrante	1,800
Coliformes fecales	UFC/100 ml	Membrana filtrante	100




Vilma de Caballero
Gerente de Calidad.

Anexo 9. Informe de laboratorio.



INSTITUTO DEL AGUA

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA DE OCCIDENTE
APARTADO 1908, SANTA ANA, EL SALVADOR, C.A.

TELEFONOS (503) 2484-089

INFORME DE LABORATORIO

N° 02 – 2014

Pág. 1 de 1


IDENTIFICACION DE LAS MUESTRAS:

Procedencia : Laguna Cuzcachapa
Ubicación : Punto 2 (Centro de Laguna)
Municipio : Chalchuapa
Departamento : Santa Ana
Fechas y horas de muestreo : 13 de mayo de 2014, 9.30 a.m.
Fecha de recepción y análisis : 13 de mayo de 2014
Fecha de informe : 19 de mayo de 2014
Solicitante : Br. Francisco Muñoz

ANALISIS PRACTICADOS:

Determinación Físico-química	Unidades	Método	Resultados
DQO	mg/l	Manométrico	15
DBO	mg/l	Espectrofotométrico	6
Coliformes totales	UFC/100 ml	Membrana filtrante	2,800
Coliformes fecales	UFC/100 ml	Membrana filtrante	0




Vilma de Caballero
Gerente de Calidad.