

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA PARACENTRAL  
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS AGRONÓMICAS**



**Análisis de las variaciones anuales de la precipitación en la  
zona comprendida entre los municipios de Guadalupe y de  
San Vicente, El Salvador C.A.**

**POR:**

**LUIS ANTONIO AMAYA MELENDEZ  
CARLOS ROLANDO MONTALVO ALFARO  
SEBASTIAN RIVAS CASTRO**

**REQUISITO PARA OPTAR AL TÍTULO DE:**

**INGENIERO AGRÓNOMO**

**SAN VICENTE, 23 DE ENERO, DE 2019.**

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

**RECTOR:**

**LIC. M. Sc. ROGER ARMANDO ARIAS ALVARADO.**

**SECRETARIO GENERAL:**

**LIC. CRISTÓBAL HERNÁN RÍOS BENÍTEZ**

**FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA PARACENTRAL**

**DECANA:**

**LICDA. M. Sc. YOLANDA CLEOTILDE JOVEL PONCE.**

**SECRETARIA:**

**LICDA. M. Sc. ELIDA CONSUELO FIGUEROA DE FIGUEROA**

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

**JEFE DEL DEPARTAMENTO DE CIENCIAS AGRONÓMICAS:**

**ING. AGR. M. Sc. RENÉ FRANCISCO VÁSQUEZ**

---

**DOCENTES ASESORES:**

**ING. AGR. M. Sc. LOURDES MARIA HERNÁNDEZ HERRADOR**

---

**ING. AGR. M. Sc. EDGAR ANTONIO MARINERO ORANTES**

---

**COORDINADOR GENERAL DE PROCESOS DE GRADUACIÓN:**

**ING. AGR. EDGARD FELIPE RODRÍGUEZ**

---

## RESUMEN

Este trabajo tuvo como objetivo principal analizar el comportamiento de las variaciones anuales de la precipitación en la zona que comprende los municipios de Guadalupe, Verapaz, San Cayetano Istepeque, Tepetitán y San Vicente, cuya área es de 342.89 km<sup>2</sup>.

Se realizó un análisis a nivel espacial y temporal de la precipitación, de una serie de datos desde el año 1980 a 2016, asimismo se empleó la metodología de los polígonos de Thiessen y de Isoyetas; además se identificó el potencial de recarga de la zona mediante un balance hídrico climatológico aplicando la metodología propuesta por el Servicio Nacional de Estudios Territoriales (SNET 2005). Así como también un análisis de períodos secos y húmedos aplicando la metodología del Índice Estandarizado de Precipitación (SPI).

Los resultados indicaron que la precipitación para la zona fue de 1,778.42 mm, a nivel temporal se evidencian las dos épocas climáticas bien diferenciadas, la época seca que abarca los meses de noviembre a abril y la época lluviosa de mayo a octubre.

El balance hídrico climatológico de la zona arrojó un dato de recarga equivalente a 135.06 Mm<sup>3</sup>, lo que demostró que existe un gran potencial hídrico.

Del Índice Estandarizado de Precipitación se obtuvo que en los años 1980 a 2016 se presentaron cinco episodios de sequía, de los cuales 4 corresponden a intensidades de moderadamente seco y uno con intensidad de severamente seco, mientras que para los períodos húmedos se registraron 5 episodios de los cuales tres corresponden a intensidades de extremadamente húmedo y dos con intensidad de muy húmedo.

**Palabras clave:** Precipitación, SPI, análisis espacial, análisis temporal, balance hídrico, magnitud, intensidad.

## **AGRADECIMIENTOS**

**A LA UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR, FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA PARACENTRAL:** Por abrirnos las puertas y darnos la oportunidad de prepararnos para ser profesionales.

**AL DEPARTAMENTO DE CIENCIAS AGRONÓMICAS:** Por brindarnos los conocimientos para desarrollarnos como ingenieros agrónomos y ser productivos para El Salvador.

**A LOS DOCENTES ASESORES DE LA INVESTIGACIÓN:** ING. AGR. M Sc. LOURDES MARIA HERNÁNDEZ HERRADOR; ING. AGR. M Sc. EDGAR ANTONIO MARINERO ORANTES. Por su apoyo y consejos durante el desarrollo de la investigación y ayudarnos a culminar nuestro proyecto final de graduación, brindando sus conocimientos para poder cumplir con los requisitos y culminar con éxito nuestro proyecto.

**A LAS PERSONAS QUE NOS COLABORARON:** Gracias a todas las personas que nos ayudaron con información, como también a las instituciones como Solidar Suiza y el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales que brindaron su aporte durante la investigación.

**A NUESTROS AMIGOS Y COMPAÑEROS:** Gracias a todos por brindarnos su ayuda y apoyo durante el transcurso de la carrera.

**LUIS ANTONIO AMAYA MELENDEZ  
CARLOS ROLANDO MONTALVO ALFARO  
SEBASTIAN RIVAS CASTRO**

## **DEDICATORIA**

**A DIOS TODO PODEROSO:** Por guiar mis pasos en el camino correcto y darme la fuerza y valentía para terminar este trabajo de investigación.

**A MI MADRE:** María Emelina Amaya por infundir en mí el sentido de lo correcto y ser mi ejemplo y motivarme a continuar mis estudios universitarios.

**A MI ABUELO Y PADRE:** Cruz Ramiro Amaya por ser el ejemplo de lo correcto y honestidad y brindar su apoyo incondicional en mi vida.

**A MIS HERMANOS:** Roció Yamileth Amaya, Eber Jafhet Amaya, Dafne Citlaly Amaya.

**A MI FAMILIA:** Por apoyarme.

**A ZULMA:** Por a poyarme.

**A LOS PROFESORES:** Del Departamento de Ciencias Agronómicas, especiales agradecimientos por brindarme su amistad, apoyo y consejos en esta noble profesión.

**A Fredy Cruz Centeno:** Por su amistad y animarme a terminar la investigación.

**A Lourdes Herrador:** Por su amistad y apoyarme en todo el desarrollo de la investigación.  
A Edgar Orantes, Agustín De La Cruz, René Vázquez, Moncho, Doc. Pérez, etc.

**A mis compañeros:** Estudiantes de promoción, compañeros de tesis y todos los colegas

**LUIS ANTONIO AMAYA MELENDEZ**

## **DEDICATORIA**

**A DIOS:** Por permitirme culminar esta etapa de mi vida.

**A MI MADRE:** María Alfaro por ser ese pilar fundamental en mi vida y siempre apoyarme en todo momento y guiarme por el camino correcto.

**A MI PADRE:** Carlos Montalvo por aconsejarme y brindar apoyo incondicional durante todo este tiempo.

**A MI HERMANA:** Karla Montalvo por brindarme su apoyo.

**A MIS ABUELOS:** Por su apoyo incondicional.

**A LOS DOCENTES:** Por apoyarme siempre, y tener paciencia para solventar las dudas en dichos procesos académicos.

**A LOS COMPAÑEROS:** Por bríndame su amistad y apoyo en todo momento.

**A LOS AMIGOS Y AMIGAS:** Que durante todo este proceso formaron parte fundamental del aprendizaje académico.

**A MIS COMPAÑEROS DE TESIS:** Gracias a ellos por formar parte de este trabajo de graduación, por su apoyo y por su empatía de querer trabajar de la mejor manera en el trayecto del proceso.

**CARLOS ROLANDO MONTALVO ALFARO**

## DEDICATORIA

**A DIOS:** Le agradezco en primer lugar a Dios todopoderoso por haberme acompañado, guiado, dado la sabiduría necesaria a lo largo de mi carrera, por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad, también por haberme dado la oportunidad de tener una vida llena de aprendizaje, experiencia y sobre todo felicidad.

**A MIS PADRES:** Le doy Gracias a mis padres José Rivas y Sofía Castro por apoyarme en todo momento tanto espiritual, económico, emocional y psicológico. Por los valores que me han inculcado, por haberme dado la oportunidad de tener una excelente educación en el transcurso de mi vida. Sobre todo por ser un excelente ejemplo de vida a seguir.

**A MIS HERMANOS:** Por ser parte importante de mi vida y representar la unidad familiar que nos caracteriza, por ser un ejemplo de desarrollo profesional a seguir, por llenar mi vida de apoyo y amor incondicional cuando más lo necesité.

**A MIS COMPAÑEROS DE TESIS:** Compañeros de tesis y a la vez amigos Carlos Rolando, Luis Antonio por haberme tenido la paciencia necesaria y por motivarme a seguir adelante en los momentos de desesperación y de convivencia con ellos mucho tiempo tanto bueno como malo.

Para todos ellos: Muchas gracias y que Dios los bendiga hoy y siempre.

**A MIS AMIGOS:** A todos los compañeros y compañeras y con los que compartimos momentos buenos y malos durante el transcurso de la carrera, y a todos los demás amigos, que gracias a su amistad y apoyo culmine una meta más en mi vida.

**SEBASTIAN RIVAS CASTRO**

## ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	iv
AGRADECIMIENTOS	v
DEDICATORIA	vi
1. INTRODUCCIÓN	1
2. REVISION BIBLIOGRÁFICA	2
2.1. Precipitación	2
2.1.1. Tipos de precipitaciones	2
2.1.1.1. Precipitación convectiva	2
2.1.1.2. Precipitación de convergencia	3
2.1.1.3. Precipitación orográfica	3
2.1.1.4. Precipitación frontal o del tipo ciclónico	3
2.1.2. Formas de precipitación	3
2.1.2.1. La lluvia	3
2.1.2.2. Llovizna	4
2.1.2.3. Escarcha	4
2.1.2.4. Granizo	4
2.1.2.5. Nieve	4
2.1.3. Instrumentos para medir la precipitación	5
2.1.4. Comportamiento de las precipitaciones en el país	5
2.2. Fenómeno de El Niño	5
2.3. Fenómeno de La Niña	6
2.4. Zona de convergencia intertropical	7
2.5. Ciclo de convección (brisa marina)	8
2.6. Cambio climático	8
2.7. Ciclo hidrológico	9
2.8. Balance hídrico	10
2.8.1. Balance hídrico general	10
2.8.2. Balance hidrológico	10
2.8.3. Balance hídrico de suelos	10
2.8.4. Balance hídrico superficial	11
2.8.5. Balance hídrico de la atmósfera	11
2.8.6. Balance hídrico climatológico	11

2.9.	Variables consideradas en un balance hídrico climatológico	11
2.9.1.	Evapotranspiración	12
2.9.2.	Evapotranspiración real	12
2.9.3.	Transpiración	12
2.9.4.	Escorrentía superficial	12
2.9.5.	Transporte de sedimentos	13
2.9.6.	Escorrentía subterránea	13
2.9.7.	Infiltración	13
2.9.8.	Cambio de almacenamiento	13
2.10.	Sequía	14
2.10.1.	Tipos de Sequía	14
2.11.	Índices para análisis de sequías	14
2.11.1.	Índice de Severidad de Sequía de Palmer (ISSP)	14
2.11.2.	Índice de Sequía (IS)	15
2.11.3.	Índice de Desviación de la Precipitación (IDP)	15
2.11.4.	Índice de Sequía por Humedad en el Suelo (SMDI)	15
2.11.5.	Índice Estandarizado de Precipitación (SPI)	15
2.11.6.	Ventajas e inconvenientes del SPI	16
2.11.7.	Ventajas	16
2.11.8.	Inconvenientes	17
2.11.9.	Valores de índice normalizado de precipitación para Diferentes escalas	17
3.	<b>MATERIALES Y MÉTODOS</b>	18
3.1.	Localización del área de estudio	18
3.2.	Descripción del área de estudio	19
3.2.1.	Uso de suelo	19
3.2.2.	Clima	19
3.3.	Selección de estaciones metereològicas	20
3.3.1.	Análisis de consistencia de datos de las estaciones meteorológicas utilizadas	20
3.3.2.	Análisis de doble masa	20
3.3.3.	Relleno de datos faltantes	21
3.4.	Metodología para el análisis de la precipitación de la zona	21
3.4.1.	Polígonos de Thiessen	21

3.4.2.	Método de Isoyetas	21
3.4.3.	Análisis Temporal de la precipitación	22
3.5.	Cálculo del balance hídrico climatológico	22
3.5.1.	Evapotranspiración Potencial o de Referencia	22
3.5.2.	Evapotranspiración real	22
3.5.3	Escorrentía superficial	23
3.5.3.1	Factores de relación precipitación- escorrentía	23
3.5.4.	Cambio de almacenamiento o reserva	23
3.6.	Metodología de análisis para periodos secos y húmedos	24
3.6.1.	Clasificación de intensidades de periodos secos y húmedos	24
3.6.2.	Clasificación correspondiente a Magnitud de periodos secos	25
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	26
4.1.	Régimen de precipitación	26
4.1.1.	Análisis de precipitación	26
4.1.1.1.	Cálculo de precipitación promedio anual por el método de Thiessen	26
4.1.1.2.	Cálculo de precipitación areal utilizando el método de las Isoyetas	27
4.1.2.	Análisis Temporal de la precipitación	28
4.1.3.	Precipitación promedio anual por estación	31
4.1.4.	Precipitación promedio anual para la zona	31
4.2.	Balance hídrico	33
4.2.1.	Precipitación	33
4.2.2.	Cálculo de Kc	33
4.2.3.	Evapotranspiración de Referencia	34
4.2.4.	Análisis de Evapotranspiración de cultivo	36
4.2.5.	Análisis de evapotranspiración real	36
4.2.6.	Capacidad de retención	37
4.2.7.	Escorrentía	38
4.2.8.	Cambio de almacenamiento	39
4.2.9.	Balance hídrico total para la zona	40
4.3.	Índice Estandarizado de Precipitación (SPI)	41
4.3.1.	Análisis de los periodos secos	41
4.3.1.1.	Análisis de periodos secos estación Finca El Carmen	41
4.3.1.2.	Análisis de periodos secos estación Santa Cruz Porrillo	43
4.3.1.3.	Análisis de periodos secos estación Puente Cuscatlán	44

4.3.1.4.	Análisis de periodos secos estación Santa Clara	45
4.3.1.5.	Análisis de periodos secos estación Beneficio Acahuapa	47
4.3.1.6.	Análisis de periodos secos de la Zona de estudio	48
4.3.2.	Análisis de periodos húmedos	49
4.3.	Umbrales para periodos secos y húmedos	50
5.	CONCLUSIONES	52
6.	RECOMENDACIONES	53
7.	BIBLIOGRAFÍA	54
8.	ANEXOS	66

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1.	Puntos de referencia ubicados en los municipios que comprenden la zona de estudio	18
Cuadro 2.	Extensión territorial y total de población de los municipios del área de estudio	19
Cuadro 3.	Estaciones meteorológicas utilizadas en el área de estudio	20
Cuadro 4.	Valores del Índice Normalizado de Precipitación	24
Cuadro 5.	Clasificación de la magnitud de sequía	25
Cuadro 6.	Datos de precipitación promedio anual de las estaciones comprendidas entre los municipios de Guadalupe y de San Vicente, El Salvador C.A.	26
Cuadro 7.	Promedio de precipitaciones mensuales en la zona comprendida entre los municipios de Guadalupe y de San Vicente, El Salvador C.A.	29
Cuadro 8.	Valores correspondientes a la Evapotranspiración de Referencia	33
Cuadro 9.	Valores correspondientes a la Evapotranspiración de cultivo	35
Cuadro 10.	Valores correspondientes a la Evapotranspiración de cultivo	36
Cuadro 11.	Valores correspondientes a la Evapotranspiración real	37
Cuadro 12.	Valores correspondientes a la Escorrentía	38
Cuadro 13.	Valores correspondientes al cambio de Almacenamiento	39
Cuadro 14.	Magnitudes correspondientes a los eventos secos Estación Finca El Carmen	43
Cuadro 15.	Magnitudes correspondientes a los eventos secos Estación Santa Cruz Porrillo	44
Cuadro 16.	Magnitudes correspondientes a los eventos secos Estación Puente Cuscatlán	45
Cuadro 17.	Magnitudes correspondientes a los eventos secos Estación Santa Clara	46
Cuadro 18.	Magnitudes correspondientes a los eventos secos Estación Beneficio Acahuapa	48
Cuadro 19.	Magnitudes correspondientes a los eventos secos para la Zona	49

Cuadro 20.	Comportamiento de los periodos humedos	50
Cuadro 21.	Umbrales de sequia en la zona de estudio	50
Cuadro 22.	Comportamiento de los eventos humedos en la zona de estudio	51

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Zona de convergencia intertropical	7
Figura 2.	Representación esquemática del ciclo hidrológico (Fuente: Adaptado de Ordoñez 2011).	9
Figura 3.	Ubicación geográfica de la zona de estudio comprendida entre los municipios de Guadalupe y de San Vicente, El Salvador C.A	18
Figura 4.	Distribución promedio de lluvia anuales por el metodo de thiesen comprendida entre los municipios de Guadalupe y de San Vicente, El Salvador C.A	28
Figura 5.	Distribución promedio de lluvias anuales por el metodo de isoyetas comprendida entre los municipios de Guadalupe y de San Vicente, El Salvador C.A	28
Figura 6.	Valores de precipitación promedio mensual comprendida entre los municipios de Guadalupe y de San Vicente, El Salvador C.A	30
Figura 7.	Lluvia promedio anual de cada una de las estaciones comprendida entre los municipios de Guadalupe y de San Vicente, El Salvador C.A.	32
Figura 8.	Precipitación promedio anual de la zona comprendida entre los municipios de Guadalupe y de San Vicente, El Salvador C.A.	32
Figura 9.	Promedio de Evapotranspiración de Referencia comprendida entre los municipios de Guadalupe y de San Vicente, El Salvador C.A.	34
Figura 10.	Evapotranspiración de Referencia mensual de la zona comprendida entre los municipios de Guadalupe y de San Vicente, El Salvador C.A	35
Figura 11.	Kc mensual ponderado para la zona de estudio comprendida entre los municipios de Guadalupe y de San Vicente, El Salvador C.A.	35
Figura 12.	Evapotranspiración de Cultivo comprendida entre los municipios de Guadalupe y de San Vicente, El Salvador C.A	36
Figura 13.	Evapotranspiración real mensual para la zona de estudio comprendida entre los municipios de Guadalupe y de San Vicente El Salvador C.A.	37
Figura 14.	Escorrentía superficial mensual para la zona de estudio comprendida entre los municipios de Guadalupe y de San Vicente, El Salvador C.A.	38
Figura 15.	Cambio de almacenamiento mensual para la zona de estudio comprendida entre los municipios de Guadalupe y de San Vicente, El	39

	Salvador C.A.	
Figura 16.	Balance hídrico climatológico promedio de la zona de estudio comprendida entre los municipios de Guadalupe y de San Vicente, El Salvador C.A	41
Figura 17.	Análisis de sequía Estación Finca el Carmen de la zona de estudio comprendida entre los municipios de Guadalupe y de San Vicente, El Salvador C.A	43
Figura 18.	Análisis de sequía Estación Santa Cruz Porrillo de la zona de estudio comprendida entre los municipios de Guadalupe y de San Vicente, El Salvador C.A	43
Figura 19.	Análisis de sequía Estación Puente Cuscatlán de la zona de estudio comprendida entre los municipios de Guadalupe y de San Vicente, El Salvador C.A	45
Figura 20.	Análisis de sequía Estación Santa Clara de la zona de estudio comprendida entre los municipios de Guadalupe y de San Vicente, El Salvador C.A	46
Figura 21.	Análisis de sequía Estación Beneficio Acahuapa de la zona de estudio comprendida entre los municipios de Guadalupe y de San Vicente, El Salvador C.A	47
Figura 22.	Análisis de sequía de la zona de estudio comprendida entre los municipios de Guadalupe y de San Vicente, El Salvador C.A	48

## ÍNDICE DE ANEXOS

Cuadro A-1.	Correlaciones lineales entre estaciones pluviométricas de la zona de estudio comprendida entre los municipios de Guadalupe y de San Vicente El Salvador C.A	67
Cuadro A-2.	Ecuaciones de correlación Altitud – Evapotranspiración de Referencia	67
Cuadro A-3.	Factores relación precipitación - escorrentía zona 10	68
Cuadro A-4.	Kc mensual por cultivo presente en la zona de estudio comprendida entre los municipios de Guadalupe y de San Vicente El Salvador	69
Cuadro A-5.	Ocupación espacial de cultivos presentes en la zona de estudio comprendida entre los municipios de Guadalupe y de San Vicente El Salvador C.A	70
Cuadro A-6.	Clasificación de suelos y capacidad de retención	70
Cuadro A-7.	Balance hídrico para la zona de estudio comprendida entre los municipios de Guadalupe y de San Vicente El Salvador C.A	71
Figura A-1.	Análisis de consistencia de datos de las estaciones meteorológicas de la zona de estudio comprendida entre los municipios de Guadalupe y de San Vicente El Salvador C.A	72
Figura A-2.	Estaciones utilizadas con el método de polígonos de Thiessen	73
Figura A-3.	Método de las Isoyetas	73
Figura A-4.	Coeficiente de Kc, propuestos por FAO	74
Figura A-5.	Mapa de uso de suelos para la zona	75
Figura A-6.	Mapa de aplicación Precipitación - Escorrentía	76

## 1. INTRODUCCIÓN

La agricultura en El Salvador en gran parte depende de la precipitación, por lo tanto si hay sequías las producciones son bajas, generando pérdidas económicas para los agricultores y si hay exceso de lluvias estas propician a que se tengan pérdidas en las cosechas y al aumento de enfermedades en las plantas. La deficiencia de precipitaciones por debajo de los valores normales ocasiona una escasez de agua que afecta el desarrollo de actividades agro-productivas (Ravelo *et al.* 2016).

La sequía y los excesos de lluvia son poco abordado y estudiado en el país, es justamente por esto que, esta investigación se enfocó en aportar la base del conocimiento en relación, a analizar el comportamiento de las variaciones anuales de la precipitación en la zona comprendida entre los municipios de Guadalupe y de San Vicente, así mismo se identificaron las zonas que presentan los máximos y mínimos acumulados de lluvia. También se describen las intensidades y magnitudes de los periodos secos y húmedos.

Su importancia radica en conocer el comportamiento de la precipitación en los años, 1980-2016, ya que las condiciones climáticas extremas siempre han afectado a la humanidad, principalmente a quienes trabajan en el área de la agricultura, teniendo en periodos secos, pérdidas de cultivos agrícolas por sequía y en periodos extremadamente lluviosos pérdidas por enfermedades e inundaciones; también la ganadería, la pesca, la generación de energía eléctrica, las comunicaciones y el suministro de aguas subterránea, se ven afectadas por las variaciones del sistema climático.

Se aplicó la metodología del balance hídrico propuesta por el SNET; además se implementó la metodología de Índice Estandarizado de Precipitación (SPI) también conocido como Índice Normalizado de Precipitación, elaborado por Mckee *et al* (1993).

El documento contiene resultados de análisis espacial y temporal de la precipitación, así como también un balance hídrico climatológico para comprobar la disponibilidad del agua en el suelo y además valores de intensidades y magnitudes del déficit y exceso de la precipitación.

## 2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. Precipitación

La precipitación es el agua que recibe la superficie terrestre en cualquier estado físico, proveniente de la atmósfera, incluye la lluvia, nieve y otros procesos mediante los cuales el agua cae, tales como granizo y nevisca (Segeber y Villodas 2006). Además esta requiere de la elevación de una masa de agua en la atmósfera de tal manera que se enfría y parte de su humedad se condense (Heuveldop *et al.* 1986). También Se debe considerar que desde el punto de vista de la hidrología, la precipitación es la fuente primaria del agua de la superficie terrestre, y sus mediciones y análisis, forman el punto de partida de los estudios concernientes al uso y control del agua (Villón 2002)

#### 2.1.1. Tipos de precipitaciones

Según (Heuveldop *et al.* 1986), en los trópicos las masas de aire que ascienden generalmente son cálidas y con altos contenidos de humedad, estas masas de aire alcanzan el nivel de condensación a temperaturas relativamente altas y en consecuencias forman nubes constituidas por gotas de agua y raras veces por cristales de hielo. El ascenso de las masas de aire para las zonas tropicales pueden ser de tipo: Convectiva, de convergencia, ciclónicas y orográficas (Goyal y Builes s.f.).

##### 2.1.1.1. Precipitación convectiva

Este tipo de precipitación se da cuando las masas de aire bajas se calientan acompañadas de vientos fríos superiores, esto ocasiona una descompensación muy grande de fuerzas de empuje y de flotación, generando corrientes ascendentes de aire húmedo que al ir ascendiendo llegan a la presión de saturación y el vapor se condensa rápidamente (Sarochar s.f.). Consiguientemente los movimientos generados en este fenómeno dan lugar a una rápida coalescencia de las gotas de agua (Bateman 2007). Además, se asocian a los cúmulos y cumulonimbus, su desarrollo es vertical y significativo, la precipitación que resulta de este proceso es generalmente tempestuosa, de corta duración (menos de una hora), de intensidad fuerte y de poca extensión espacial (Ordoñez 2011).

### **2.1.1.2. Precipitación de convergencia**

Su origen se debe al movimiento de las masas de aire de zonas de alta presión (los trópicos), hacia el Ecuador que es zona de baja presión. Este movimiento de masas de aire se hace barriendo la superficie de los océanos constituyendo los vientos alisios, los cuáles soplan con dirección noreste y sur-este convergiendo sobre la zona ecuatorial. Este encuentro los obliga a ascender por advección, formando una zona de baja presión, que se caracteriza por una gran nubosidad y altas precipitaciones (Goyal y Builes s.f.).

### **2.1.1.3. Precipitación orográfica**

La precipitación orográfica, ocurre cuando corrientes de aire húmedo que circulan por los valles chocan contra las montañas, este aire se ve forzado a ascender hacia estratos más altos (Bateman 2007). Sin embargo en su ascenso el aire se enfría hasta alcanzar el punto de saturación del vapor de agua, y una humedad relativa del 100%, que origina la lluvia (Ecured s.f.).

### **2.1.1.4. Precipitación frontal o del tipo ciclónico**

Tiene lugar cuando una masa de aire caliente se encuentra con una gran masa de aire frío, como las masas de aire generalmente no se mezclan, el aire caliente asciende deslizándose por encima del frío produciéndose el enfriamiento, condensación y precipitación (Sarochar s.f.). Además los frentes fríos crean precipitaciones cortas e intensas, los frentes calientes generan precipitaciones de larga duración pero no muy intensas (Ordoñez 2011).

## **2.1.2. Formas de precipitación**

### **2.1.2.1. La lluvia**

El proceso de formación de la lluvia, está antecedido de algunos requisitos indispensables, primero la presencia de vapor de agua en la atmósfera, en segundo lugar que haya un descenso de la temperatura que sea capaz de llevar esa masa de vapor de agua a un punto de saturación que a la vez favorezca la formación de los núcleos de condensación que favorecerán el agrupamiento de las moléculas de agua por pérdida de energía cinética por descenso de la temperatura, este proceso se debe mantenerse por un periodo de tiempo

suficiente hasta que las masas formadas adquieran suficiente peso e inicien el descenso por su peso, bien sea en forma sólida o líquida (Goyal y Builes s.f.). Además, sus intensidades pueden distinguirse en ligera, para tasas de caída de hasta 2,5 mm/h, moderada desde 2,5 hasta 7,5 mm/h, fuerte por encima de 7,5 mm/h (Segerer y Villodas 2006).

#### **2.1.2.2. Llovizna**

Es una precipitación muy uniforme, constituida solamente por gotas de agua con un tamaño inferior a 0.5 mm de diámetro y que caen muy próximas unas a otras y con una velocidad de caída muy pequeña (Martínez s.f.). También estas gotas caen desde nubes estratos y se les asocia generalmente con la poca visibilidad y la neblina (Goyal y Builes s.f.).

#### **2.1.2.3. Escarcha**

Son cristales diminutivos de hielo, en forma de escamas o agujas que se forman por condensación del vapor de agua existente en el aire, que pasa directamente al estado sólido sobre las superficies muy enfriadas durante la noche (Segerer y Villodas 2006).

#### **2.1.2.4. Granizo**

El granizo se forma por la humedad helada de las nubes y desarrollado probablemente por las gotas de lluvia que al descender a la tierra, se encuentran con una corriente de aire excesivamente frío que las convierte de repente en granos duros y helados (Gabañach 2008). Por tanto son transparentes o parcialmente opacos, y pueden tener forma redondeada o irregular (Antico s.f.).

#### **2.1.2.5. Nieve**

La nieve está compuesta de cristales de hielo blanco o translucidos, principalmente de forma compleja combinados hexagonalmente y a menudo mezclados con cristales simples, algunas veces aglomerada en copos de nieve, que pueden tener varios centímetros de diámetro (Márquez 2014).

### **2.1.3. Instrumentos para medir la precipitación**

Para medir la precipitación existen dos instrumentos, uno de ellos es el pluviómetro que es un instrumento especialmente no sensible y las medidas que se realizan pueden diferir considerablemente de un lugar a otro (Zaragoza 2013). Mientras que el pluviógrafo, es un aparato que se utiliza para registrar en forma continua la cantidad total y la duración de lluvia caída en milímetros, permitiendo analizar la distribución de la lluvia en el tiempo (Márquez 2014).

### **2.1.4. Comportamiento de las precipitaciones en el país**

Se distinguen dos temporadas climáticas en el país, la época seca y la época lluviosa con sus respectivos períodos de transición; la primera, se presenta entre los meses de noviembre a abril y la segunda de mayo a octubre con un intervalo de reducción de las lluvias entre julio y agosto llamado “canícula” (SNET 2005). Además Afecta en especial la zona oriental del país, tales períodos secos pueden durar 10 días cada año y más de 15 días cada 3 a 4 años, aunque los períodos secos más extremos se han detectado en los años noventa, asociados al fenómeno de El Niño (Figuroa y Azahar 2011). También Larios (1981), indica que estos periodos pueden durar ocasionalmente hasta más de 30 días consecutivos y convertirse en catástrofes para la agricultura.

## **2.2. Fenómeno de El Niño**

El fenómeno de El Niño, es uno de los varios ciclos climáticos irregulares que se producen por la interacción entre el océano y la atmósfera. Es un fenómeno propio de la variabilidad climática, que se manifiesta mediante cambios en los patrones normales de comportamiento de las corrientes oceánicas, los flujos de viento, y la distribución de la precipitación y la temperatura (CONICIT 1998). Sin embargo el nombre de este fenómeno fue empleado en la época de la colonia por los pescadores de Perú debido a disminuciones de la pesca en época de navidad y asumían que el niño Jesús deseaba que tomaran un descanso para reparar su equipo y pasar más tiempo con su familia. En períodos que van de tres a siete años, las aguas superficiales de una gran franja del Océano Pacífico tropical, se calientan o enfrían entre 1 - 3°C, en comparación a la temperatura normal. Este calentamiento oscilante y el patrón de enfriamiento, es conocido como el ciclo ENOS o (ENSO por sus siglas en inglés), afectando directamente la distribución de las precipitaciones en las zonas tropicales

pudiendo tener una fuerte influencia sobre el clima en otras partes del mundo (INTA 2015); y este suele durar de 9 a 12 meses, tiende a desarrollarse durante el período de marzo a junio, alcanzar su máxima intensidad entre diciembre y abril, y luego debilitarse durante mayo a julio. (MARN s.f.). Estudios realizados por Fernández y Ramírez (1991), indican que durante los eventos Niños, en el período de julio a diciembre, la precipitación decrece significativamente sobre América Central y la parte norte de Sudamérica.

Prolongados episodios de este fenómeno han durado 2 años y aun hasta por 3-4 años, caracterizándose por sequías prolongadas en Centro América y lluvia intensa e inundaciones en el sur de Suramérica (MARN s.f.).

Guirola (2009), manifiesta que los años reconocidos como El Niño, se han presentado durante algunos meses o los siguientes años: 1968-1969, 1972-1973, 1976-1977, 1982-1983, 1986-1987, 1991-1995, 1997-1998, 2002-2003, 2004-2005, 2006. Los más fuertes han sido el de 1982-1983 y el de 1997-1998.

### **2.3. Fenómeno de La Niña**

La contraparte del fenómeno de El Niño es La Niña, que corresponde a anomalías negativas en la temperatura superficial del Pacífico Tropical, se caracteriza por temperaturas de la superficie del Océano inusualmente frías en la parte central y oriental del Pacífico Tropical (Magaña s.f.). Además, durante La Niña la acumulación de agua caliente en la parte occidental del Océano Pacífico alrededor de Australia, provoca un incremento de la evaporación, igual que el ascenso del aire cálido y por tanto de la humedad, desarrollando precipitaciones monzónicas sobre Indonesia. En el otro extremo del Océano Pacífico frente a las costas tropicales de América del Sur, el aire en la alta atmósfera es frío y pesado por lo que desciende, generando estabilidad atmosférica y poca o nula nubosidad, dicho aire sobre la superficie se desplaza hacia el oeste, formando así un anillo de circulación del viento (Guirola 2009).

Según los registros históricos, desde 1950 se cuenta con al menos 12 episodios conocidos del fenómeno de La Niña, desde que inició su monitoreo. Estadísticamente, La Niña puede durar de 9 meses a 3 años y según su intensidad se clasifica en débil, moderada y fuerte. Es

más fuerte mientras menor es su duración y presenta mayor impacto en las condiciones meteorológicas, se observa en los primeros seis meses de vida del fenómeno (MARN 2011).

#### 2.4. Zona de convergencia intertropical

La zona de convergencia intertropical (ITZC), es el área de interacción entre los alisios del hemisferio sur, con dirección suroeste la región sobre la que influye esta zona se caracteriza por la generación de fuertes lluvias, tormentas eléctricas, turbulencia y un alto predominio de vientos del sur oeste, oeste ecuatoriales (Origgi 2003). También las masas de aire son empujadas por las diferencias de presión en las celdas de Hadley, rasgo atmosférico de meso escala que forma parte del sistema planetario de distribución de calor y humedad (González 2012). Además esta posee un ancho promedio que oscila entre los 300 y 500 km (Fig. 1), y presenta un desplazamiento latitudinal que va desde los 6° de latitud sur hasta 12° de latitud norte algunas veces su posición coincide con la posición de la vaguada ecuatorial tiene una posición media en los 5° de latitud norte la (ITZC) constituye un eslabón importantísimo de la circulación general, por sus características, es una zona de alta inestabilidad atmosférica (Brenes 1995).

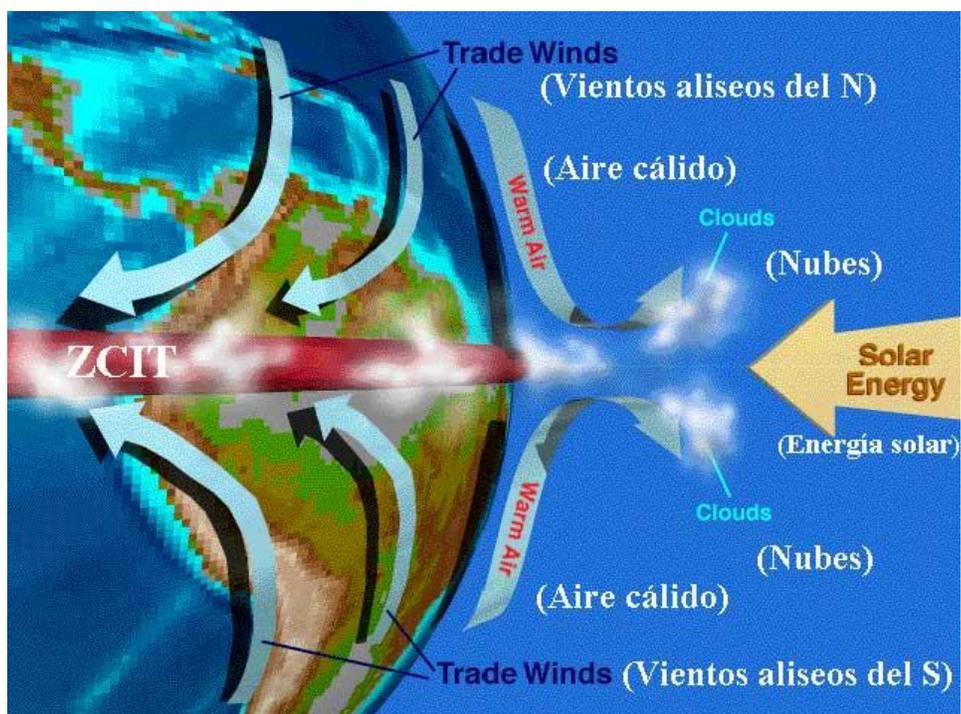


Figura 1. Zona de convergencia intertropical.

## **2.5. Ciclo de convección (brisa marina)**

Durante el día los ciclos de convección naturales dan pie a brisas marinas cerca de cuerpos de agua grandes, de noche el patrón de circulación se invierte y soplan brisas de la tierra; las diferencias de temperatura entre la tierra y el agua son resultado de la diferencia de sus calores específicos. El agua tiene un calor específico mucho mayor, por lo que la tierra se calienta con mucha rapidez durante el día; de noche la tierra se enfría más rápidamente, mientras que el agua conserva el calor, gracias a su mayor calor específico (Wilson y Buffa 2003), según Castillo (1999), esto explica que en un día cálido y en la costa sea frecuente la aparición de una brisa de mar a tierra, denominada brisa marina.

## **2.6. Cambio climático**

El Panel Intergubernamental de Cambio Climático (PICC), definió el cambio climático como una modificación en el estado del clima y que persiste durante un período prolongado, típicamente décadas o más; este cambio puede deberse a procesos internos naturales, a fuerzas externas o a cambios antropogénicos persistentes en la composición de la atmósfera o en el uso de la tierra (Herrán 2012). Además es un problema con características únicas, ya que es de naturaleza global, sus impactos mayores serán en el largo plazo e involucran interacciones complejas entre procesos naturales, fenómenos ecológicos y climáticos y procesos sociales, económicos y políticos a escala mundial (Martínez y Fernández 2004).

Sin embargo existe una amplia variedad de cambios que afectan a diversas variables climáticas y que son consecuencia de este aumento de temperaturas. Se ha observado una menor extensión de hielos marinos, el cambio del patrón de precipitaciones, alteraciones en la salinidad y acidificación del Océano, el aumento de fenómenos extremos como sequías, lluvias torrenciales, olas de calor, mayor intensidad de los ciclones tropicales, etc (Greenpeace 2010).

Este cambio genera calentamiento de los mares y océanos provoca la pérdida de la biodiversidad marina, reduce la captura de dióxido de carbono y hace retroceder la cobertura de hielo en los casquetes polares se prevé escasez del agua dulce por el derretimiento de los glaciares (Martínez y Fernández 2004). Por otra parte la disponibilidad de agua en el planeta será crítica, afectando no solo la seguridad alimentaria del planeta, sino también los

diversos ecosistemas y actividades económicas que circulan entorno a los mismos (Herrán 2012).

Por lo tanto las causas del cambio climático están muy relacionadas con los patrones de desarrollo, tienen que ver con nuestras formas de vida cotidiana en aspectos como: transporte, infraestructura, servicios, alimentación y manejo de residuos (Figuroa *et al.* 2011).

## 2.7. Ciclo hidrológico

Es un término descriptible aplicable a la circulación general del agua en la tierra, como sucesión de etapas que atraviesa el agua a pasar de la atmósfera a la tierra y volver a la atmósfera (Campos 1998), no tiene ni principio ni fin y sus diversos procesos ocurren en forma continua (Fig. 2), el agua se evapora desde los océanos y desde la superficie terrestre para volverse parte de la atmósfera (USGS 2017). Además, involucra un proceso de transporte recirculatorio e indefinido o permanente, este movimiento permanente del ciclo se debe fundamentalmente a dos causas; la primera, el sol que proporciona la energía para elevar el agua (evaporación) la segunda, la gravedad terrestre, que hace que el agua condensada descienda (precipitación y escurrimiento) (Ordoñez 2011).

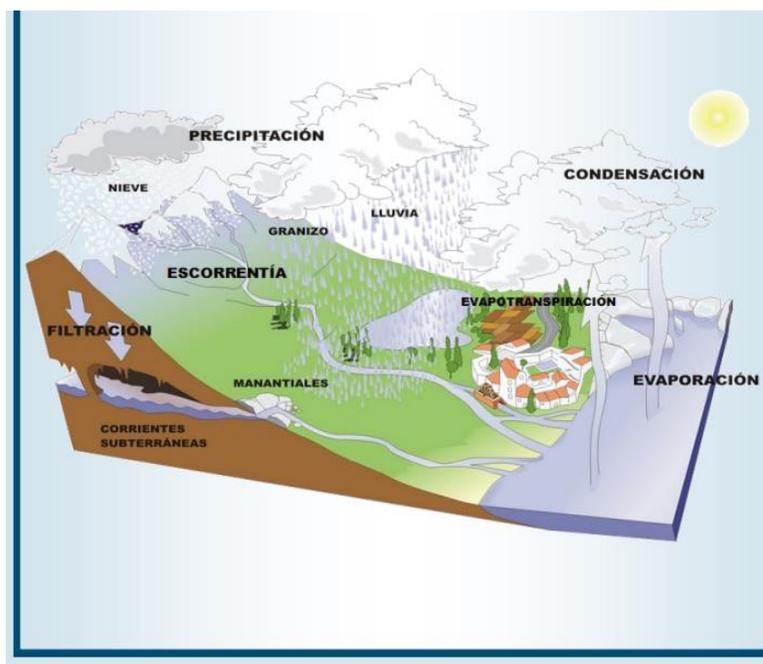


Figura 2. Representación esquemática del ciclo hidrológico (Fuente: Adaptado de Ordoñez 2011).

## **2.8. Balance hídrico**

Es una representación de los intercambios de agua entre las plantas, el suelo y la atmósfera, es fácil de modelización y sujeta a aplicarse por medio de simulaciones a toda clase de situaciones climáticas, edáficas y de los cultivos (Otarola 1994).

### **2.8.1. Balance hídrico general**

Este se utiliza para fines de planificación de los recursos hídricos en una zona o región, con los datos del balance hídrico es posible comparar recursos específicos de agua en un sistema en diferentes periodos de tiempo, y establecer el grado de su influencia en las variaciones del régimen natural (UNESCO 1981).

### **2.8.2. Balance hidrológico**

Es la cuantificación tanto de los parámetros involucrados en el ciclo hidrológico, como de los consumos de agua de los diferentes sectores de usuarios en un área determinada, cuenca y la interrelación entre ellos; dando como resultado un diagnóstico de las condiciones reales del recurso hídrico en cuanto a su oferta, disponibilidad y demanda en dicha área (SNET 2005). De tal forma que bajo el punto de vista agrícola e hidrológico el balance hídrico representa la evaporación y la evapotranspiración potencial y la precipitación de un lugar ya sea mensual, estacional o anual (Ledesma 2000).

### **2.8.3. Balance hídrico de suelos**

Se basa en el principio de la conservación de la materia es decir, el agua que entra a un suelo es igual al agua que se almacena en el suelo, más el agua que sale de él, las entradas son debidas a la infiltración del agua hacia el suelo, y las salidas se deben a la evapotranspiración de las plantas, más la descarga de los acuíferos (Schosinsky 2006). También para evaluar la infiltración de lluvia que penetra al suelo en una zona, se determinan: la precipitación mensual de la zona, los diferentes valores de infiltración básica de los suelos, la cobertura vegetal del suelo y su pendiente; a partir de estos valores se evalúa la infiltración mediante la ecuación propuesta por Schosinsky y Losilla (2000), además conocida la infiltración, se puede realizar un balance hídrico de suelos para estimar

el agua que queda libre para recargar el acuífero que se encuentra debajo del suelo analizado; para poder realizar el balance, se determinan: la infiltración de lluvia que penetra al suelo, la cobertura vegetal, la profundidad de las raíces extractoras del agua, la capacidad de campo, el punto de marchitez del suelo, la evapotranspiración potencial y la humedad del suelo al inicio del análisis (Schosinsky 2006).

#### **2.8.4. Balance hídrico superficial**

La evaluación de los recursos hídricos de una cuenca requiere de una estimación correcta del balance hidrológico, es decir comprender el ciclo en sus diferentes fases; la forma en que el agua se recibe por precipitación y se reparte entre el proceso de evapotranspiración escorrentía e infiltración (Ordoñez 2011).

#### **2.8.5. Balance hídrico de la atmósfera**

Es esencial para los hidrólogos, para obtener una ecuación similar para el agua contenida en la atmósfera, durante las últimas décadas se ha montado una red de estaciones aerológicas que han proporcionado progresivamente medidas más detalladas y exactas de los términos de esta ecuación del balance (UNESCO 1981).

#### **2.8.6. Balance hídrico climatológico**

Representa la diferencia  $P - ETP$ , siendo  $P$  la precipitación y  $ETP$  la evapotranspiración potencial. Generalmente se estudia este balance a nivel del mes con valores medios de la lluvia y la evapotranspiración. Un mes cuyo balance es negativo es considerado como seco y húmedo cuando es positivo (IICA 1984).

#### **2.9. Variables consideradas en un balance hídrico climatológico**

Es importante conocer las particularidades de cada una de las variables del balance hídrico climatológico las cuales se presentan a continuación.

### **2.9.1. Evapotranspiración**

Es el resultado de la combinación de dos procesos separados, por lo que el agua se pierde a través de la superficie del suelo por evaporación y por otra parte mediante transpiración del cultivo (Ordoñez 2011). Sin embargo, este parámetro es difícil de estimar con precisión pues depende de factores ligados a la meteorología (precipitación, radiación solar, y humedad del aire) de factores ligados a la vegetación (densidad, tipo y grado de desarrollo) y de factores ligados al suelo (textura y estructura) que condicionan su capacidad de almacenamiento (Martínez *et al.* 2006).

### **2.9.2. Evapotranspiración real**

Heuvelde *et al.* (1986), la define como la evapotranspiración de un cultivo u otra vegetación bajo las condiciones ambientales existentes. También conocida como uso consuntivo, se da en las condiciones reales del medio que se trate, donde variables tales como el grado de cobertura vegetal natural o cultivada, las condiciones edáficas y los niveles de humedad del suelo, tanto en las tres dimensiones del espacio largo, ancho y profundidad (IICA 1985).

### **2.9.3. Transpiración**

La transpiración es el resultado de la respiración de las plantas o paso del agua a través de las raíces hacia las hojas y la atmósfera; la cantidad de agua contenida en la vegetación es mínima en comparación con la que consume (Bateman 2007).

### **2.9.4. Escorrentía superficial**

Es la fracción del agua recibida por un ecosistema que no se evapora directamente y que por diversas razones no logra penetrar el suelo, escurre en el sentido de la pendiente; en los cuales el agua penetra en las capas inferiores de la superficie del suelo, puede producirse escorrentía subsuperficial si el agua se encuentra con una capa impermeable Heuvelde *et al.* (1986). Por otra parte Mook (2002), menciona que es el caudal de agua que pasa por la superficie del terreno y que puntualmente forma arroyo.

### **2.9.5. Transporte de sedimentos**

Este proceso es el que crea la morfología de las cuencas, y es el responsable de la desertización (Bateman 2007). Por otra parte se debe a la acumulación de materiales sueltos que se transportan y se depositan en otros emplazamientos y están relacionados con procesos hidrológicos, en partículas la relación agua – sedimentos (Aguirre 1996).

### **2.9.6. Escorrentía subterránea**

La escorrentía subterránea es la parte de la escorrentía no superficial, que se convierte en agua subterránea y alimenta una corriente como fuente, por otra parte la escorrentía subterránea es la que alcanza el cauce del río procedente de las emergencias de un acuífero o embalse subterráneo relativamente importante y por tanto, suele ocurrir un retardo considerado entre la precipitación que recarga el acuífero y su variación (Aguirre 1996). También el agua subterránea se mueve en forma lateral y lentamente hacia el mar para completar el ciclo hidrológico pero parte de esta en su camino filtrará hacia arroyos, ríos y lagos, de esta forma el agua subterránea mantiene el nivel del agua en los pozos y la continuidad de las corrientes de agua durante los períodos secos (FAO 2005).

### **2.9.7. Infiltración**

Es el movimiento del agua desde la superficie hacia el interior del suelo por efecto de la gravedad, se acumula en los poros del suelo y así puede ser utilizada por las plantas, o puede desplazarse a capas más profundas del suelo, donde alimenta a los mantos acuíferos (Matus *et al.* 2009). También la capacidad de infiltración de un suelo puede ser influenciada por la condición y las características físicas del suelo. Además, está la vegetación, las características de la lluvia, la topografía del terreno, la estratificación, la temperatura del agua, suelo y el estado fisicoquímico del mismo (Noriega 2005).

### **2.9.8. Cambio de almacenamiento**

Está definido por las entradas menos salidas, considerando como entradas: la precipitación, importaciones superficiales de otra cuenca, retornos de la demanda. Mientras que las salidas consideran: evapotranspiración real, evaporación de cuerpos de agua, evaporación en áreas

urbanas, escurrimiento superficial, demanda interna en la cuenca, demanda externa de la cuenca (SNET 2005).

## **2.10. Sequía**

Desde el punto de vista meteorológico, la sequía puede definirse como una condición anormal y recurrente del clima que ocurre en todas las regiones climáticas de la tierra. Este fenómeno se caracteriza por una marcada reducción de la cantidad de precipitación que se presenta en una zona y puede producir serios desbalances hidrológicos (MARN 2017).

### **2.10.1. Tipos de Sequía**

Según Cárdenas (2010), existen tres tipos de sequía las cuales son: atmosférica, también llamada meteorológica, caracterizada por una baja humedad ambiental, acompañada por altas temperaturas y frecuentemente con presencia de fuertes vientos y precipitación nula o muy baja. Sequía agrícola, básicamente caracterizada por la escasa, mínima o nula disponibilidad de agua en la zona de raíces de las plantas, lo que ocasiona que no alcancen a desarrollarse o producir frutos y sequía hidrológica, referida esencialmente a la baja en los niveles o caudales de almacenamientos y corrientes superficiales, así como al abatimiento de los niveles de los acuíferos.

## **2.11. Índices para análisis de sequias**

Existen diferentes índices que permiten analizar los datos climáticos, tales como: Índice de Severidad de Sequía de Palmer (ISSP), Índice de Sequía (IS), Índice de Desviación de la Precipitación (IDP), Índice de sequía por humedad en el suelo (SMDI) e Índice Estandarizado de Precipitación (SPI).

### **2.11.1. Índice de Severidad de Sequía de Palmer (ISSP)**

Lohani y Loganathan aplicaron el método ISSP para caracterizar el comportamiento de sequías, como resultado de la investigación proponen un sistema de alerta temprana y planes para la mitigación de sequías (Crespo s.f.). Asimismo el índice ISSP toma en cuenta la intensidad y los tiempos de inicio y finalización del periodo de sequía; este índice es considerado de tipo meteorológico y toma en cuenta la precipitación, evapotranspiración y

humedad del suelo, los cuales son factores determinantes de sequías hidrológicas. Es por esto que este índice se recomienda para evaluar la disponibilidad de agua. Además ha sido estandarizado para facilitar comparaciones directas de ISSP entre regiones (CATIE 2008).

### **2.11.2. Índice de Sequía (IS)**

Ha sido utilizado por los autores en Bilbao y Madrid para caracterizar los episodios de sequía acaecidos a final de los 80<sup>s</sup> y comienzos de los 90<sup>s</sup> pero adolece del establecimiento de algún marco de referencia (Valiente 2001).

### **2.11.3. Índice de Desviación de la Precipitación (IDP)**

Consiste en analizar y comparar el comportamiento y variabilidad de las precipitaciones, con el fin de determinar la existencia de déficit de lluvias en las estaciones meteorológicas que son utilizadas (Cantón 2013). También este índice revela el porcentaje de precipitación que se sitúa tanto por debajo como por encima de la norma histórica de cada una de las estaciones; los porcentajes resultantes del cálculo de los índices de las estaciones se promedian para obtener el índice de desviación de la precipitación de la zona (COSUDE 2005).

### **2.11.4. Índice de Sequía por Humedad en el Suelo (SMDI)**

Fue desarrollado por Hollinger, permite medir las anomalías anuales de humedad en el suelo, comparadas con la sumatoria del contenido diario de humedad durante un año. Presenta el inconveniente que no es muy conocido, lo que no permite hacer valoraciones acerca de este indicador ni comparar sus resultados con otros (Gutiérrez y Hernández 2016).

### **2.11.5. Índice Estandarizado de Precipitación (SPI)**

El SPI cuantifica el déficit o exceso de precipitación, ajustando los datos a una distribución, normalmente Gamma, para definir la relación de la probabilidad de precipitaciones y transformarla a una distribución normal estandarizada, con media cero (0) y desviación estándar uno (1) (López *et al.* 2015), además es un potente y flexible índice sencillo de calcular de hecho, el único parámetro necesario para su cálculo es la precipitación, este método se concibió para cuantificar el déficit de precipitación para varias escalas temporales

(1, 3, 6, 9, 12, 18 y 24 meses), las cuales reflejan el impacto de la sequía en la disponibilidad de los diferentes recursos hídricos (OMM 2012).

Núñez *et al.* (2005), manifiesta que el SPI se puede utilizar para evaluar la ocurrencia de déficit o excesos significativos por su intensidad y/o duración; un déficit de precipitación impacta en la humedad de suelo, la escorrentía, los reservorios de agua, el nivel de la capa freática. No obstante no es recomendable para cálculo de cambio climático debido a que este no toma otros parámetros como la temperatura (Marroquín 2017). así mismo el cálculo del SPI para cualquier localidad, se basa en analizar los datos de la precipitación y los compara entre sí mismo para un período deseado, dicho registro a largo plazo se ajusta a una distribución de probabilidades y a continuación se transforma en una distribución normal de modo que el SPI medio para la localidad y el período deseado sean cero; los valores positivos de SPI indican que la precipitación es mayor que la media, y los valores negativos, que es menor (OMM 2012). También los valores negativos (-1) o inferior, son considerados una secuencia seca significativa relacionada con la deficiencia suficientemente importante de agua, mientras que los valores positivos se identifican con la categoría normal o húmeda (McKee *et al.* 1993, citado por Olivares 2016).

#### **2.11.6. Ventajas e inconvenientes del SPI**

EL Índice Estandarizado de Precipitación, requiere como único parámetro de cálculo la precipitación, lo cual se considera como una ventaja ya que se vuelve practico, flexible para su aplicación y uso, pero también se puede convertir en un inconveniente si no se cuenta con datos reales y confiables.(Makee *et al.* 1993)

#### **2.11.7. Ventajas**

Según la OMM (2012) el SPI presenta las siguientes ventajas.

- Es flexible, se puede calcular para diferentes escalas temporales.
- Mediante las escalas temporales cortas se puede dar avisos tempranos de sequía.
- Permite realizar comparaciones entre distintas localidades con climas distintos.
- Puede ser calculado para escalas de tiempo variables, lo cual lo hace aplicable en el ámbito de la meteorología, agricultura e hidrología superficial y subterránea.

### **2.11.8. Inconvenientes**

Según Núñez *et al.* (2005) y la OMM (2012) el SPI presenta las siguientes inconvenientes

1. Depende de la calidad de los datos de precipitación utilizados. Datos erróneos conducen a SPI erróneos (Núñez *et al.* 2005).
2. Toma como referencia solo la precipitación lo cual puede ocasionar un error en los resultados si no se tienen datos de calidad (OMM 2012).
3. No contiene ningún componente de equilibrio entre el suelo y el agua, por lo que no se puede calcular ninguna relación de evapotranspiración/evapotranspiración potencial.

### **2.11.9. Valores de índice normalizado de precipitación para diferentes escalas**

Para escalas de 1, 2 y 3 meses puede relacionar estrechamente con tipos meteorológicos de sequía junto con la humedad del suelo y el estrés de los cultivos a corto plazo, especialmente durante la estación de humedad de los cultivos (OMM 2012).

Un SPI de 6 meses puede ser muy eficaz para mostrar la precipitación en distintas estaciones. La información derivada de un SPI de 6 meses también podría reflejar caudales fluviales y niveles de almacenamiento anómalos, en función de la región y la época del año. (Hurtado y Cadena 2002).

Los valores de SPI de 9 meses por debajo de -1,5 para estas escalas temporales generalmente se consideran un buen indicativo de que la sequedad está teniendo un impacto significativo en la agricultura y puede que también esté afectando a otros sectores (OMM 2012). Además, MARN (2015), menciona en su estudio que el SPI a escala anual no permite identificar sequías de tan corta duración, (caniculares) las cuales son más frecuentes que las sequías de larga duración en El Salvador.

Núñez *et al.* (2005), manifiesta que se han encontrado fuertes relaciones entre el SPI a escalas de 6 a 24 meses y la variación del nivel de la capa freática. Los SPI de estas escalas temporales generalmente se vinculan con cauces fluviales, niveles de los reservorios e incluso niveles de las aguas subterráneas a escalas temporales más largas (Hurtado y Cadena 2002).

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Localización del área de estudio

El área de estudio comprende cinco municipios del Departamento de San Vicente los cuales son: Guadalupe, Verapaz, Tepetitán, San Cayetano Istepeque y San Vicente, de la zona Paracentral de El Salvador (Fig. 3).

En el Cuadro 1, se observan las coordenadas de latitud y longitud de los municipios: San Cayetano Istepeque, Tepetitán, Verapaz, Guadalupe, para lo cual se tomó como puntos de referencias las alcaldías y en el caso del municipio de San Vicente se tomó como referencia la Universidad de El Salvador (FMP), los cuales corresponden a la zona de estudio.

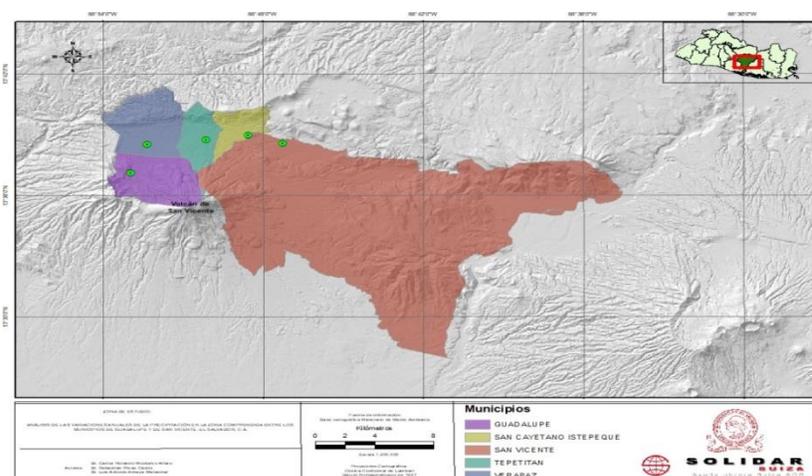


Figura 3. Ubicación geográfica de la zona de estudio comprendida entre los municipios de Guadalupe y de San Vicente, El Salvador C.A.

Cuadro 1. Puntos de referencia ubicados en los municipios que comprenden la zona estudio.

Municipios	Latitud	Longitud
San Vicente	13°38'41.94"N	88°47'2.79" O
Verapaz	13°39'27.39"N	88°49'37.89"O
Guadalupe	13°37'2.67" N	88°52'48.91"O
Tepetitán	13°39'0.19" N	88°50'0.47" O
San Cayetano Istepeque	13°39'7.64" N	88°48'38.06"O

### 3.2. Descripción del área de estudio

El área total de la zona de estudio es 342.89 Km<sup>2</sup>, con una población de 73,690 habitantes, (Cuadro 2) a continuación se presentan los datos de extensión y población por municipio.

#### 3.2.1. Uso de suelo

La mayor parte de los terrenos están cultivados en forma dispersa con maíz, maicillo (sorgo), hortalizas, caña de azúcar, frutales, etc. En algunos terrenos de las Clases VI y VII hay cultivos de café y pastos, existe la posibilidad de introducir otras actividades productivas como cacao asociado al café, apiarios para la producción de miel. Actualmente, se está potenciando el cultivo de hortalizas bajo el enfoque orgánico, como una manera de disminuir el uso excesivo de agroquímicos (FUNDE 2015).

#### 3.2.2 Clima

El área de estudio se zonifica climatológicamente según Koopen, Sapper y Laurer como sabana tropical caliente o tierra caliente (0- 800 msnm), según Holdridge, esta se clasifica como bosque húmedo o subtropical transición a subhúmedo, con una temperatura del aire promedio mayor a 24 °C. El rumbo de viento predominante es del norte de la estación seca y del sur de la estación lluviosa, con velocidades promedio de 8 kilómetros por hora (SNET s.f.).

Cuadro 2. Extensión territorial y total de población de los municipios del área de estudio

Municipio	Extensión en km <sup>2</sup>	Población (h)
San Vicente	267.25	53,213
Verapaz	24.31	6,257
Guadalupe	21.51	5,486
Tepetitán	12.81	3,631
San Cayetano Istepeque	17.01	5,103

Fuente: Elaborado con base en (DIGESTYC 2007).

### 3.3. Selección de estaciones meteorológicas

Se utilizaron los datos de cinco estaciones meteorológicas de la región, que pertenecen al Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Cuadro 3), la serie comprende 36 años (1980 al 2016). Estas estaciones fueron seleccionadas tomando en cuenta la cercanía que tienen con la zona de estudio y aplicando metodología de Thiessen e Isoyetas cubren el área de estudio.

### 3.4. Análisis de consistencia de datos de las estaciones meteorológicas utilizadas

Dado que la información proveniente de las estaciones pueden tener errores de diversa índole como de observación, transcripción, etc; Se utilizó el método de análisis de doble masa que considera que en una zona meteorológica homogénea, los valores de precipitación que ocurren en diferente punto en periodos anuales o estacionales, guardan una relación de proporcionalidad que puede representarse gráficamente (Bateman 2007).

#### 3.3.2. Análisis de doble masa

El procedimiento consistió en analizar la serie de datos de 5 estaciones, utilizando los datos promedios de precipitación anual, se crearon los acumulados en orden cronológico de todas las estaciones y se generó una estación de referencia la cual se comparó con el resto de acumulados de todas las estaciones, esto mediante graficas lineales, se observaron pequeñas variaciones (Anexo 1, Fig-1), en la estación Santa Clara, Santa Cruz Porrillo y Beneficio Acahuapa, pero presentaron un grado de ajuste muy elevado lo cual permitió garantizar el uso de los datos.

Cuadro 3. Estaciones meteorológicas utilizadas en el área de estudio

Indicativo	Estación	Latitud	Longitud	Altura (msnm)
V-09	Puente Cuscatlán	13.59838889	-88.59430556	20
V-04	Finca el Carmen	13.61241667	-88.83752778	1320
V-16	Beneficio Acahuapa	13.65761111	-88.82719444	530
V-06	Santa Cruz Porrillo	13.43936111	-88.80116667	30
V-10	Santa Clara	13.70361111	-88.72591667	520

Fuente: Adaptado de la base de datos del Ministerio del Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN s.f.).

### **3.3.3. Relleno de datos faltantes**

Algunas de las estaciones meteorológicas tenían datos faltantes, es así que una vez analizado la consistencia de estos se procedió al relleno en las estaciones Santa Clara, Santa Cruz Porrillo y Beneficio Acahuapa. Para ello se analizó cuál de las estaciones de la zona presentó el mejor ajuste comparando todas las estaciones entre sí y se utilizó la estación más cercana que presentó un valor mayor de correlación (Anexo 2, C-1), con la ecuación lineal que se obtuvo a través de los gráficos se procedió al relleno de datos faltantes. Cada valor de relleno se corroboró en la base de datos llamada Advancing Reanalysis, esto con el fin de confirmar el valor obtenido y evitar datos erróneos, esta página web, es un lugar para proporcionar a los investigadores ayuda para obtener, leer y analizar conjuntos de datos de reanálisis creados por diferentes organizaciones climáticas y meteorológicas (NOAA s.f.).

### **3.4. Metodología para el análisis de la precipitación de la zona**

Para el cálculo de la precipitación promedio, se utilizaron dos metodologías; polígonos de Thiessen y método de Isoyetas

#### **3.4.1. Polígonos de Thiessen**

Se utilizó el método de los polígonos de Thiessen el cual consiste en dividir y distribuir un espacio compuesto genéricamente de una nube de puntos en una cobertura de polígonos irregulares obtenido mediante las mediatrices de los segmentos que unen los puntos (García *et al.* 2018). El cálculo se realizó utilizando el programa ArcMap 10.2. Para lograr el cierre fue necesario el uso de las estaciones Santiago de María y Rosario de La Paz (Anexo 3, Fig-2).

#### **3.4.2. Método de Isoyetas**

Para la ejecución del método de Isoyetas, igualmente se utilizó el programa ArcMap 10.2. Según UNESCO (1981), este método determina las líneas de igual altura de precipitación en todo el plano lo cual permite observar la variación de la lluvia (Anexo 4, Fig-3). Además, se

debe tener en cuenta las altura, orientación del relieve y la dirección del viento, para una estimación directa del mapa (Díaz 2003).

### **3.4.3. Análisis Temporal de la precipitación**

Para este cálculo se utilizó la herramienta Microsoft Excel 2010. Se elaboraron diferentes graficas utilizando los valores de precipitación mensual y anual de cada una de las estaciones de una serie de 36 años.

## **3.5. Cálculo del balance hídrico climatológico**

A continuación se presenta la metodología utilizada en el balance hídrico la cual fue retomada del documento, balance hídrico integrado y dinámico en El Salvador componente evaluación de recursos, ejecutada por SNET en el año 2005.

### **3.5.1. Evapotranspiración Potencial o de Referencia**

Para el cálculo de la evapotranspiración de referencia se tomó como base la metodología propuesta en el estudio balance hídrico realizado por SNET (2005), que consiste en analizar la relación existente entre Altitud y Evapotranspiración, para lo cual determinaron ecuaciones de correlación mensual entre las dos variables (Anexo 5, C- 2).

### **3.5.2. Evapotranspiración real**

Para determinar la evapotranspiración real se calcularon primero los coeficientes de cultivos ponderados para cada una de las áreas de influencias definidas, (Anexo 6, Fig-4) utilizando los coeficientes  $K_c$  retomados de la (FAO 1995, citado por SNET 2005). Para identificar cultivos y otras coberturas del suelo, se utilizó el mapa de uso y cobertura de suelo (Anexo 7, Fig-5).

Posteriormente se calculó la evapotranspiración de cultivo multiplicando el coeficiente de cultivo por la evapotranspiración de referencia.

El valor de evapotranspiración de cultivo y la capacidad de agua disponible en el suelo se utilizaron como variables que definía el valor de la evapotranspiración real, teniendo en cuenta como condición que si la humedad del mes anterior más la precipitación era mayor o igual a la evapotranspiración de cultivo, la evapotranspiración real correspondía a la evapotranspiración de cultivo, en caso contrario la evapotranspiración real correspondía a la humedad disponible, que es la suma de la humedad del mes anterior más la precipitación (SNET 2005).

El proceso de cálculo se inició en el mes de abril ya que se conocía que los meses anteriores las precipitaciones son escasa o nulas por lo tanto la humedad tiende a ser cero.

### **3.5.3. Escorrentía superficial**

Debido a la dificultad para obtener datos de estaciones hidrométricas que puedan dar información de escorrentía, se determinó a partir de los valores propuestos por SNET (2005), tomando como referencia el mapa (Anexo 8, C-3) para aplicación de relación Precipitación – Escorrentía.

#### **3.5.3.1. Factores de relación precipitación- escorrentía**

Para este cálculo se utilizó el mapa de aplicación de relación Precipitación – Escorrentía propuesto por el SNET, del cual se tomó el factor de la zona 10 que corresponde a la ubicación de la zona de estudio (Anexo 9, Fig-6), considerando la siguiente ecuación.

Escorrentía= precipitación ponderada \* valor de escorrentía zona 10.

### **3.5.4. Cambio de almacenamiento o reserva**

Se aplicó la ecuación de conservación de masas, utilizada por el SNET 2005, en el documento Balance Hídrico Integrado y Dinámico en El Salvador, el cual consiste en restar las entradas menos las salidas. Como se muestra en la ecuación:

ENTRADAS – SALIDAS = CAMBIO DE ALMACENAMIENTO.

Entradas: Precipitación

Salidas: Evapotranspiración real, evaporación de cuerpos de agua, evaporación en áreas urbanas y escurrimiento superficial

Cambio de almacenamiento: Recarga de acuíferos

### 3.6. Metodología de análisis para períodos secos y húmedos

Se utilizaron los promedios mensuales de precipitación de las estaciones, con una serie de 36 años (1980 - 2016) proporcionadas por MARN, utilizando la metodología del Índice Estandarizado de Precipitación (SPI), este método consistió en crear una base de datos con los valores de precipitación que se utilizó como archivo de entrada, además del documento Standardized Precipitation Index, el cual contenía el lenguaje de programación SPI, estos se corrieron en el programa R Studio, que es un lenguaje de programación potente para manejo de datos, análisis estadístico, funciones y realización de gráficos; dichos valores fueron utilizados para determinar las intensidades y magnitudes en cada una de las estaciones.

#### 3.6.1. Clasificación de intensidades de periodos secos y húmedos

Utilizando el sistema de clasificación elaborado por Mckee *et al.* (1993) Se definió las intensidades de la sequía según los valores de SPI (cuadro 4). Estas categorías están referidas al fenómeno de la sequía meteorológica, aquellas cuyo valor de SPI es negativo corresponde a eventos secos y aquellas cuya valor de SPI es positivo corresponde a eventos húmedos (Colotti *et al.* 2013).

Cuadro 4. Valores de intensidad del Índice Estandarizado de Precipitación

2.0 y mas	Extremadamente húmedo
1.5 a 1.99	Muy húmedo
1.0 a 1.49	Moderadamente húmedo
-0.99 a 0.99	Normal o aproximadamente normal
-1.0 a -1.49	Moderadamente seco
-1.5 a -1.99	Severamente seco
-2 y menos	Extremadamente seco

Fuente: Adaptado de (McKee *et al.* 1993).

### 3.6.2. Clasificación correspondiente a Magnitud de periodos secos

Con los valores obtenidos del cálculo utilizando el Índice Estandarizado de Precipitación (SPI) se empleó una variante del método original propuesto por Edwards (1997), donde se acumularon los SPI mensuales cuya magnitud era igual o inferior a -1, y cuando el SPI era mayor a -1 no se tomó en cuenta, bajo esa condición un SPI > a -1 nos indicaba una condición normal o húmeda; Además se separaron los meses que ya se conocían que corresponden a la época seca, y solo se analizaron los meses correspondientes a la época lluviosa. Bajo ese enfoque permitió determinar y describir los fenómenos precisando la magnitud de acuerdo a la clasificación (cuadro 5) la cual establece cinco categorías: normal, leve, poco fuerte, fuerte, muy fuerte y extremadamente.

Según La OMM (2012), la suma positiva del SPI para todos los meses de un episodio de sequía se denomina “magnitud” de la sequía.

Cuadro 5. Clasificación de la magnitud de sequía

<b>Magnitud de la sequia</b>	<b>Categoría</b>
-0.1 a -0.9	Normal
-1 a -1.99	Leve
-2 a -2.99	Poco fuerte
-3 a -3.99	Fuerte
-4 a -4.99	Muy fuerte
>5	Extremadamente fuerte

Fuente: Adaptado de (McKee *et al.* 1993, citado por Olivares *et al.* 2016).

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Régimen de precipitación

Para este análisis se utilizan los datos de precipitación de las 5 estaciones lo cual permite elaborar diferentes cálculos que indican el comportamiento de la precipitación para la zona.

#### 4.1.1. Análisis de precipitación

Se empleó el método de los polígonos de Thiessen e Isoyetas, para analizar el comportamiento de la precipitación.

##### 4.1.1.1. Cálculo de precipitación promedio anual por el método de Thiessen

En el Cuadro 6, se muestran los datos de la precipitación promedio anual de la zona, en donde se observa un acumulado máximo para la estación de Finca El Carmen de 2,032.3 mm y un mínimo para la zona que cubre la estación de Santa Clara de 1,588.22 mm, el comportamiento de las estaciones climáticas de Beneficio Acahuapa y Puente Cuscatlán es bastante similar debido a la proximidad que existe entre ellas, además se nota una similitud entre las estaciones restantes. Obteniéndose para la zona un promedio de 1,778.42 mm.

La precipitación se incrementa en los sitios de mayor altura y con abundante vegetación, este es el caso de la estación Finca El Carmen, la cual se encuentra a una altura sobre el nivel de mar de 1,320 msnm y tal como se observa, la que está ubicada en Santa Clara, que está a 520 msnm, tiene la más baja precipitación, esto además puede estar influido por la orografía de la zona y la falta de una buena cobertura boscosa.

Cuadro 6. Datos de precipitación promedio anual de las estaciones comprendidas entre los municipios de Guadalupe y de San Vicente, El Salvador C.A.

Estaciones	Precipitación (mm)
Finca el Carmen	2,032.30
Puente Cuscatlán	1,628.74
Santa Cruz Porrillo	1,710.90
Beneficio Acahuapa	1,614.94
Santa Clara	1,588.22
Promedio	1,778.42

Los datos de distribución de la lluvia en la zona (Fig.4), usando la metodología de los polígonos de Thiessen, muestran resultados para la estación Finca El Carmen 2,032.30 mm, para Puente Cuscatlán 1,628.74 mm, Santa Cruz Porrillo 1,710.90 mm, Beneficio Acahuapa 1,614.94 mm y Santa Clara 1,588.22 mm. También Marinero (2016), en su estudio Caracterización hidrogeoquímica del agua subterránea de la subcuenca del río Acahuapa, reporta datos de 2,263.8 mm para Finca El Carmen, de 1,955.38 mm para Puente Cuscatlán y para Beneficio Acahuapa de 1,737 mm. Cabe mencionar que los polígonos de Thiessen son una construcción teórica que no toma en cuenta factores condicionantes de la realidad como el relieve y la hidrografía (Sánchez s.f.).

#### **4.1.1.2. Cálculo de precipitación areal utilizando el método de las Isoyetas**

El cálculo mediante Isoyetas (Fig.5) muestra los máximos de precipitación para la zona más alta correspondiente a la estación Finca El Carmen, con una altitud de 1,320.00 msnm, dentro de los cuales se encuentran el municipios de Guadalupe y la zona más alta del municipio de San Vicente con un comportamiento de precipitación de 1,984.90 a 2,044.10 mm; este valor comparado con resultados obtenidos mediante polígono de Thiessen indican una similitud; los mínimos se observan en algunas zonas de menor altura correspondiente a los municipios de San Vicente, San Cayetano Istepeque y Tepetitán con una precipitación correspondiente de 1,570.50 a 1,629.70 mm. Para esos mismos municipios incluyendo a Verapaz se observa que a medida aumenta la altura (msnm) se incrementan los valores de precipitación de 1,688.90 hasta 1,886.50 mm, según (Heuveldop *et al.* 1986), las tierras altas y las montañas reciben más precipitación que las tierras bajas.

Los datos concuerdan con los reportados por el SNET (2005), donde expone que lluvias superiores a los 2,000 mm se reportan en las zonas altas de la cordillera norte, la cadena volcánica y la cadena costera valores del orden de 1,500 a 1,900 mm en los valles interiores o Depresión Central y de 1,300 a 1,500 mm en la zona sur oriental y noroccidental del país. Evidenciándose la influencia de la altitud en el comportamiento de los valores de precipitación. Las zonas que se encuentran entre alturas de 0 a 800 metros, presentan lluvias promedio de 1700 mm y de 800 a 1200 metros de altitud el nivel pluviométrico registrado se acerca a los 1900 mm anuales (OEA s.f.).

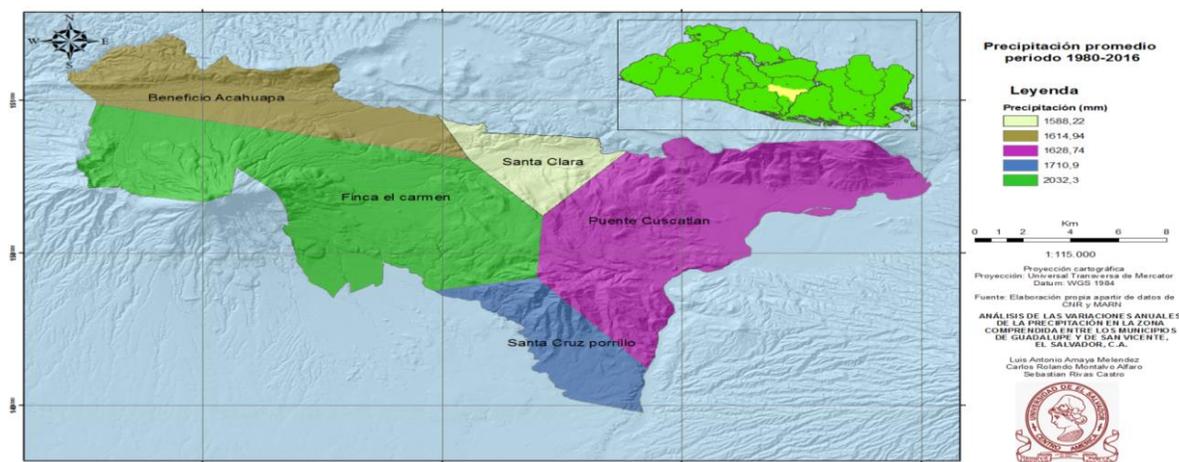


Figura 4. Distribución promedio de lluvia anuales por el método de Thiessen comprendida entre los municipios de Guadalupe y de San Vicente, El Salvador C.A.

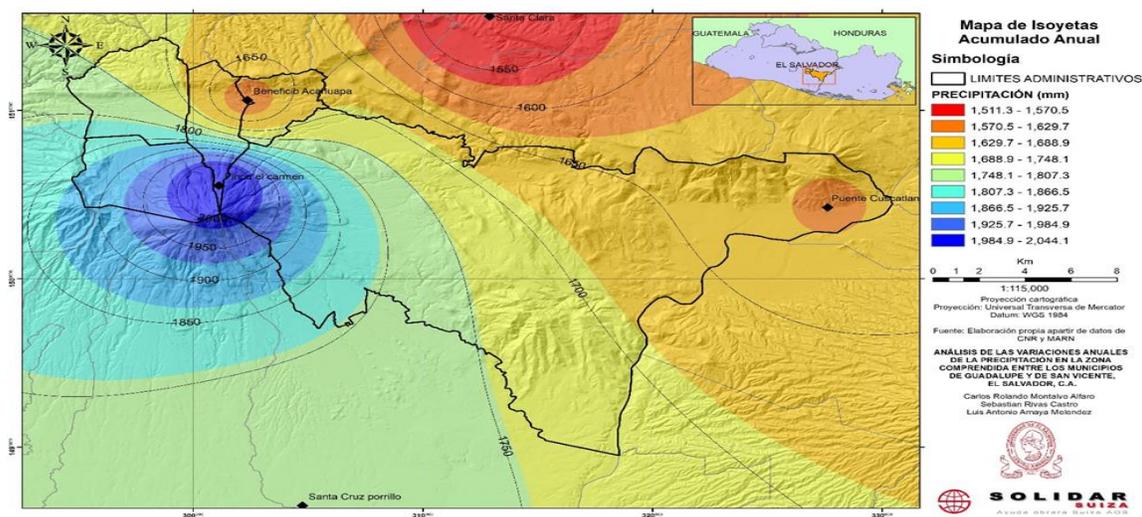


Figura 5. Distribución promedio de lluvias anuales por el método de isoyetas comprendida entre los municipios de Guadalupe y de San Vicente, El Salvador C.A.

#### 4.1.2. Análisis Temporal de la precipitación

En el Cuadro 7, se observan los meses de mayor acumulación de lámina de lluvia presentando los máximos en los meses de agosto y septiembre, con valores en el mes de agosto que van desde 274 mm hasta 346 mm y para el mes de septiembre valores de 297 mm hasta 372 mm.

En el mes de noviembre, primer mes de la época seca, por ser un mes de transición entre las dos épocas, se presentan precipitaciones del orden de 52.34 a 81.53 mm. Para los meses de diciembre, enero y febrero en ocasiones se pueden presentar lluvias mínimas hasta del orden de 2.37 hasta 5.11 mm.

Para los meses de marzo y abril, se presentan algunas primeras lluvias que marcan la transición de la época seca a la época lluviosa. Las cantidades de lluvia son del orden de los 18.10 a 57.86 mm.

En la Figura 6, se identifica que en El Salvador, se distinguen dos épocas bien diferenciadas, la época seca que va de noviembre a abril y la época lluviosa que va de mayo a octubre, también se tiene presencia de mínimas precipitaciones en los meses de marzo y abril menores de 50 mm, lo cual no representa mayor relevancia para considerarlo como inicio de época lluviosa; SNET (2005), manifiesta que para estos meses se presentan algunas lluvias que marcan la época de transición de la época seca a las época lluviosa. Asimismo se obtiene que a nivel de todas las estaciones el mes más lluvioso corresponda a septiembre, con promedio de 300 a 350 mm. Además, se observa una leve reducción para los meses de julio y agosto esto podría deberse a la canícula. Es importante señalar que el comportamiento de la precipitación, en general es igual para todas las estaciones, independientemente del sitio, estos resultados son importantes porque nos pueden ayudar a hacer una buena planificación de las épocas de siembra y cosecha, así como a prever posibles brotes de plagas y enfermedades en los cultivos. También se debe contemplar la posibilidad que estos escenarios pueden cambiar drásticamente, debido a los efectos del cambio climático en los que recurrentemente se presentan sequias o eventos extremos de precipitación, fuera del comportamiento normal.

Cuadro 7. Promedio de precipitaciones mensuales en la zona comprendida entre los municipios de Guadalupe y de San Vicente, El Salvador C.A.

Estación	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Finca El Carmen	2.37	5.11	18.10	57.86	239.98	315.33	282.71	346.96	372.35	302.44	81.53	7.55
Puente Cuscatlán	1.66	1.78	10.22	39.99	208.04	254.84	229.99	280.00	306.28	229.85	58.59	7.49
Santa Cruz Porrillo	2.85	2.28	8.22	41.30	210.34	253.62	238.71	299.75	319.57	258.19	67.75	8.32
Beneficio Acahuapa	1.17	1.67	9.24	44.79	192.82	245.17	245.84	284.88	307.60	222.47	52.34	6.96
Santa Clara	0.73	1.61	6.85	34.30	218.19	236.82	246.17	274.32	297.13	210.06	57.82	4.21

Desde el punto de vista de Gestión de riesgos estos datos también reflejan la importancia de prever los meses en que se debe estar más alerta por las altas precipitaciones que se presentan, sobre todo en aspectos relacionados con las inundaciones en las cuencas bajas, así como los deslizamientos en zonas de ladera.

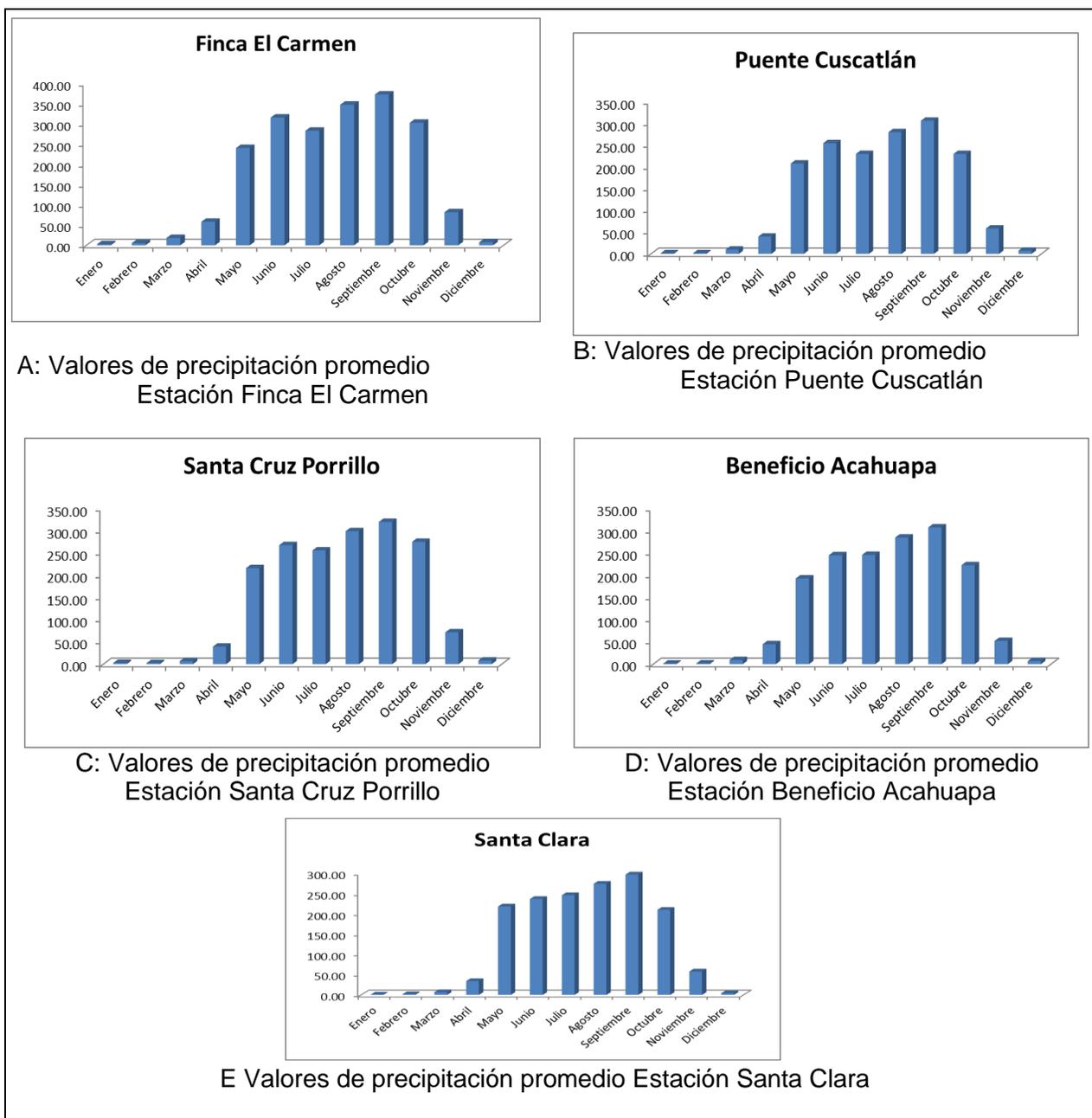


Figura 6. Valores de precipitación promedio mensual comprendida entre los municipios de Guadalupe y de San Vicente, El Salvador C.A.

### 4.1.3. Precipitación promedio anual por estación

La Figura 7, muestra la precipitación máxima ocurridas, como es el caso del año 2005, en la estación Finca El Carmen con 3,182.00 mm; también Machuca (2010), manifiesta en sus resultados de tesis un valor mayor a los 3,000 mm en la misma estación, además MARN (2011), reporta inundaciones en el municipio de San Vicente, atribuido a la tormenta o depresión tropical Adrián la cual se presentó en el mes de mayo, para ese mismo año la CEPAL (2005), menciona que en octubre se presentaron intensas lluvias ocasionadas por el huracán Stan, afectando cerca de la mitad del territorio salvadoreño a través de inundaciones y deslizamientos generalizados, con graves consecuencias sobre vidas, patrimonio, medios de vida y actividades de la población del país.

### 4.1.4 Precipitación promedio anual para la zona

Entre los años 1980 – 2016 (Fig. 8), se observan 16 datos que sobrepasan el valor promedio de la precipitación en la zona (1,715.00 mm), los cuales son: 1980, 1988, 1989, 1990, 1993, 1995, 1996, 1998, 2003, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, de los cuales algunos están asociados a eventos hidrometeorológicos extremos. MARN (2011), manifiesta que El Salvador entre 1981 y 2011, fue impactado por 12 eventos hidrometeorológicos extremos, en septiembre de 1982 ocurrió el huracán Paul originado desde el Pacífico, en octubre de 1988 el huracán Joan, en julio de 1996 huracán César, en octubre de 1998 se presenta el huracán Mitch el cual se originó desde el Atlántico, en octubre del 2005 el huracán Stan, en noviembre del 2009 tormenta tropical IDA, en junio del 2010 el huracán Alex, para ese mismo año en el mes de septiembre se produjo la tormenta T Matthew y en el 2011 la tormenta tropical 12E, la cual se originó en el Pacífico.

Para los años, 1986, 1987, 1991, 1994, 2001, 2002, 2012 y 2015, se observa descensos de lluvia, la cual está por debajo de la media, estos resultados concuerdan con algunos años reconocidos por el fenómeno del Niño (MARN s.f.), manifiesta que para los años 1986, 1987 se presentó El Niño con intensidad muy fuerte, 1991, 1994 con intensidad moderada y para el año 2002 de débil a moderada, MARN (2015) menciona en su estudio Plan Nacional de Gestión Integrada del Recurso Hídrico de El Salvador, con énfasis en Zonas Prioritarias, que el año 2002, tuvo un comportamiento irregular en la época lluviosa afectando la zona oriental (más de 15 días secos consecutivos), parte de la zona central con sequías de débil a moderadas (de 5 a 10 días y de 11 a 15 días secos consecutivos, respectivamente) y la zona

occidental es influenciada por sequías de débiles a moderadas. Y para los años 2012, 2014 y 2015 se han registrado episodio de fuertes canículas. La tendencia de la lluvia tiende a disminuir para los años 2012 a 2016

Los datos anteriores reflejan un déficit de precipitación con respecto al promedio de la zona de estudio, ya que desde el año 2012 se tienen promedios menores a 1800 mm esto, además se ha visto agudizado por eventos extremos de sequía como por ejemplo en el año 2015. (Ravelo *et al.* 2016), menciona que la sequía ocasionó pérdidas económicas en maíz para el Departamento de San Vicente de \$1.000.608.00

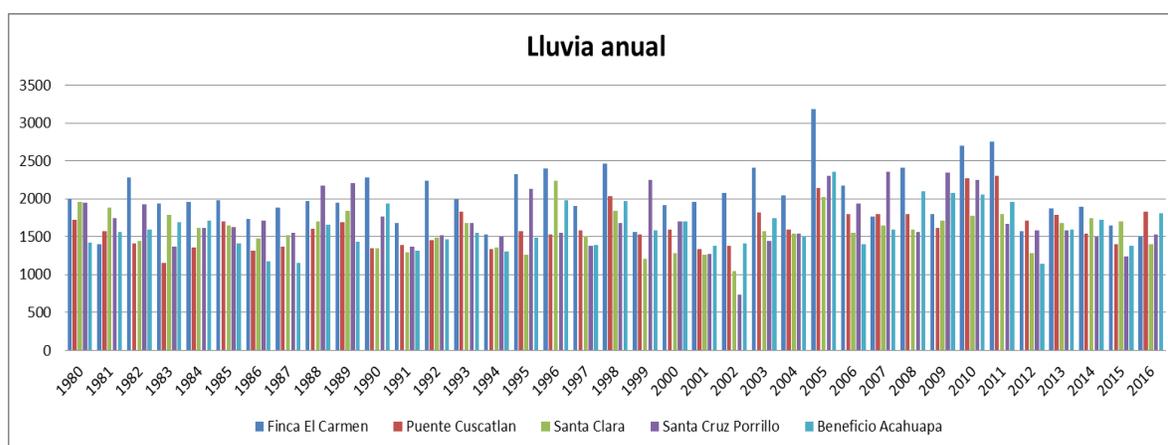


Figura 7. Lluvia promedio anual de cada una de las estaciones comprendida entre los municipios de Guadalupe y de San Vicente, El Salvador C.A.

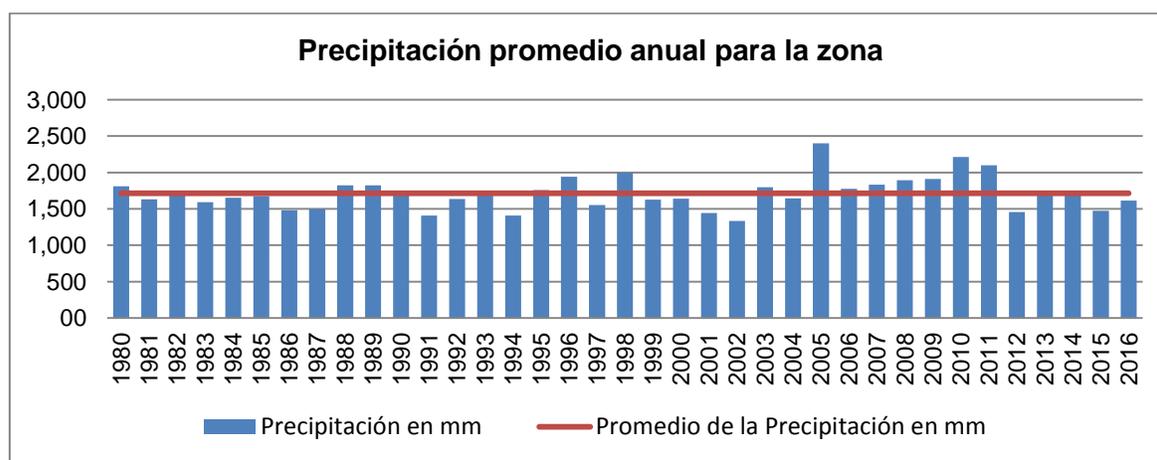


Figura 8. Precipitación promedio anual de la zona comprendida entre los municipios de Guadalupe y de San Vicente, El Salvador C.A.

## 4.2. Balance hídrico

Consiste en identificar la oferta y disponibilidad de agua, a continuación se presentan los resultados de los parámetros que permitieron conocer el cambio de almacenamiento.

### 4.2.1. Precipitación

Los datos de precipitación que ha sido utilizado en el análisis espacial y temporal, constituyen la base de entrada para el balance hídrico.

### 4.2.2. Cálculo de Kc

En el cálculo de coeficiente de cultivo Kc, se identificaron los cultivos presentes en la zona con su respectivo valor de Kc (Anexo 10, C-4), los cuales fueron ponderados para cada mes como se muestra en el (Cuadro 8), presentando los meses de mayor y menor pérdida de Kc.

Los meses que presentan el valor menor de Kc (Fig. 9), corresponden a los meses de mayo con 0.65 mm y septiembre con 0.74 mm y los máximos se reportan en los meses de junio con 0.84 mm, agosto, octubre y noviembre estos tres últimos con 0.86 mm, los valores más bajos se pueden asociar a que las plantas pierden menor cantidad de agua a inicio de su desarrollo (germinación y crecimiento inicial), que cuando están en su fase de mediados del período, que corresponde a la etapa de maduración donde presenta un requerimiento hídrico mayor (Ordoñez 2011), y teniendo en cuenta que el área de siembra de granos básicos es mayor que otros cultivos (Anexo 11, C-5), los cuales se siembran a finales de abril e inicios de mayo esto posiblemente con lleva a una reducción de Kc para el mes de mayo.

Cuadro 8. Valores correspondientes a la evapotranspiración de cultivo

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
0.80	0.82	0.83	0.83	0.65	0.85	0.87	0.87	0.74	0.87	0.87	0.83

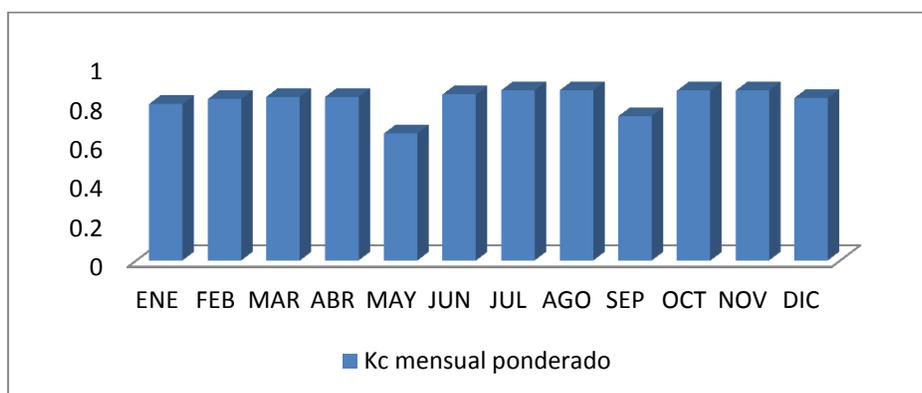


Figura 9. Kc mensual ponderado para la zona de estudio comprendida entre los municipios de Guadalupe y de San Vicente, El Salvador C.A.

#### 4.2.3. Evapotranspiración de Referencia

Del uso de las ecuaciones de correlación Altitud - evapotranspiración de referencia, se presentan los valores promedios de Evapotranspiración de Referencia (Fig. 10), para cada estación, que arrojan un dato máximo de 160 mm para Santa Cruz Porrillo y Puente Cuscatlán, y los datos menores los reporta Finca El Carmen con 129 mm, se evidencia la relación que existe entre Altitud y Evapotranspiración de Referencia, por lo que las zonas de menor altura se observa mayor pérdida y las zonas de mayor alturas menor pérdida de agua. Comprobándose esa correlación, se procedió a utilizar los valores de Evapotranspiración de Referencia para el cálculo del Balance hídrico.

La mayor pérdida de agua se presenta en los meses de marzo y abril con valores de 172.97 a 175.87 mm (Fig.11), según MAG (1980), ocurren las máximas temperaturas posiblemente esta sea una de las causas. UNESCO (2006), manifiesta que en el país los meses que registran las menores pérdidas potenciales es el mes de noviembre seguido por el mes de diciembre, valores de 128.61 a 129.74 mm y a nivel anual 1,794.80 mm.

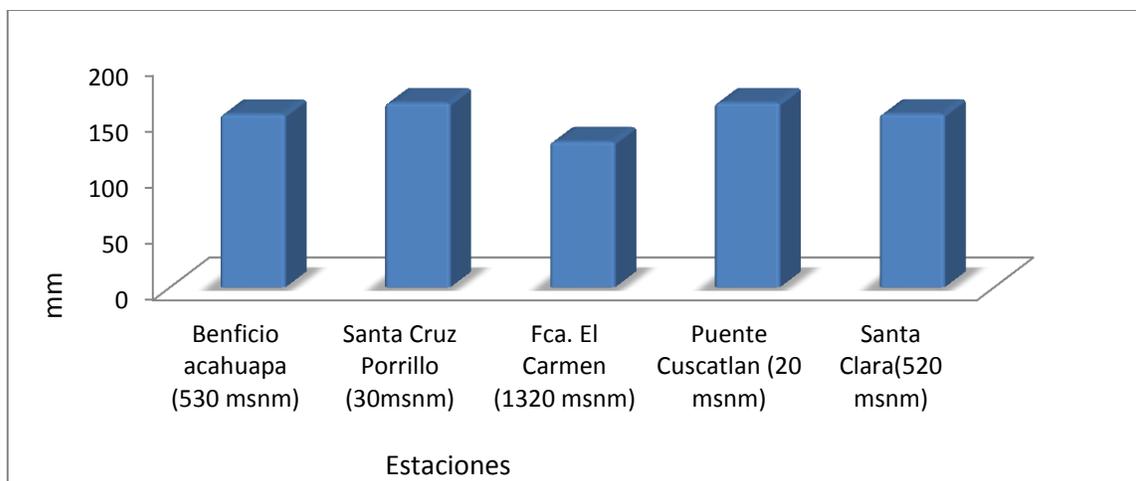


Figura 10. Promedio de Evapotranspiración de Referencia comprendida entre los municipios de Guadalupe y de San Vicente, El Salvador C.A.

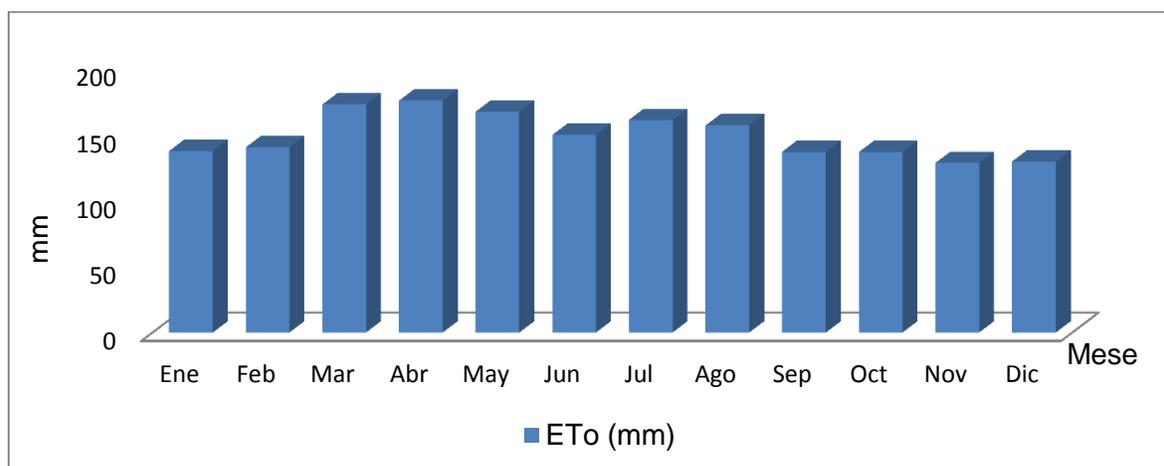


Figura 11. Evapotranspiración de Referencia mensual de la zona comprendida entre los municipios de Guadalupe y de San Vicente, El Salvador C.A.

En el Cuadro 9, se presentan los valores correspondientes a la evapotranspiración de referencia mensual para la zona comprendida entre los municipios de Guadalupe y de San Vicente, El Salvador C.A.

Cuadro 9. Valores correspondientes a la Evapotranspiración de Referencia

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
137.66	140.42	172.97	175.87	167.50	149.83	161.22	157.06	137.12	136.81	128.61	129.74

#### 4.2.4. Análisis de Evapotranspiración de cultivo

En el Cuadro 10, se observan los resultados correspondientes a la evapotranspiración de cultivo.

Los valores máximos se presentan (Fig. 12), en marzo con 144.40 mm y abril 146.70 mm, y los mínimos en el mes de septiembre con 100.94 mm y mayo con 108.39 mm. Esto podría deberse a las temperaturas máximas que se presentan en los meses de marzo y abril, UNESCO (2006), manifiesta que los vientos, temperatura y humedad relativa inciden en la pérdida de agua de las plantas, en zonas de mayor viento, se produce mayor pérdida de agua, al igual que en las zonas más secas y con temperaturas más elevadas.

Cuadro 10. Valores correspondientes a la Evapotranspiración de Cultivo

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
109.81	115.49	144.42	146.74	108.39	126.87	139.93	136.32	100.94	118.52	111.41	107.45

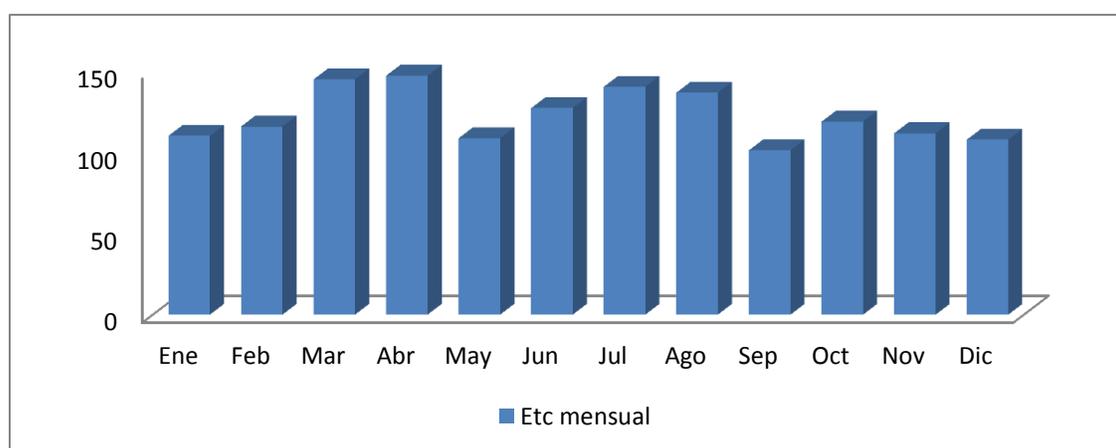


Figura 12. Evapotranspiración de Cultivo comprendida entre los municipios de Guadalupe y San Vicente, El Salvador C.A.

#### 4.2.5. Análisis de evapotranspiración real

Este análisis refleja las pérdidas reales dadas tanto por las condiciones climáticas, como por los usos del suelo y las características de retención de agua de los mismos.

En el Cuadro 11, se muestran los valores correspondientes a la evapotranspiración real, los cuales se obtuvieron a partir de la capacidad de agua disponible en el suelo y tomando en cuenta los valores de precipitación y evapotranspiración de cultivo.

El valor máximo se presenta en el mes de julio con 139.93 mm (Fig.13), esto posiblemente se debe a que en los meses anteriores se tiene un suelo saturado de agua y los mínimos se observan en los meses de enero con 1.88 mm y febrero con 3.01 mm, posiblemente se atribuyen a la escasa o nula precipitación. Obteniendo para la zona un valor de 966.78 mm, SNET (2005), menciona que para los volcanes de San Vicente y San Miguel, se presentan valores del orden de los 800 a 900 mm.

Cuadro 11. Valores correspondientes a la evapotranspiración real

<b>Evapotranspiración real</b>			
Meses	ETr (mm)	Meses	ETr (mm)
Enero	1.88	Julio	139.93
Febrero	3.01	Agosto	136.32
Marzo	12.55	Septiembre	100.94
Abril	47.05	Octubre	118.52
Mayo	108.39	Noviembre	111.41
Junio	126.87	Diciembre	59.91
<b>Total</b>	<b>966.78 mm</b>		

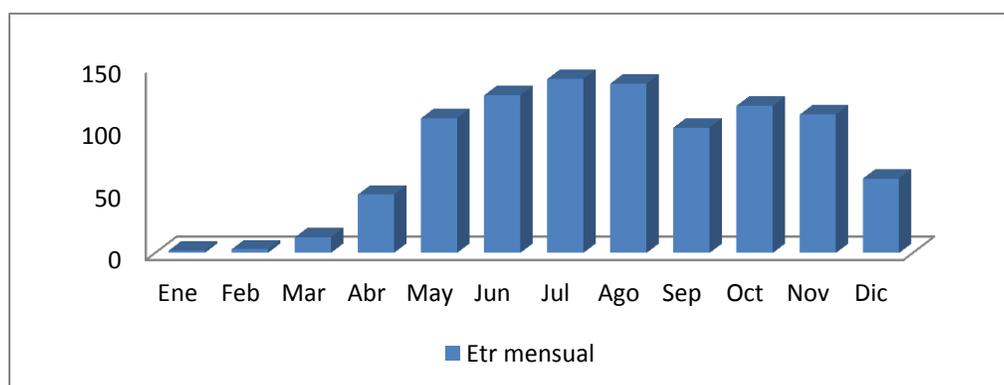


Figura 13. Evapotranspiración real mensual para la zona de estudio comprendida entre los municipios de Guadalupe y de San Vicente El Salvador C.A.

#### 4.2.6. Capacidad de retención

En Anexo 12 C-6, se muestra el dato de capacidad de retención ponderada (mm) y tipo de suelo, a partir de datos del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) de acuerdo a texturas asociadas al mapa de clasificación de suelos de El Salvador elaborado

por el USDA en 1985, se observa que para la zona, predominan los suelos Latosoles arcilloso rojizos con una máxima capacidad de retención de 100 mm y con un área de 18,626.12 ha, mientras que en un área más pequeña se encuentran los Grumosoles con 40.36 ha, con una capacidad máxima de retención de 70 mm, obteniendo un valor ponderado para la zona de 97.34 mm.

#### 4.2.7. Escorrentía

En el Cuadro 12, se muestran los valores máximos y mínimos correspondientes a la escorrentía.

En los meses de septiembre 105.98 mm y octubre 89.72 mm se presentan los valores máximos (Fig. 14), esto corresponde a la conjugación de factores orográficos, tipos de suelo, características geológicas y cobertura vegetal, mientras que los mínimos se observan en los meses de noviembre a mayo con valores de 24.68 hasta 2.86 mm, según SNET (2005), esto se debe al producto de una gran disminución de su caudal base que refleja la poca capacidad de regulación hídrica

Cuadro 12. Valores correspondientes a la escorrentía

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
2.86	8.91	6.40	5.65	15.26	49.33	45.66	58.26	105.98	89.72	24.68	7.87

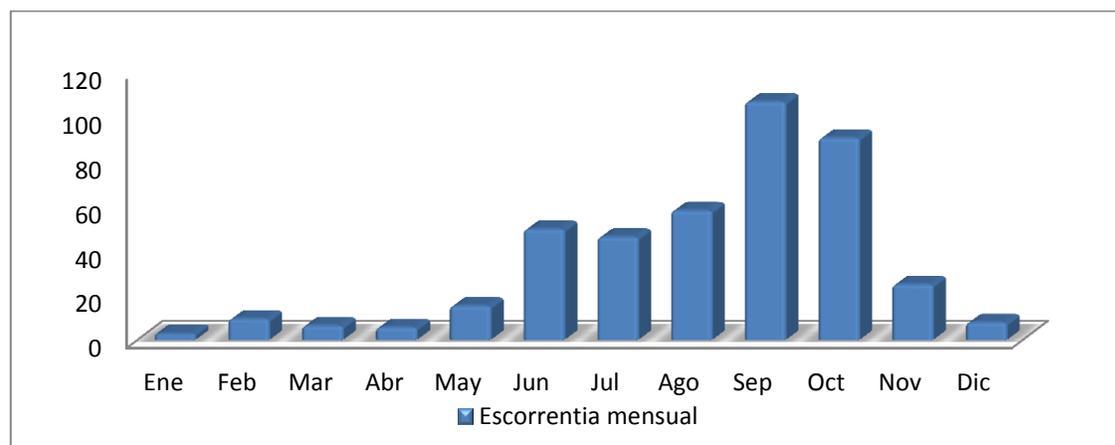


Figura 14. Escorrentía superficial mensual para la zona de estudio comprendida entre los municipios de Guadalupe y de San Vicente, El Salvador C.A.

#### 4.2.8. Cambio de almacenamiento

En el Cuadro 13. Se observan los máximos en los meses de agosto, con 112.03 mm y septiembre con 124.27 mm, esto indica el volumen de agua que recarga el acuífero además demuestra la presencia de agua subterránea en cantidades abundantes, para los meses de agosto y septiembre.

En la Figura 15, se presentan los valores mensuales de cambio de almacenamiento para la zona, de enero - abril, noviembre y diciembre, se observan valores negativos lo cual indica que no hay recarga hídrica, mientras que para los meses de mayo a octubre se obtienen valores positivos los cuales indican presencia de recarga hídrica.

Con estos resultados se puede evidenciar los meses correspondientes a la época seca y lluviosa. Además se observa la importancia de la precipitación mensual ya que el mes de septiembre que reporta la máxima de lluvia también reporta el valor máximo de cambio de almacenamiento

Cuadro 13. Valores correspondientes al cambio de almacenamiento.

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
-2.86	-8.91	-6.40	-5.65	94.42	97.88	68.05	112.03	124.27	48.10	-122.02	-60.50

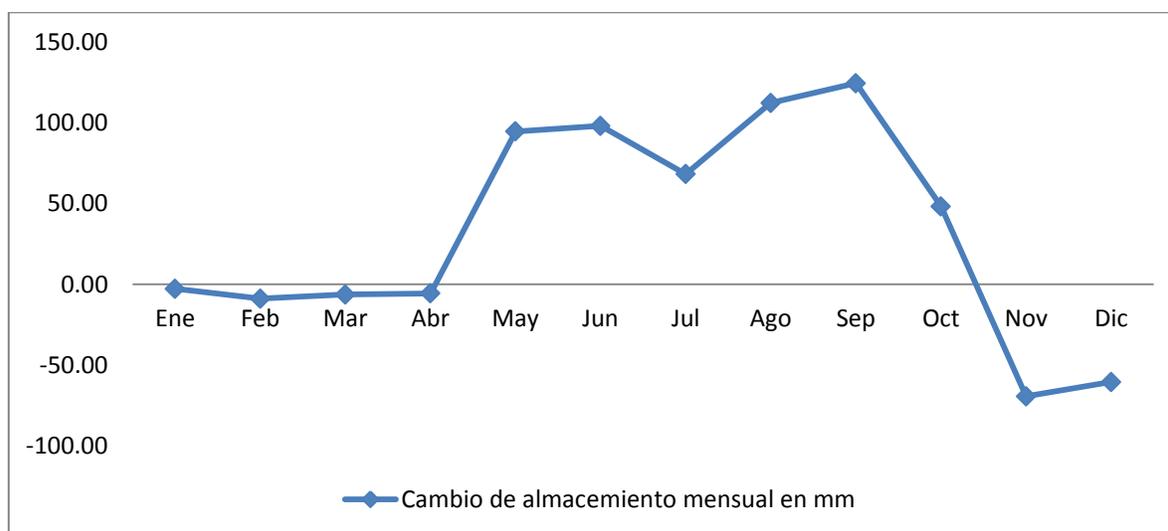


Figura 15. Cambio de almacenamiento mensual para la zona de estudio comprendida entre los municipios de Guadalupe y de San Vicente, El Salvador C.A.

#### 4.2.9. Balance hídrico total para la zona

Partiendo de un registro de datos de precipitación para el periodo 1980 – 2016 (anexo 13, C-7), a continuación se muestra el resultado promedio anual en millones de metros cúbicos, del balance hídrico climatológico para la zona en estudio (Fig. 16). Se observa que la precipitación máxima para la zona es de 614.24 Mm<sup>3</sup> de agua que caen en forma de lluvia, datos reportados por el SNET (2005), mencionan que para la cuenca Acahuapa el valor de precipitación 421.22 Mm<sup>3</sup>, teniendo en cuenta que el área de estudio es mayor que el área de la cuenca Acahuapa, permite comparar que los resultados obtenidos tienen una similitud con los presentados por el SNET.

El resultado para la Evapotranspiración real es de 333.91 Mm<sup>3</sup>, esto representa el 53.83% de pérdida de agua, mientras que por escorrentía se pierden 145.26 Mm<sup>3</sup>, esto equivale al 23.42% de la precipitación, al final solo forman parte de la recarga hídrica 135.06 Mm<sup>3</sup>, equivalente al 22.75% de toda la precipitación. Al comparar estos resultados con los valores presentados por SNET (2005), quienes reportan para la cuenca Acahuapa resultados de Evapotranspiración real 210.94 Mm<sup>3</sup>, Escorrentía 99.20 Mm<sup>3</sup>, y Recarga hídrica 108.46 Mm<sup>3</sup>, indica que existe una similitud en los resultados obtenidos.

MARN citado por Chávez *et al.* (2017), Menciona que la principal zona de recarga de los acuíferos identificados en la depresión central se localiza específicamente en las estructuras volcánicas de San Salvador, Picacho, Santa Ana, San Vicente, Tecapa y San Miguel, en donde la fracturación y el carácter escoriáceo de los flujos de lava hacen posible que aproximadamente hasta el 25% de las precipitaciones que caen sobre dichas zonas infiltren. Es importante mencionar que los resultados obtenidos son periodos anuales de una serie de 36 años, por lo que los valores individuales de cada año pueden variar dependiendo de las condiciones climáticas que presenten. En años donde se presente el fenómeno de El Niño o sequía, posible mente el valor de recarga hídrica sea menor.

Los datos anteriores reflejan que, en la zona de estudio, si bien se tiene una buena recarga hídrica (135.06 Mm<sup>3</sup>) sin embargo, es importante mencionar que las pérdidas por escorrentía son muchas (145.26 Mm<sup>3</sup>). En ese sentido estos datos deben servir para definir estrategias para mejorar la infiltración de agua en el suelo, ya que se ha observado que en las zonas altas donde se establecen granos básicos u otra clase de cultivos, no se tienen obras de

conservación de suelos. También, se debe considerar un programa de conservación de suelos y aguas que ayuden a aumentar la infiltración del agua precipitada en la zona de estudio, esto se vuelve cada vez más importante ya que la población que se abastece es cada vez mayor.

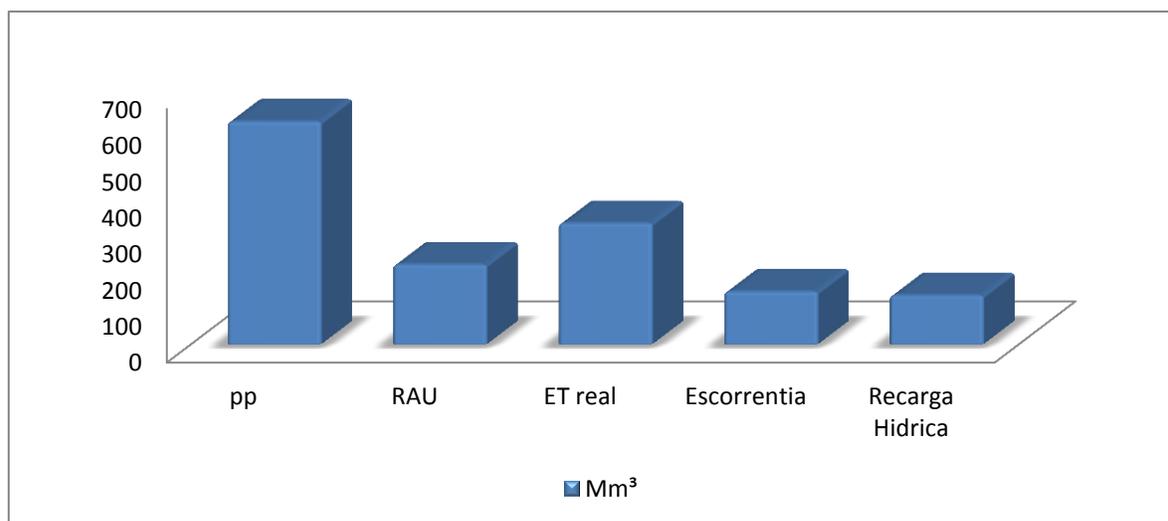


Figura 16. Balance hídrico climatológico promedio de la zona de estudio comprendida entre los municipios de Guadalupe y de San Vicente, El Salvador C.A

### 4.3. Índice Estandarizado de Precipitación (SPI)

Los resultados a continuación muestran el déficit o exceso de precipitación para una escala de 12 meses tanto en periodos secos como húmedos.

#### 4.3.1. Análisis de los periodos secos

El cálculo del SPI para cada una de las estaciones meteorológicas, basados en el registro de precipitaciones a largo plazo para una escala de 12 meses y utilizando el sistema de clasificación de Mckee descrito en la metodología, se presentan a continuación.

##### 4.3.1.1. Análisis de periodos secos estación Finca El Carmen

En la Figura 17, se muestran las intensidades correspondientes a la estación Finca El Carmen, se observan 4 años (valores de índice de -1.5 a -1.99), que indican intensidad de

severamente secos, en los años, 1994, 2013, 2015 y 2016. (MARN s.f.), manifiesta que para el año 1994 hubo sequía meteorológica fuerte y recurrente, en el año 2015 se presentó el fenómeno de El Niño con una intensidad de moderado y fenómenos de sequía meteorológica fuerte con 20 y 24 días cada uno; y para el 2013 alcanzó 23 días secos consecutivos.

En el Cuadro 14, se presenta la magnitud para cada evento seco, reportando la máxima el año 1994 con 7.73 y para el año 2016 se observa una reducción con un valor de 3.13.

Las magnitudes correspondientes para la estación Finca El Carmen para los años, 1981 y 2016 presentan categoría de magnitud fuerte, 1994, 2013 y 2015 corresponden a categoría de extremadamente fuerte, se observa que predomina la magnitud de categoría extremadamente fuerte. Olivares (2016), muestra en su estudio “Caracterización de la Sequía Meteorológica en la Red de Estaciones Agrometeorológicas del Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA) Venezuela” valores de magnitud superiores a los 7.6.

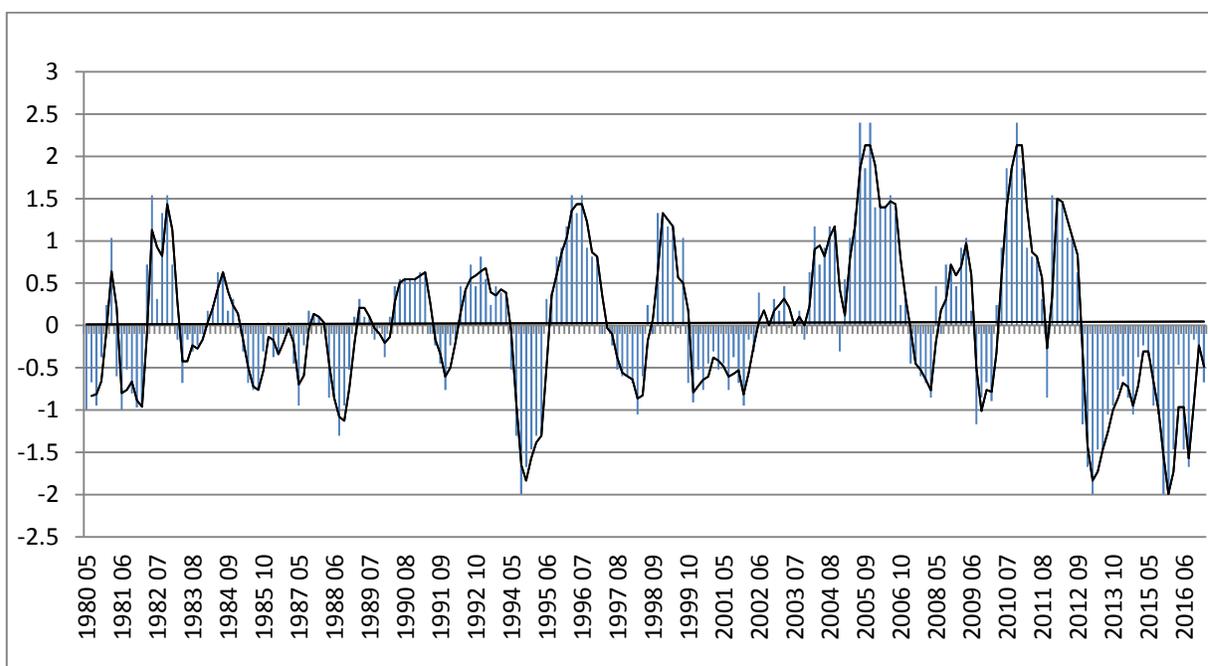


Figura 17. Análisis de sequía Estación Finca el Carmen de la zona de estudio comprendida entre los municipios de Guadalupe y de San Vicente, El Salvador C.A

Cuadro 14. Magnitudes correspondientes a los eventos secos Estación Finca el Carmen

Evento		Magnitud	Intensidad máxima
Inicio	Final		
1994/06	1994/10	7.73	-1.99
2013/05	2013/09	7.64	-1.99
2015/07	2015/10	6.50	-1.99
2016/06	2016/07	3.13	-1.67

#### 4.3.1.2. Análisis de periodos secos estación Santa Cruz Porrillo

En la Figura 18, se presentan el SPI de 12 meses de la estación Santa Cruz Porrillo la cual registra 4 eventos de sequía correspondientes a los años, 1994, 2001 y 2002 con intensidad de moderadamente seco de -1 a -1.49, mientras que para el año 2015 con una intensidad de severamente seco de -1.5 a -1.99.

La estación Santa Cruz Porrillo presenta las magnitudes correspondientes (Cuadro 15) para los años, 2001 con (4.98) muestran una categoría de magnitud muy fuerte en cambio 2002 con (3.26) una categoría magnitud fuerte. 1994 y 2002 con (6.80 y 7.16) corresponden a magnitud categoría extremadamente fuerte.

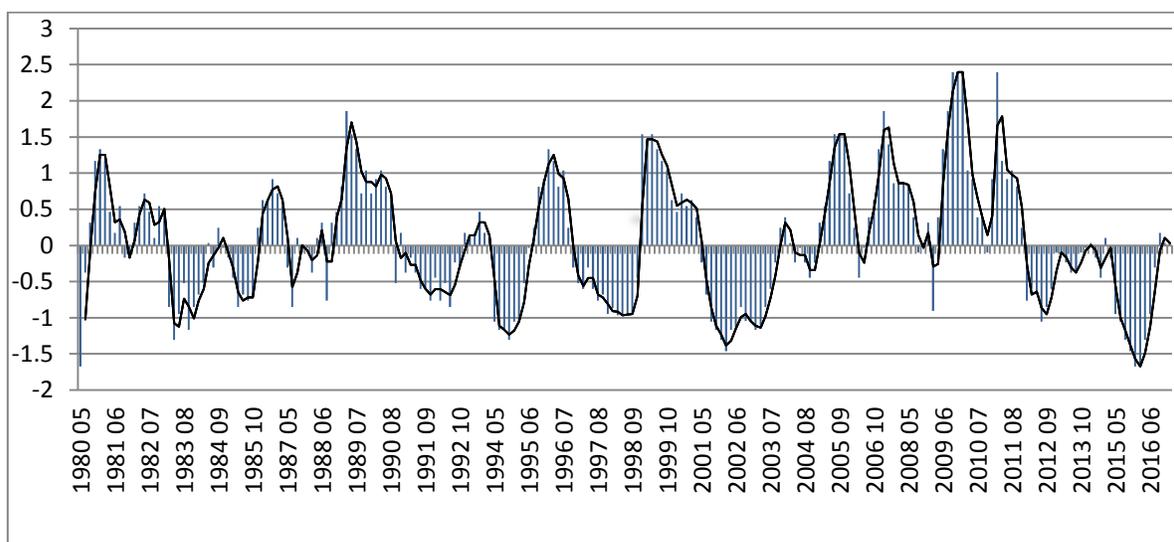


Figura 18. Análisis de sequía Estación Santa Cruz Porrillo de la zona de estudio comprendida entre los municipios de Guadalupe y de San Vicente, El Salvador C.A.

Cuadro 15. Magnitudes correspondientes a los eventos secos Estación Santa Cruz Porrillo

Evento		Magnitud	Intensidad máxima
Inicio	Final		
1994/05	1994/10	6.80	-1.30
2001/07	2001/10	4.98	-1.46
2002/08	2002/10	3.26	-1.16
2015/06	2015/10	7.16	-1.67

#### 4.3.1.3. Análisis de periodos secos estación Puente Cuscatlán

El SPI de 12 meses de la estación Puente Cuscatlán (Fig.19), presenta 8 eventos de periodos secos de los cuales 4 corresponden a intensidad de moderadamente seco de -1 a -1.49 en los años 1983, 1986, 1994 y 2002, para el resto de eventos se presentan intensidades de severamente seco de -1.5 a -1.99, para los años 2001, 2014, 2015 y 2016. Datos reportados por el MARN (2015), indican que el año 1983, 1986, 2002 se reporta el fenómeno de El Niño, y en los años 1988, 2001-2004 se presentan ciclos de años secos, IRI (2015) citado por Ravelo *et al.* (2016), Menciona que en Centro América, en octubre del 2014 se inició un periodo de sequía a consecuencia del fenómeno del Niño que se prolongó en 2015 con una intensidad muy fuerte y hasta principios del 2016, consecuencia de esto para El Salvador se tuvo acumulados de lluvias por debajo de los promedios históricos en el año 2015. Estos resultados indican que en los últimos años los eventos secos se presentan con mayor frecuencia y mantienen la intensidad de severamente seco.

En el Cuadro 16, se observan las magnitudes para la estación Puente Cuscatlán, las máximas se presentan en los años 2001, 2014, 2015 y 2016, los cuales corresponden a magnitud de extremadamente fuerte, para los años 1994 y 2002 se tiene un valor de magnitud fuerte y en los años 1983 y 1986 el valor de magnitud es poco fuerte. Esto indica que para esta estación predomina la magnitud de extremadamente fuerte. Según Guirola (2009), los años reconocidos como fenómeno de El Niño, se han presentado durante algunos meses en los siguientes años: 1982-1983, 1986, 1987, 1991, 1995, 1997, 1998, 2002 y 2003. Se pueden distinguir que algunos eventos obtenidos mediante el SPI, coinciden con años donde se presentó el fenómeno de El Niño.

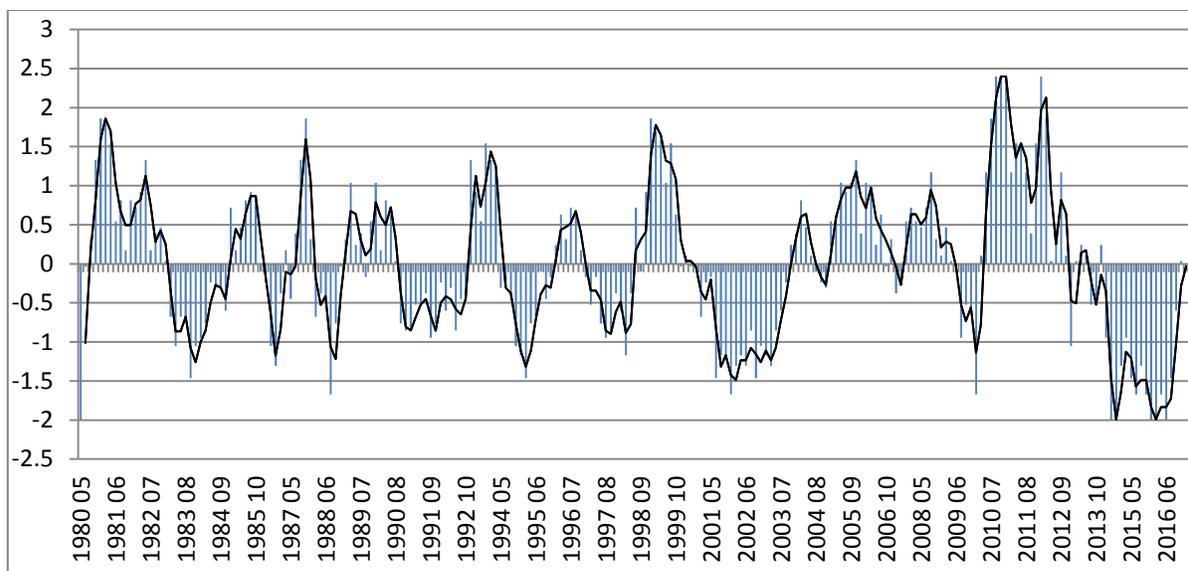


Figura 19. Análisis de sequía Estación Puente Cuscatlán de la zona de estudio comprendida entre los municipios de Guadalupe y de San Vicente, El Salvador C.A.

Cuadro 16. Magnitudes correspondientes a los eventos secos Estación Puente Cuscatlán

Evento		Magnitud	Intensidad máxima
Inicio	Final		
1983/09	1983/10	2.51	-1.46
1986/07	1986/08	2.35	-1.3
1994/08	1994/10	3.68	-1.46
2001/06	2001/10	6.77	-1.67
2002/08	2002/10	3.68	-1.46
2014/07	2014/09	5.28	-1.99
2015/05	2015/10	10.10	-1.99
2016/05	2016/07	5.13	-1.99

#### 4.3.1.3. Análisis de periodos secos estación Santa Clara

La Estación Santa Clara en el análisis SPI 12 meses (Fig. 20), presenta 9 eventos de periodos secos de los cuales 6 corresponden a intensidad de moderadamente secos de -1 a -1.49 en los años 1991, 1995, 2001, 2003, 2015 y 2016 mientras que los eventos de intensidades severamente seco de -1.5 a -1.99, se observan en los años 1994, 2002 y 2014 MARN (2015) menciona que el valor del SPI del mes de julio se sitúa en niveles de sequía, severa y puntualmente extrema, para los meses de julio de los años, 1983, 1986, 1991 y 1994, registrados en la base de datos DESINVENTAR como periodos caniculares de gran impacto en la zona oriental del país. Según Guirola (2009), en los años 1991, 1995, 2002,

2003 ocurrieron eventos Niño, esto demuestra que algunos años Niños coinciden con los datos obtenidos mediante el análisis SPI de escala 12 meses.

Las magnitudes correspondientes a la estación Santa Clara, (cuadro 17), muestra que los años 1994, 1995, 2001, 2002 y 2015, presentan categoría extremadamente fuerte, mientras que para los años 1991, 2016 magnitud de categoría fuerte, y en los años 2003 y 2014 se observa magnitud de poco fuerte. Estos resultados indican que predomina la magnitud de categoría extremadamente fuerte.

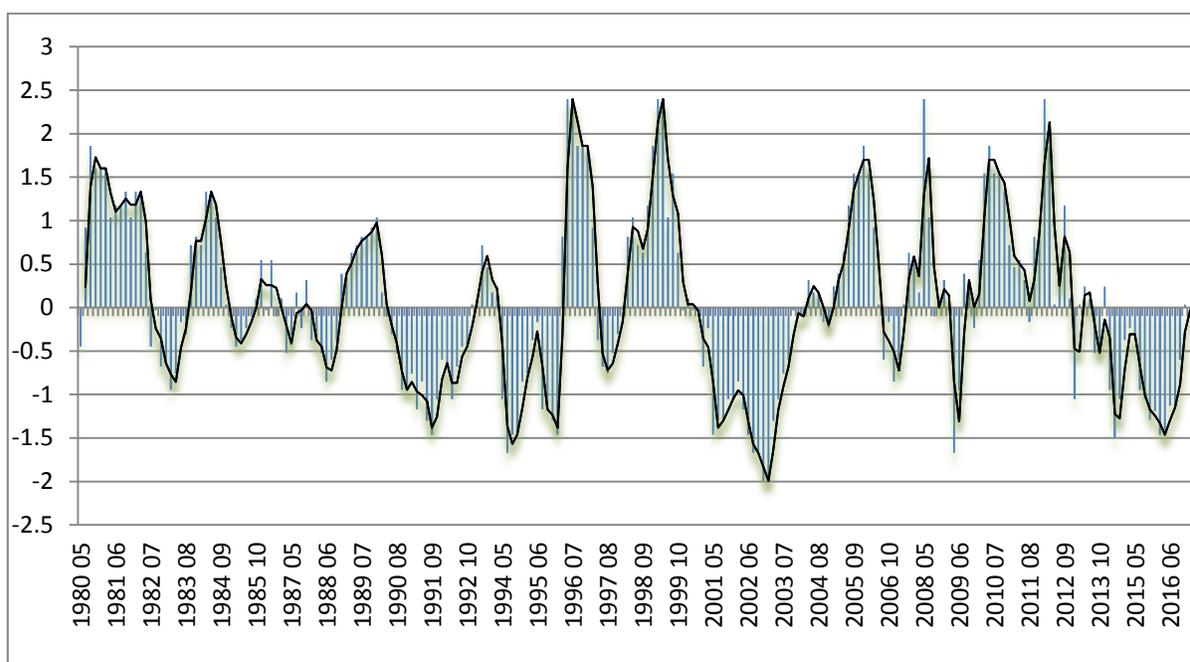


Figura 20. Análisis de sequía Estación Santa Clara de la zona de estudio comprendida entre los municipios de Guadalupe y de San Vicente, El Salvador C.A.

Cuadro 17. Magnitudes correspondientes a los eventos secos Estación Santa Clara

Evento		Magnitud	Intensidad máxima
Inicio	Final		
1991/08	1991/10	3.81	-1.46
1994/05	1994/08	5.65	-1.67
1995/07	1995/10	5.10	-1.46
2001/05	2001/09	6.17	-1.46
2002/05	2002/10	9.96	-1.99
2003/05	2003/06	2.35	-1.30
2014/07	2014/08	2.55	-1.50
2015/07	2015/10	5.00	-1.46
2016/05	2016/07	3.75	-1.46

#### 4.3.1.4. Análisis de periodos secos estación Beneficio Acahuapa

En la estación Beneficio Acahuapa (Fig. 21), se identificaron 6 eventos de periodos secos de los cuales 3, corresponden a intensidad de severamente seco de -1.5 a -1.99, en los años 1986, 2013 y 2015, también se observan 3 eventos correspondientes a intensidad de moderadamente seco -1 a -1.5, para los años 1994, 1997 y 1998. Los años reconocidos como El Niño se presentan en 1986 y 1998 (Guirola 2009). también MARN (2015), describe que para la estación San Miguel (M24), utilizando el SPI del mes de julio de una serie histórica presentan una condición de periodo seco.

En el Cuadro 18, se presentan las magnitudes correspondientes a la estación Beneficio Acahuapa con categoría poco fuerte para los años 1986, 1987, 1998, mientras que para los valores de magnitud muy fuerte se presentan en los años 1994, 2015 y para el año 2013 se tiene una magnitud extremadamente fuerte, para esta estación predomina la magnitud poco fuerte.

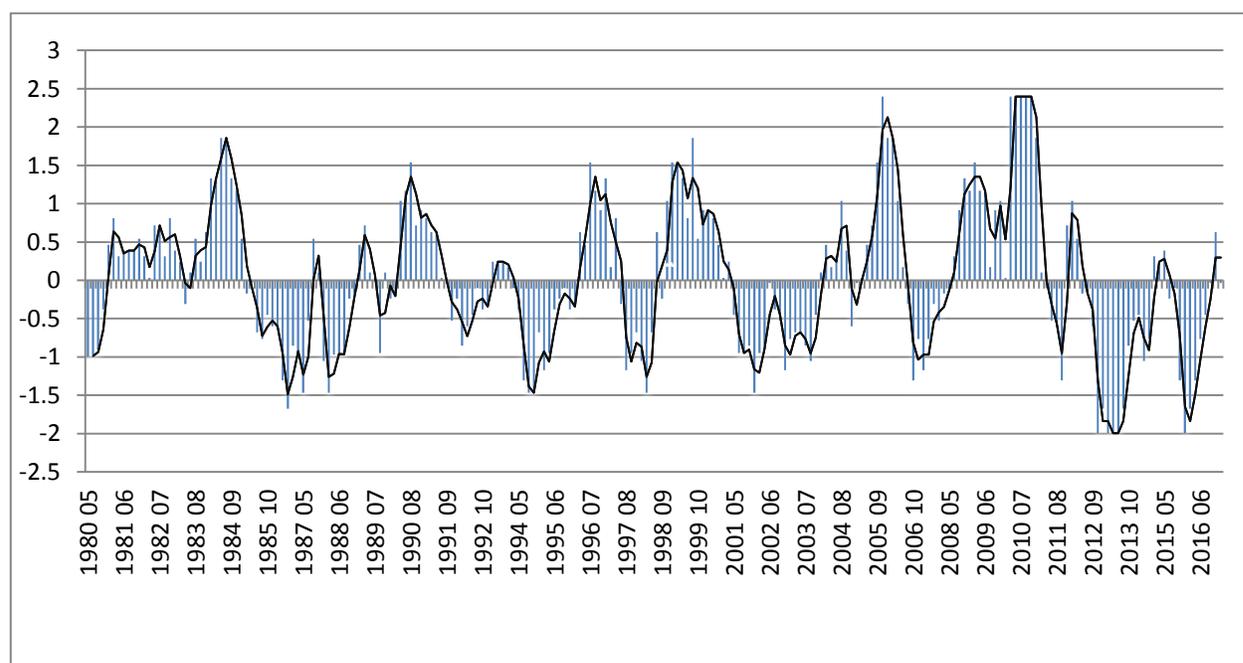


Figura 21. Análisis de sequía Estación Beneficio Acahuapa de la zona de estudio comprendida entre los municipios de Guadalupe y de San Vicente, El Salvador C.A.

Cuadro 18. Magnitudes correspondientes a los eventos secos Estación Beneficio Acahuapa

Evento		Magnitud	Intensidad máxima
Inicio	Final		
1986/07	1986/08	2.97	-1.67
1987/09	1987/10	2.51	-1.46
1994/06	1994/08	4.23	-1.46
1998/05	1998/06	2.15	-1.46
2013/05	2013/09	9.32	-1.99
2015/08	2015/10	4.96	-1.99

#### 4.3.1.5. Análisis de periodos secos de la Zona de estudio

En la Figura 22, se muestra el SPI de escala 12 meses correspondientes a la zona de estudio, se observan 5 eventos de los cuales 4 corresponden a intensidades de moderadamente seco -1 a -1.49, para los años 1994, 2001, 2002, 2003, y en el año 2015 se tiene una intensidad de severamente seco -1.5 a -1.99. MARN (2015) muestra resultados para periodos secos en El Salvador, utilizando el Índice SPI anual acumulado, para el año 2001, (sequía severa), y en los años 2002, 2003 intensidad de sequía extrema: Guirola (2009), manifiesta que para los años 1994, 2001 fueron años Niños y presento sequía agrícola, y en los años 2002, 2003 y 2015 años Niño.

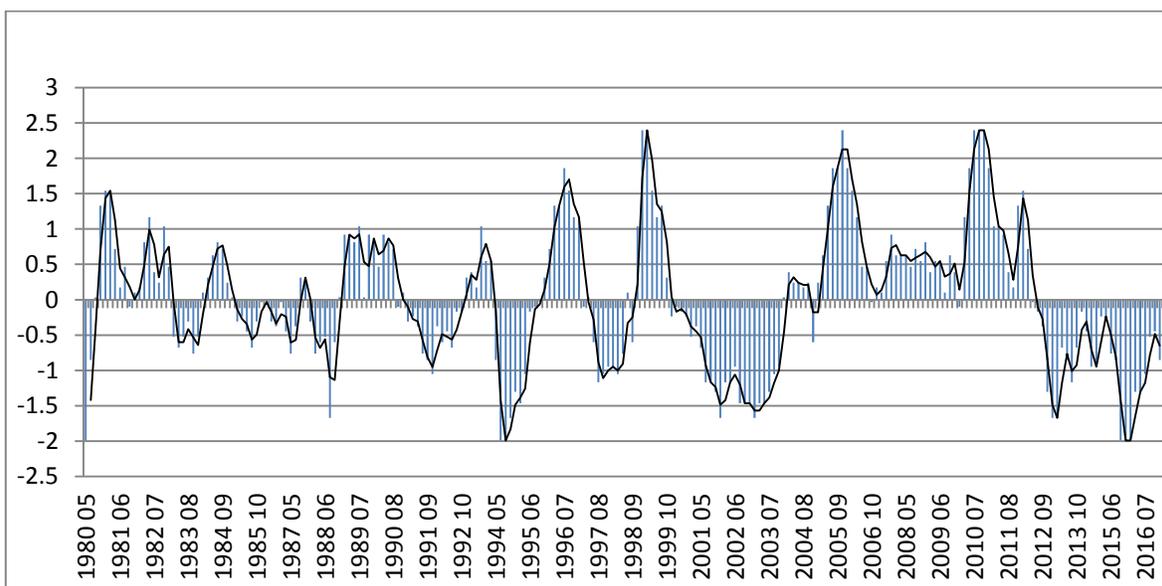


Figura 22. Análisis de sequía de la zona de estudio comprendida entre los municipios de Guadalupe y de San Vicente, El Salvador C.A.

La magnitud correspondiente para la zona (Cuadro 19), indica categoría fuerte; en los años 1994 y 2003 y en el 2001 categoría extremadamente fuerte, mientras que para los años 2002 y 2015 categoría muy fuerte.

El evento de mayor duración atribuido al año 2001 corresponde al periodo más largo (4 meses) es por esto que ese año presenta el valor mayor de magnitud.

Cuadro 19. Magnitudes correspondientes a los eventos secos para la Zona

Evento		Magnitud	Intensidad máxima
Inicio	Final		
1994/06	1994/08	3.70	-1.34
2001/06	2001/10	5.66	-1.39
2002/08	2002/10	4.04	-1.47
2003/05	2003/07	3.25	-1.19
2015/08	2015/10	4.22	-1.59

#### 4.3.2. Análisis de periodos húmedos

Los resultados para los periodos con excesos de humedad utilizando el Índice Estandarizado de Precipitación (SPI) en una escala de 12 meses (Cuadro 20), nos arrojan eventos correspondientes a intensidades 1 a 1.49, en las estaciones: Finca El Carmen año 1982, 1983, 1996, 1999 y 2011; Santa Cruz Porrillo años 1980, 1996, 1998, 2005 y 2006; Puente Cuscatlán años 1992, 1993, 2005; Santa Clara 1981, 1983 y Beneficio Acahuapa año 1999. Y para los eventos de categoría extremadamente húmedo los cuales corresponden a intensidades de 2.0 y más, se reportan en los años 2005, 2010 en la estación Finca El Carmen; así mismo Santa Cruz Porrillo en los años 2010 y 2011; Puente Cuscatlán año 2010; Santa Clara en los años 1996, 1998 y Beneficio Acahuapa en el años 2010, 2005.

Estos resultados coinciden con algunos eventos Hidrometeorológicos descritos por MARN, tales como el evento Paul septiembre de 1982, Joan octubre de 1988, Gert septiembre de 1993, Cesar 1996, Mitch 1998, Adrián mayo 2005, Stand octubre 2005, en el 2010 se tuvo la tormenta tropical Agatha, Alex y huracán Mattew y octubre de 2011 depresiones tropicales DT12-E (MARN 2011). Además Guirola (2009), presenta que para las estaciones San Miguel, Ilopango, Santa Ana la precipitación del año 1980 sobrepasa el valor del promedio de precipitación de la estación; además para el año 2005 la estación Finca El Carmen reporta un valor superior a los 3000 mm (Machuca 2010). Posiblemente los periodos de

categoría extremadamente húmedo tengan relación con la presencia de múltiples eventos hidrometeorológicos que se presenten en el mismo año.

Cuadro 20. Comportamiento de los periodos húmedos

<b>Intensidad</b>	<b>Finca El Carmen</b>	<b>Santa cruz Porrillo</b>	<b>Puente Cuscatlán</b>	<b>Santa Clara</b>	<b>Beneficio Acahuapa</b>
<b>1 a 1.49</b>	1982, 1983, 1996, 1999 y 2011	1980, 1996, 1998, 2005 y 2006	1992, 1993, 2005	1981, 1983	1999
<b>1.5 a 1.99</b>	----	1989, 2011	1981, 1999	1980, 2005, 2010, 2011	1984
<b>2 y mas</b>	2005, 2010	2010, 2011	2010	1996 y 1998	2010, 2005

### 4.3. Umbrales para periodos secos y húmedos

En el cuadro 21 y 22, se presenta un análisis de los periodos secos y húmedos, utilizando las intensidades obtenidas mediante el SPI. Haciendo notar los principales eventos climáticos que han afectado la zona de estudio.

Cuadro 21. Umbrales de sequía en la zona de estudio

<b>Intensidad</b>	<b>Categoría</b>	<b>Periodos secos</b>
<b>-1.0 a -1.49</b>	Moderadamente seco	Asociado a fenómeno del NIÑO, periodos cortos de sequía, afectando ligeramente en la agricultura, con precipitaciones que oscilan entre rangos 1700 mm a 1800 mm.
<b>-1.5 a -1.99</b>	Severamente seco	Asociado a fenómeno del NIÑO, con periodos mayores de 15 días consecutivos de sequía, afectando seriamente la agricultura, con precipitaciones que oscilan entre 1500 mm a 1700 mm.
<b>-2 y menos</b>	Extremadamente seco	No se presentan para la zona de estudio

Cuadro 22. Comportamiento de los eventos húmedos en la zona de estudio

<b>Intensidad</b>	<b>Categoría</b>	<b>Periodos húmedos</b>
<b>1.0 a 1.49</b>	Moderadamente húmedo	Asociados a fenómenos de La Niña, pero sin causar inundaciones o deslizamiento
<b>1.5 a 1.99</b>	Severamente húmedo	Asociado a fenómeno de La Niña, en ocasiones se pueden tener inundaciones y deslizamientos en las zonas de ladera y con poca cobertura vegetal, con rangos de precipitación que oscilan entre 1900 a 2000 mm.
<b>2 y mas</b>	Extremadamente húmedo	Asociado en ocasiones a fenómeno de La Niña, se presentan los eventos más extremos, ocasionando inundaciones y deslizamientos: 1996, 2005, 2010 y 2011 Con precipitaciones de 2100 y más.

## 5. CONCLUSIONES

1. En relación a la distribución de precipitación en la zona, y según los datos promedio de la precipitación a lo largo de la serie 1980 - 2016 se observa un aumento generalizado de la precipitación en las partes altas obteniendo su máximo (2044.1 mm) y gradualmente disminuye hasta las zonas más bajas (1511.3 mm) , comportamiento que se explica por el efecto de la ubicación y las características orográficas, ya que una elevación del terreno trae muy frecuentemente un aumento local de las precipitaciones.
2. En la zona se verifica el comportamiento característico del clima en El Salvador, con respecto a los valores totales promedio de precipitación mensual, presentando los máximos en el mes de septiembre, con una reducción de los valores dentro de la época lluviosa, en los meses de julio y agosto, esto debido a la presencia de períodos con disminución de precipitación durante la estación lluviosa, conocidos como “canículas”.
3. Del balance hídrico se determinó que los valores de recarga obtenidos son elevados, ya que representa entre el 20 y el 22.75 % de la precipitación, por lo que hace suponer que existe presencia de agua subterránea en cantidades abundantes en la zona.
4. Los valores negativos de la recarga acuífera observados en la zona, hacen suponer que los acuíferos asociados a los ríos son los que aportan sus caudales, contrario a lo que sucede en la época lluviosa donde los valores positivos indican que existe una circulación del agua de los ríos hacia los acuíferos.
5. Los datos obtenidos en el análisis de SPI a nivel de zona muestran 5 periodos de sequía, en la cual predominan las intensidades de moderadamente seco, los cuales coincidieron con los años clasificados como El Niño (intensidad fuerte del fenómeno), siendo 2015 el de mayor magnitud de sequía en la región.

## 6. RECOMENDACIONES

1. La zona presenta un gran potencial de recarga hídrica, lo cual se observa en el resultado del balance hídrico, en este sentido es necesario realizar prácticas de conservación del recurso hídrico en las zonas altas y bajas como: Acequias de ladera, siembra de árboles forestales y evitar la quema de rastrojo, esto con el fin de mejorar la infiltración y reducir la pérdida de agua por escorrentía.
2. Aplicar el SPI como herramienta de elemento básico para desarrollar una planificación estratégica, que permita la toma de decisiones requeridas a mediano y largo plazo.
3. Que se realicen investigaciones utilizando el SPI a escala de 1 y 3 meses para observar los periodos cortos que afectan en la agricultura, identificando principalmente los meses en los cuales se presentan esos eventos de sequía, y establecer las intensidades para que se genere una línea base, la cual la puedan utilizar los tomadores de decisiones.
4. Debido que los periodos de sequía son más frecuentes y con mayor intensidad, es necesario que los agricultores realicen siembras de semillas resistentes a la sequía, aplicando manejo de conservación de humedad a los suelos, además es necesario que aplique metodología de cosecha de agua.
5. Para futuras investigaciones aplicando la metodología del SPI, sería conveniente que identifiquen, la frecuencia de los periodos secos y apliquen una metodología que les permita una probabilidad de los periodos de retorno

## 7. BIBLIOGRAFÍA

Antico, P. s.f. Cátedra de Introducción a las Ciencias de la Atmósfera. (en línea). Consultado el 21 de sep. 2017. Disponible en:

[http://fcaglp.fcaglp.unlp.edu.ar/~atmos/Teoria/Apuntes\\_Precipitacion\\_5\\_2013.pdf](http://fcaglp.fcaglp.unlp.edu.ar/~atmos/Teoria/Apuntes_Precipitacion_5_2013.pdf)

Aguirre, R. 1996. Glosario Geohidrológico, Facultad de Ingeniería Universidad Autónoma de San Luis Potosí (en línea). Consultado 01 jun. 2017. Disponible en: [https://books.google.com.sv/books?id=aaM\\_vpBzDdMC&pg=PA64&lpg=PA64&dq=La+es+correntia](https://books.google.com.sv/books?id=aaM_vpBzDdMC&pg=PA64&lpg=PA64&dq=La+es+correntia)

Bateman, A. 2007. Hidrología básica y aplicada. (en línea). Consultado 25 jul. 2016. Disponible en: <https://www.upct.es/~minaees/hidrologia.pdf>

Brenes, A. Saborío, V. 1995. Elementos de climatología; su aplicación didáctica a Costa Rica. Zona de convergencia intertropical. EUNED (Editorial, Universidad Estatal a Distancia); San José Costa Rica. Pág. 63. (en línea). ISBN 997764828X, 9789977648286. Consultado 23 ago. 2016. Disponible en: [https://books.google.com.sv/books?id=GBb7ovml3AC&pg=PA63&dq=zona+de+interconvergencia+intertropical&hl=es419&sa=X&ved=0ahUKEwjPiKDli\\_HOAhVEXh4KHTibDWMQ6AEIIDAB#v=onepage&q=zona%20de%20interconvergencia%20intertropical&f=false](https://books.google.com.sv/books?id=GBb7ovml3AC&pg=PA63&dq=zona+de+interconvergencia+intertropical&hl=es419&sa=X&ved=0ahUKEwjPiKDli_HOAhVEXh4KHTibDWMQ6AEIIDAB#v=onepage&q=zona%20de%20interconvergencia%20intertropical&f=false)

Castillo, C. Jordán, M. 1999. Meteorología y clima. La estratosfera. Universidad de politec; Catalunya.(en línea) (162 págs.). Edición UPS. ISBN 84-8301-355-X. Consultado el 28 de julio de 2016. Disponible en: [https://books.google.com.sv/books?id=YteA9mrl6skC&printsec=frontcover&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.sv/books?id=YteA9mrl6skC&printsec=frontcover&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)

Campos, D. 1998. Procesos del Ciclo Hidrológico. Universidad de San Luis potosí; México. (en línea) (1-5 págs.). Consultado 28 jul. 2017. Disponible en: <https://books.google.com.sv/books?id=tkUYqd0Aac8C&pg=PP5&lpg=PP5&dq=Campos,+DE.+1998.+Procesos+del+Ciclo+Hidrológico>

- Cárdenas, A. 2010. Vulnerabilidad, impacto y tecnología para afrontar en el norte centro de México. (en línea). Consultado el 21 de sep. 2017. Disponible en: [http://www.pronacose.gob.mx/pronacose14/Contenido/Documentos/SEQUIA\\_Vulnerabilidad\\_impacto.pdf](http://www.pronacose.gob.mx/pronacose14/Contenido/Documentos/SEQUIA_Vulnerabilidad_impacto.pdf)
- Cantón, Y. 2013. Recomendaciones Técnicas para la elaboración de mapas de amenazas por sequía meteorológica. (En línea). Consultado el 21 de sep. 2016. Disponible en: [https://www.shareweb.ch/site/Disaster-Resilience/DRR\\_Resources/Documents/5.%20Cartilla%20elaboracion%20de%20mapas%20de%20amenazas%20por%20sequia.pdf](https://www.shareweb.ch/site/Disaster-Resilience/DRR_Resources/Documents/5.%20Cartilla%20elaboracion%20de%20mapas%20de%20amenazas%20por%20sequia.pdf)
- CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza). 2008. Análisis de la sequía y alternativas de adaptación y mitigación en la subcuenca del río Guacerique, Honduras. (en línea). Consultado el 21 de sep. 2016. Disponible en: [http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/4821/Analisis\\_de\\_la\\_sequia.pdf;jsessionid=8FE176FB1E2725A0D9AFFDA3429EFD51?sequence=1](http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/4821/Analisis_de_la_sequia.pdf;jsessionid=8FE176FB1E2725A0D9AFFDA3429EFD51?sequence=1)
- Chávez, J; Flores, J; Paiz, E. 2017. Caracterización de zona potencial de recarga acuífera en el municipio de San Jorge, San Miguel, El Salvador, tesis. Universidad de El Salvador, Facultad Multidisciplinaria Paracentral de Ciencias Agronómicas. (en línea). Consultado 20 jul. 2018. Disponible en: [http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/15044/1/Caracterización de zonas potenciales de recarga acuífera.pdf](http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/15044/1/Caracterización_de_zonas_potenciales_de_recarga_acuífera.pdf)
- Crespo, G. s.f. Comparación de dos Metodologías para el Cálculo del Índice de Severidad de Sequía para Doce Reservas de la Biosfera Mexicana. (en línea). Consultado 28 jul. 2017. Disponible en: <http://www.unesco.org.uy/mab/fileadmin/ciencias%20naturales/mab/crespo-becamab.pdf>
- CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe).2005. Efectos en El Salvador de las lluvias torrenciales, tormenta tropical stan y erupción del volcán Ilamatepec Santa Ana. (en línea). Consultado el 21 de sep. 2017. Disponible en: [2005file:///C:/Users/MAX/Downloads/LCMEXR892e\\_es.pdf](2005file:///C:/Users/MAX/Downloads/LCMEXR892e_es.pdf)

CONICIT (Comisión Nacional de Meteorología e Hidrología). 1998. El fenómeno de El Niño. (en línea). Consultado 28 jul. 2017. Disponible en: <http://repiica.iica.int/DOCS/B1760E/B1760E.PDF>

Colotti, E; Cedeño, M; Montañez, C. 2013. La Sequía Meteorológica y la Variación de la Superficie Agrícola en la Isla de Margarita, Estado Nueva Esparta, Venezuela Período 1972-2004. (en línea). Consultado 28 jul. 2017. Disponible en: <http://www.redalyc.org/pdf/721/72130180002.pdf>

COSUDE (Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación).2005. Sequía Meteorológica. (en línea). Consultado 28 jul. 2017. Disponible en: <http://webserver2.ineter.gob.ni/proyectos/metalarn/sequia.pdf>

Días, M. 2003. Métodos de estimación y ajuste de datos climáticos, segunda edición, ISBN: 980-00-1965-0, PAG.57. (en línea). Consultado 08 ago. 2017 Disponible en: <https://books.google.com.sv/books?id=vFE1xpnaIQsC&pg=PA57&dq=isoyetas&hl>

DIGESTYC (Dirección General de Estadística y Censos). 2007. Censo de Población y Vivienda. (En línea). Consultado el 21 de sep. 2016. Disponible en: <http://www.digestyc.gob.sv/index.php/temas/des/poblacion-y-estadisticas-demograficas/censo-de-poblacion-y-vivienda/poblacion-censos.html>

Edwards. D, 1997. Características de la sequía del siglo xx en estados unidos en escalas de tiempo múltiple. (en línea). Consultado el 12 de sep. 2017. Disponible en: <https://apps.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a325595.pdf>

Ecured, (Enciclopedia colaborativa en la red cubana). s.f. Fenómenos atmosféricos La Niña (en línea). Consultado 21 sep. 2016. Disponible en: [http://www.ecured.cu/index.php/Fen%C3%B3meno\\_atmosf%C3%A9rico\\_La\\_Ni%C3%B1a](http://www.ecured.cu/index.php/Fen%C3%B3meno_atmosf%C3%A9rico_La_Ni%C3%B1a)

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 1995. Optimización de la humedad del suelo para la producción vegetal. (en línea). Consultado 28 jul. 2017. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/008/y4690s/y4690s06.htm>

- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2005. Optimización de la humedad del suelo para la producción vegetal El significado de la porosidad del suelo. (en línea). Consultado 15 ene. 2016. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/008/y4690s/y4690s00.htm#Contents>
- Fernández, W. Ramírez, P. 1991. El Niño, Oscilación del sur y sus Efectos en costa rica una revisión tecnológica. (en línea). Consultado el 21 de sep. 2018. Disponible en: [file:///C:/Users/MAX/Downloads/Dialnet-ElNinoLaOscilacionDelSurYSusEfectosEnCostaRica-5678802%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/MAX/Downloads/Dialnet-ElNinoLaOscilacionDelSurYSusEfectosEnCostaRica-5678802%20(1).pdf)
- Figuroa, A; Carazo, E; Pentzke, C. 2011. Cambio climático y ecosistemas en Centroamérica. (en línea). Consultado el 21 de sep. 2016. Disponible en: [http://www.estadonacion.or.cr/files/biblioteca\\_virtual/educacion/Documento-completo-Cambio-climatico-ecosistemas-CA.pdf](http://www.estadonacion.or.cr/files/biblioteca_virtual/educacion/Documento-completo-Cambio-climatico-ecosistemas-CA.pdf)
- Figuroa, V. Azahar, R. 2011. Análisis de Reducción ÁreaL de Lluvias Intensas en El salvador. (en línea). Consultado el 21 de sep. 2017. Disponible en: [http://ri.ues.edu.sv/13348/1/Análisis%20de%20reducción%20áreal%20de%20lluvias%20in](http://ri.ues.edu.sv/13348/1/Análisis%20de%20reducción%20áreal%20de%20lluvias%20intensas%20en%20El%20Salvador.pdf)
- FUNDE (Fundación Nacional para el Desarrollo). 2015. Valle del Jiboa. (en línea). Consultado 25 ago. 2016. Disponible en: <http://www.repo.funde.org/1064/1/MIJIBOA.pdf>
- Gabañach, F. 2008. La ciencia para todos De razones que explican varios fenómenos naturales de todos conocidos. (en línea). Segunda edición. Imprenta del diario de Barcelona. Pag. 264. Consultado 25 abr. 2016. Disponible en: [https://books.google.com.sv/books?id=VoAFORtsErMC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.sv/books?id=VoAFORtsErMC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)
- García, J; Carmona P; Salom J; Albertos M. 2018. Tecnologías de información Geográfica, perspectivas multidisciplinares en la sociedad del conocimiento; métodos geo estadísticos (pág. 145), (en línea).Ed, Universidad de Valencia, España. ISBN: 978-84-9133-146-9. Consultado 23 de febrero 2017. Disponible en:

<https://books.google.com/sv/books?id=c8thDwAAQBAJ&pg=PA195&dq=polígonos+de+thiessen&hl=es419&sa=X&ved=0ahUKEwiCosuY0HcAhXPfFAKHRAVAyAQ6AEIMTAC#v=onepage&q=polígonos%20de%20thiessen&f=false>

Greenpeace. (Organización global, ambientalista, no gubernamental e independiente política y económicamente). 2010. (en línea). Consultado el 21 de sep. 2016. Disponible en: <http://www.greenpeace.org/mexico/Global/mexico/report/2010/6/vulnerabilidad-mexico.pdf>

González, F. 2012. Hidroclimatología del Departamento de caldas. (en línea). Consultado el 21 de sep. 2016. Disponible en: <http://bdigital.unal.edu.co/46014/1/9789587751024.pdf>

Goyal, M. Builes, V. 2007. Elementos de Agroclimatología, llovizna. (en línea) (pág. 274). Consultado 24 de enero 2017. Disponible en: [http://www.ece.uprm.edu/~m\\_goyal/agroclimatologia.pdf](http://www.ece.uprm.edu/~m_goyal/agroclimatologia.pdf)

Gutiérrez, J. Hernández, M. 2016. Situación actual de los índices en uso para el estudio de la sequía. (en línea). Consultado el 21 de sep. 2016. Disponible en: <http://www.iga.cu/publicaciones/revista/assets/137-indices-en-uso-de-la-sequia.pdf>

Guirola, L. 2009. Régimen de lluvias y caudales en El Salvador, su relación con la variabilidad climática (forzantes oceánicos-atmosféricos) para la construcción de mapas de amenazas por el déficit o excesos de lluvias. Ciudad universitaria Rodrigo Facio, Costa Rica, (en línea). Consultado el 21 de oct. 2017. Disponible en: <http://portafolio.snet.gob.sv/digitalizacion/pdf/spa/doc00254/doc00254seccion%20d%201.pdf>

Herrán, C. 2012. El Cambio Climático y sus Consecuencias para América Latina. (en línea). Consultado el 22 de octubre de 2016. Disponible en: <http://library.fes.de/pdf-files/bueros/la-energiayclima/09164.pdf>

Heuvelop, J; Pardo, J; Quirós, S; Espinoza, L. 1986. Agroclimatología tropical (En línea). EUNED. San José, CR. Consultado 7 may. 2016. Disponible en: <https://books.google.com/books?id=DD05AfVeRs0C>

Hurtado, M. Cadena, C. 2002. Aplicación de índices de sequía en Colombia. Meteorol. (en línea). Consultado el 21 de sep. 2016. Disponible en: [http://ciencias.bogota.unal.edu.co/fileadmin/content/geociencias/revista\\_meteorologia\\_colombiana/numero05/05\\_15.pdf](http://ciencias.bogota.unal.edu.co/fileadmin/content/geociencias/revista_meteorologia_colombiana/numero05/05_15.pdf)

IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura).1984. Elementos de Agroclimatología. (en línea) pág. 85. Consultado 10 agosto. 2018. Disponible en: [https://books.google.com.sv/books?id=EOEqAAAAYAAJ&printsec=frontcover&dq=elementos+de+agroclimatologia&hl=es419&sa=X&ved=0ahUKEwj47iPrr\\_eAhXRxlkKHTUWDFAQ6wEIJzAA#v=onepage&q=elementos%20de%20agroclimatologia&f=false](https://books.google.com.sv/books?id=EOEqAAAAYAAJ&printsec=frontcover&dq=elementos+de+agroclimatologia&hl=es419&sa=X&ved=0ahUKEwj47iPrr_eAhXRxlkKHTUWDFAQ6wEIJzAA#v=onepage&q=elementos%20de%20agroclimatologia&f=false)

IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura). 1985. Compendio De Agronomía Tropical, Evapotranspiración real o uso consuntivo. Tomo 1. (en línea) pág. 489. ISBN: 92.9039.078.6. Consultado 23 ene. 2017. Disponible en: [https://books.google.com.sv/books?id=LBwPAQAAIAAJ&pg=PA489&dq=evapotranspiracion+real&hl=es419&sa=X&ved=0ahUKEwiq5fC\\_7rHSAhUJYiYKHY8ZCTcQ6AEIGDAA#v=onepage&q=evapotranspiracion%20real&f=false](https://books.google.com.sv/books?id=LBwPAQAAIAAJ&pg=PA489&dq=evapotranspiracion+real&hl=es419&sa=X&ved=0ahUKEwiq5fC_7rHSAhUJYiYKHY8ZCTcQ6AEIGDAA#v=onepage&q=evapotranspiracion%20real&f=false)

INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria). 2015. Qué es El Fenómeno El Niño. (en línea). Consultado el 21 de sep. 2017. Disponible en: [http://climayagua.inta.gob.ar/que\\_es\\_el\\_fenomeno\\_el\\_niño](http://climayagua.inta.gob.ar/que_es_el_fenomeno_el_niño)

Ledesma, M. 2000. Climatología y Meteorología Agrícola. Thomson Editores. Navalcarnero. Madrid, ES. 451 p.

López, N; Carvajal, Y; Cerón, L. 2016. Análisis de sequías meteorológicas para la cuenca del río Dagua, Valle del Cauca, Colombia. (en línea). Consultado el 21 de sep. 2017. Disponible en: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0123-921X2016000200008](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-921X2016000200008)

Marinero, E. 2016. Caracterización Hidrogeoquímica del Agua Subterránea de la Subcuenta del Río Acahuapa, Departamento de San Vicente, El Salvador. Tesis de Maestría. Universidad de el Salvador, Facultad de Ciencias Agronómicas. (en línea). Consultado el 21 de sep. 2017. Disponible en: <http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/10269/1/13101611.pdf>

- Machuca, J, 2010. Propuesta de un sistema de alerta temprana para inundaciones en la cuenca del río acahuapa de El Salvador. Tesis. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería 19 – 21 pag.
- Márquez, A. 2014. Propuesta de actualización de curvas intensidad - duración - frecuencia en la zona oriental de El Salvador. Vapor de agua; tesis UES. (en línea). Consultado el 24 de septiembre de 2016. Disponible en: <http://ri.ues.edu.sv/7547/1/50108102.pdf>
- Martínez, J. Fernández, A. 2004. Cambio climático una visión desde México. (en línea). Consultado el 21 de sep. 2016. Disponible en: <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/download/437.pdf>
- Martínez, F. s.f. Manual del Observador de Meteorología, publicado por el Ministerio de Trasponte, Turismo y Comunicaciones, 2ª edición, INM 1968. (en línea). Consultado el 25 de Abril de 2016. Disponible en: <http://www.rumtor.com/hidrotexto.html>
- Magaña, V. s.f. El fenómeno de El Niño y la oscilación del sur (ENOS) y sus impactos en México. (en línea). Consultado 22 ago. 2016. Disponible en: [http://www.atmosfera.unam.mx/cclimat/DISCUSSION\\_ART/nino.pdf](http://www.atmosfera.unam.mx/cclimat/DISCUSSION_ART/nino.pdf)
- Matus, O; Faustino, J; Jiménez, F. 2009. Guía para la identificación participativa de zonas con potencial de recarga hídrica: Aplicación práctica en la subcuenca del río Jucuapa, Nicaragua. (en línea). Consultado 27 abr. 2015. Disponible en: [http://biblioteca.catie.ac.cr/cursocuenas/documentos/SerieTecnicaCuenas/Matus\\_et\\_al\\_2009\\_Guia\\_para\\_la\\_identificacion\\_participativa\\_de\\_zonas\\_con\\_potencial\\_de\\_recarga\\_hidrica\\_Aplicacion\\_practica\\_en\\_la\\_subcuenca\\_del\\_rio\\_Jucuapa\\_Nicaragua.pdf](http://biblioteca.catie.ac.cr/cursocuenas/documentos/SerieTecnicaCuenas/Matus_et_al_2009_Guia_para_la_identificacion_participativa_de_zonas_con_potencial_de_recarga_hidrica_Aplicacion_practica_en_la_subcuenca_del_rio_Jucuapa_Nicaragua.pdf)
- Marroquín, H. 2017. Análisis de factibilidad técnica para la implementación de seguros indexados contra las amenazas de sequía e inundación para los cultivos de arroz y maíz en Panamá. (en línea). Consultado el 21 de sep. 2017. Disponible en: [https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/41020/1/S1700165\\_es.pdf](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/41020/1/S1700165_es.pdf)

Martínez, B; Sendra, E; Uceda, A. 2006. Agua y sostenibilidad de las cuencas.(en línea). Consultado el 21 de sep. 2017. Disponible en: <http://www.upv.es/contenidos/CAMUNISO/info/U0637193.pdf>

MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería).1980 evapotranspiración potencial en el salvador. (en línea). Consultado 15 ene. 2016. Disponible en: <http://portafolio.snet.gob.sv/digitalizacion/pdf/spa/doc00178/doc00178-contenido.pdf>

MARN (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales). s.f. Fenómeno del niño. (en línea). Consultado el 21 de sep. 2016. Disponible en: <http://www.marn.gob.sv/phocadownload/Triptico-NINO.pdf>

MARN (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2011. Fenómeno de La Niña en proceso de disipación. (en línea). Consultado 22 ago. 2016. Disponible en: <http://www.snet.gob.sv/ver/comunicacion+social/noticias+y+temas+de+interes/noticias/ano+2011/fenomeno+de+la+nina+en+proceso+de+disipacion/>

MARN (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2017. Elaboración del Plan Nacional de Gestión Integrada del Recurso Hídrico de El Salvador, con énfasis en Zonas Prioritarias Sequía. (en línea). Consultado 15 ene. 2017. Disponible en: <http://www.marn.gob.sv/descarga/plan-nacional-de-gestion-integrada-del-recurso-hidrico-de-el-salvador-con-enfasis-en-zonas-prioritarias/>

MARN (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2015. Elaboración del Plan Nacional de Gestión Integrada del Recurso Hídrico de El Salvador, con énfasis en Zonas Prioritarias. (en línea). Consultado el 21 de sep. 2017. Disponible en: <http://www.marn.gob.sv/download/publicaciones/PNGIRHAX07Riesgo%20por%20fenómenos%20extremos.pdf>

Mook, W. 2002. Isotopos Ambientales en el Ciclo Hidrológico Principios y Aplicaciones. Madrid España. Pag. 589.

McKee, T; Nolan, J; Kleist, J. 1993. La relación de la frecuencia y la duración a las escalas de tiempo. Departamento de la Universidad del Estado de Colorado de ciencia de la

- atmosfera. (en línea). Consultado el 21 de sep. 2017. Disponible en: [http://www.droughtmanagement.info/literature/AMS\\_Relationship\\_Drought\\_Frequency\\_Duration\\_Time\\_Scales\\_1993.pdf](http://www.droughtmanagement.info/literature/AMS_Relationship_Drought_Frequency_Duration_Time_Scales_1993.pdf)
- Noriega, P. 2005. Determinación de las áreas principales de recarga hídrica natural en la microcuenca del río Sibaca, Chinique, Quiche. (en línea). (Tesis). Consultado 02 feb. 2016. Disponible en [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01\\_2211.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01_2211.pdf)
- NOAA (Administración Nacional Oceánica y Atmosférica). s.f. Reanalyses.org Home Page. (en línea). Consultado 15 ene. 2016. Disponible en: <https://reanalyses.org/reanalysesorg-home-page>
- Núñez, L; Núñez, S; Podestá; G. 2005. EL Índice Estandarizado de Precipitación como Herramienta para la Caracterización y el Monitoreo de la Sequía: una Prueba de Concepto. (en línea). Tesis. Consultado 2 feb. 2016. Disponible en: <http://yyy.rsmas.miami.edu/groups/agriculture/pubs/meetings/abstracts/SPI-SMN.pdf>
- Otárola, F. 1994. Planificación y manejo de los recursos hidrológicos en la agricultura mediante el Balance Hídrico. (en línea). Consultado 25 ene. 2017. Disponible en: [https://books.google.com/sv/books?id=ftAOAQAIAAJ&pg=PA2&dq=balance+hidrico&hl=es419&sa=X&ved=0ahUKEwir5ar2\\_bHSAhWI6oMKHXVCC0QQ6AEIPDAH#v=onepage&q=balance%20hidrico&f=false](https://books.google.com/sv/books?id=ftAOAQAIAAJ&pg=PA2&dq=balance+hidrico&hl=es419&sa=X&ved=0ahUKEwir5ar2_bHSAhWI6oMKHXVCC0QQ6AEIPDAH#v=onepage&q=balance%20hidrico&f=false)
- Olivares, B. 2016. Caracterización de la Sequía Meteorológica en la red de Estaciones Agrometeorológicas del Instituto nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA) Venezuela. (en línea). Consultado el 21 de sep. 2017. Disponible en: [http://dspace.unia.es/bitstream/handle/10334/3549/0696\\_Olivares.pdf?sequence=3](http://dspace.unia.es/bitstream/handle/10334/3549/0696_Olivares.pdf?sequence=3)
- Ordoñez, J. 2011. Cartilla técnica del ciclo hidrológico. (en línea). Consultado 27 abr. 2016. Disponible en: [http://www.gwp.org/Global/GWP-SAm\\_Files/Publicaciones/Varios/Ciclo\\_Hidrologico.pdf](http://www.gwp.org/Global/GWP-SAm_Files/Publicaciones/Varios/Ciclo_Hidrologico.pdf)
- Origgi, L. 2003. Recursos naturales; la zona de convergencia intertropical. (en línea). Primera Ed. ISBN: 9977-64-018-1. Editorial EUNED, San José Costa Rica. Consultado 25 ago.

2016. Disponible en:  
<https://books.google.com/sv/books?id=gar7lpEwuZ0C&pg=PA26&dq=zona+de+convergencia+intertropical&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwjdova-9-bOAhXH2B4KHf06CQoQ6AEILDAD#v=onepage&q=zona%20de%20convergencia%20intertropical&f=false>
- Olivares, B; Cortez, A; Parra, R; Lobo, D, Rey; J, Rodríguez, M. 2016. Análisis temporal de la sequía meteorológica en localidades semiáridas de Venezuela UG Ciencia. Magnitud. 22, 11-24, (en línea). Revista de investigación ISSN 1900-0332. Consultada 23 de enero 2018. Disponible en: <http://revistas.ugca.edu.co/index.php/ugciencia/article/view/481/1060>
- OEA (Organización de los Estados Americanos). S.f. Red climatológica. (en línea). Consultado el 21 de sep. 2017. Disponible en:  
<https://www.oas.org/dsd/publications/Unit/oea34s/begin.htm#Contents>
- OMM (Organización Meteorológica Mundial). 2012. Índice normalizado de precipitación Guía del usuario. (en línea). Consultado 25 de enero 2017. Disponible en:  
[http://www.droughtmanagement.info/literature/WMO\\_standardized\\_precipitation\\_index\\_user\\_guide\\_es\\_2012.pdf](http://www.droughtmanagement.info/literature/WMO_standardized_precipitation_index_user_guide_es_2012.pdf)
- Ravelo, C; Planchuelo, M; Aroche, R; Cárdenas, D; Alegría, M. 2006. Monitoreo y Evaluación de las Sequías en América Central. (en línea). Consultado el 21 de sep. 2017. Disponible en:  
[http://euroclimaplus.org/images/Publicaciones/LibrosEUROCLIMA/JRC\\_MonitoreoEvaluacion-Sequias\\_AmericaCentral.pdf](http://euroclimaplus.org/images/Publicaciones/LibrosEUROCLIMA/JRC_MonitoreoEvaluacion-Sequias_AmericaCentral.pdf)
- Sarochar, H. s.f. Introducción a la Meteorología General. (en línea). Consultado el 21 de sep. 2017. Disponible en:  
[http://extension.fcaglp.unlp.edu.ar/content/obs/descargas/Introduccion\\_a\\_la\\_Meteorologia\\_I.pdf](http://extension.fcaglp.unlp.edu.ar/content/obs/descargas/Introduccion_a_la_Meteorologia_I.pdf)
- Sánchez, P. s.f. Territorio y poblamiento en Galicia en la antigüedad y la plena edad media. (en línea). Galicia, ES. 367 p. Consultado el 20 jun. 2018. Disponible en:  
<https://books.google.com/sv/books?id=ZG1SRQ1YLg0C&pg=PA94&dq=poligonos+de+thi>

essen&hl=es419&sa=X&ei=nduFVY2JAcXvAHj5IHQDQ&ved=0CCEQ6AEwAQ#v=onepage&q =poligonos%20de%20thiessen&f=false

Segerer, C. Villodas, R. 2006. Hidrología I: las precipitaciones. Universidad Nacional de Cuyo, Argentina. 26 P (en línea). Consultado 25 abr. 2016. Disponible en: <http://www.conosur-rirh.net/ADVF/documentos/hidro1.pdf>

SNET (Servicio Nacional de Estudios Territoriales). s.f. Estación Meteorológica de San Vicente. Perfil Climatológico de Puente (V-9). (en línea). Consultado 28 jul. 2016. Disponible en: <http://www.snet.gob.sv/meteorologia/Perfiles.pdf>

SNET (Servicio Nacional de Estudios Territoriales). s.f. Perfil Climatológico. (en línea). Consultado el 21 de sep. 2017. Disponible en: <http://studylib.es/doc/7643323/perfil-climatologico-por-departamento>

SNET (Servicio Nacional de Estudios Territoriales). 2005. Balance Hídrico Integrado y Dinámico en El Salvador Componente Evaluación de Recursos Hídricos. (en línea). Consultado 28 jul. 2017. Disponible en: <http://www.snet.gob.sv/Documentos/balanceHidrico.pdf>

Schosinsky, G. 2006. Cálculo de la recarga potencial de acuíferos mediante un balance hídrico de suelos. (en línea). Revista Geológica de América Central. Consultado 23 mar. 2015. Disponible en: <http://revistas.ucr.ac.cr/index.php/geologica/article/download/8579/8102>

Schosinsky, G. Losilla, M. 2000. Modelo analítico para determinar la infiltración con base en lluvia mensual. (en línea). Revista Geológica de América Central. Consultado 20 mar. 2015. Disponible en: <http://revistas.ucr.ac.cr/index.php/geologica/article/download/8579/8102>

UNESCO (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura). 1981. Métodos de cálculo del balance hídrico. (en línea). Consultado 15 oct. 2016. Disponible en: <http://unesdoc.unesco.org/images/0013/001377/137771so.pdf>

UNESCO (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura). 2006. Balance hídrico integrado y dinámico de El Salvador. (en línea). Consultado 28 jul. 2017. Disponible en: <http://unesdoc.unesco.org/images/0022/002281/228142s.pdf>

USGS (El Servicio Geológico de los Estados Unidos). 2017. La Ciencia del Agua para Escuelas. (en línea). Consultado 28 jul. 2017. Disponible en: <https://water.usgs.gov/edu/watercyclespanish.html>

USDA (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos). 1985. Guía para La Evaluación de Suelos y Valoración de Sitios. (en línea). Consultado el 21 de sep. 2017. Disponible en: [https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE\\_DOCUMENTS/16/nrcs143\\_023817.pdf](https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/16/nrcs143_023817.pdf)

Valiente, O. 2001. Sequia definiciones, tipologías y métodos de cuantificación. (en línea). Consultado el 21 de sep. 2016. Disponible en: [file:///C:/Users/MAX/Downloads/sequa--definiciones-tipologa-y-mtodos-de-cuantificacin-0%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/MAX/Downloads/sequa--definiciones-tipologa-y-mtodos-de-cuantificacin-0%20(2).pdf)

Villón, M. 2002. Hidrología. (en línea). Instituto Tecnológico de Costa Rica. (en línea) Consultado 11 feb. 2016. Disponible en: <http://civilgeeks.com/2014/08/31/libro-de-hidrologia-maximo-villon/>

Wilson, J. Buffa, A. 2003. Física: ciclo de convección, brisa marina. Quinta edición. Pearson educación, México 2003. ISBN: 970-26-0425-7. Pág. 74.

Zaragoza, J. 2013. La meteorología: Conceptos básicos al alcance de todos. Empresa: investigación y pensamiento crítico, ISSN-e 2254-3376, Vol. 2, Nº. 5, 2013 (en línea). Consultado 01 may. 2017. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4817885>

# **8. ANEXOS**

Cuadro A-1. Correlaciones lineales entre estaciones pluviométricas de la zona de estudio comprendida entre los municipios de Guadalupe y de San Vicente El Salvador C.A.

	Puente Cuscatlán	Santa Clara	Santa cruz Porrillo	Beneficio Acahuapa	Finca El Carmen
Puente Cuscatlán	1				
Santa Clara	0,97134288	1			
Santa cruz Porrillo	0,99652622	0,974877440	1		
Beneficio Acahuapa	0,99235859	0,991698935	0,991721675	1	
Finca el Carmen	0,99847757	0,957682034	0,992992112	0,98447901	1

Cuadro A-2. Ecuaciones de correlación Altitud – Evapotranspiración de Referencia

MES	ECUACIONDECORRELACION	R <sup>2</sup>
Enero	$y = -7E-06x^2 - 0.017x + 152.95$	R <sup>2</sup> = 0.8791
Febrero	$y = -8E-06x^2 - 0.0164x + 156.04$	R <sup>2</sup> = 0.8707
Marzo	$y = -1E-05x^2 - 0.0171x + 190.42$	R <sup>2</sup> = 0.8206
Abril	$y = -9E-06x^2 - 0.0202x + 194.52$	R <sup>2</sup> = 0.8298
Mayo	$y = -7E-06x^2 - 0.0237x + 186.89$	R <sup>2</sup> = 0.8378
Junio	$y = -7E-06x^2 - 0.0181x + 165.79$	R <sup>2</sup> = 0.8871
Julio	$y = -9E-06x^2 - 0.0127x + 175.28$	R <sup>2</sup> = 0.8311
Agosto	$y = -8E-06x^2 - 0.0122x + 170.12$	R <sup>2</sup> = 0.8481
Septiembre	$y = -8E-06x^2 - 0.0126x + 150.42$	R <sup>2</sup> = 0.8832
Octubre	$y = -1E-05x^2 - 0.0094x + 149.56$	R <sup>2</sup> = 0.8791
Noviembre	$y = -9E-06x^2 - 0.0119x + 142.18$	R <sup>2</sup> = 0.8836
Diciembre	$y = -7E-06x^2 - 0.0168x + 144.91$	R <sup>2</sup> = 0.8928

Fuente: Tomado de (SNET 2005).

Cuadro A-3. Factores relación precipitación - escorrentía zona 10

ZONA	ENE.	FEB.	MAR	ABR	MAY	JUNIO	JULIO	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC.	ANUAL
1	3.91	5.86	1.11	0.41	0.15	0.19	0.23	0.24	0.31	0.49	0.69	2.06	0.30
2	2.20	5.26	0.58	0.17	0.08	0.12	0.15	0.25	0.34	0.37	0.42	1.51	0.27
3	2.20	6.25	0.65	0.18	0.08	0.11	0.15	0.22	0.30	0.46	0.45	1.79	0.26
4	2.92	2.47	0.28	0.09	0.10	0.20	0.22	0.18	0.36	0.50	0.51	1.09	0.29
5	1.86	1.20	0.12	0.05	0.11	0.32	0.23	0.30	0.45	0.57	0.64	0.75	0.35
6	1.11	1.15	0.18	0.06	0.07	0.20	0.30	0.28	0.42	0.63	0.65	1.23	0.31
7	1.52	2.96	0.51	0.12	0.07	0.18	0.18	0.19	0.32	0.35	0.37	1.08	0.25
8	1.33	1.05	0.29	0.10	0.08	0.24	0.28	0.27	0.32	0.42	0.47	0.90	0.28
9	4.30	9.02	1.41	0.40	0.17	0.17	0.20	0.21	0.28	0.42	0.83	2.43	0.31
<b>10</b>	<b>1.52</b>	<b>2.96</b>	<b>0.51</b>	<b>0.12</b>	<b>0.07</b>	<b>0.18</b>	<b>0.18</b>	<b>0.19</b>	<b>0.32</b>	<b>0.35</b>	<b>0.37</b>	<b>1.08</b>	<b>0.25</b>



Cuadro A-5. Ocupación espacial de cultivos presentes en la zona de estudio comprendida entre los municipios de Guadalupe y de San Vicente El Salvador C.A

Cultivos	área/ha
Árboles Frutales	12.34
Bosque Caducifolio	497.20
Bosque de Galeria	53.78
Bosque Siempre Verdes	254.16
Bosques mixtos semicaducifoleos	9907.15
Café	2531.77
Caña de Azucar	4288.25
Cultivos Anuales Asociados con Cultivos	964.09
Granos Basicos	10165.25
Mosaico de Cultivos y Pastos	3502.36
Pastos Naturales	15.25
Plantaciones de Bosques Monoespecifico	78.15
Playas.dunas y arenales	0.81
Ríos	391.76
Roqueda.lavas	52.99
zonas verdes urbanas	932.94
Vegetacion Arbustiva Baja	545.25
Vegetación herbacea natural	258.62
Zonas Comerciales o Industriales	32.36
Zonas Ecotonales	12.35

Cuadro A-6. Clasificación de suelos y capacidad de retención

Clasificación de los suelos	Área/ ha	Capacidad de retención (mm)
Grumosoles	40.36	70
Litosoles (leptsoles)	4497.25	70
Andisoles (andosoles )	8902.29	105
Latosoles arcillo rojizos	18626.13	100
Aluviales	2467.44	100
Valor ponderado		97.34

Cuadro A-7. Balance hídrico para la zona de estudio comprendida entre los municipios de Guadalupe y de San Vicente El Salvador C.A

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Annual
PP. (mm)	1.88	3.01	12.55	47.05	218.07	274.08	253.64	306.61	331.20	256.35	66.70	7.29	1778.42
ETo (mm)	137.66	140.42	172.97	175.87	167.50	149.83	161.22	157.06	137.12	136.81	128.61	129.74	1794.80
Kc	0.80	0.82	0.83	0.83	0.65	0.85	0.87	0.87	0.74	0.87	0.87	0.83	9.82
ETC (mm)	109.81	115.49	144.42	146.74	108.39	126.87	139.93	136.32	100.94	118.52	111.41	107.45	1466.29
pp-etc	- 107.92	- 112.48	- 131.87	-99.69	109.68	147.21	113.71	170.29	230.26	137.83	-44.71	- 100.16	312.14
RAU (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	97.34	97.34	97.34	97.34	97.34	97.34	52.63	0.00	636.67
ET real	1.88	3.01	12.55	47.05	108.39	126.87	139.93	136.32	100.94	118.52	111.41	59.91	966.79
Escorrentía	2.86	8.91	6.40	5.65	15.26	49.33	45.66	58.26	105.98	89.72	24.68	7.87	420.59
Recarga Hídrica	-2.86	-8.91	-6.40	-5.65	94.42	97.88	68.05	112.03	124.27	48.10	- 122.02	-60.50	338.42

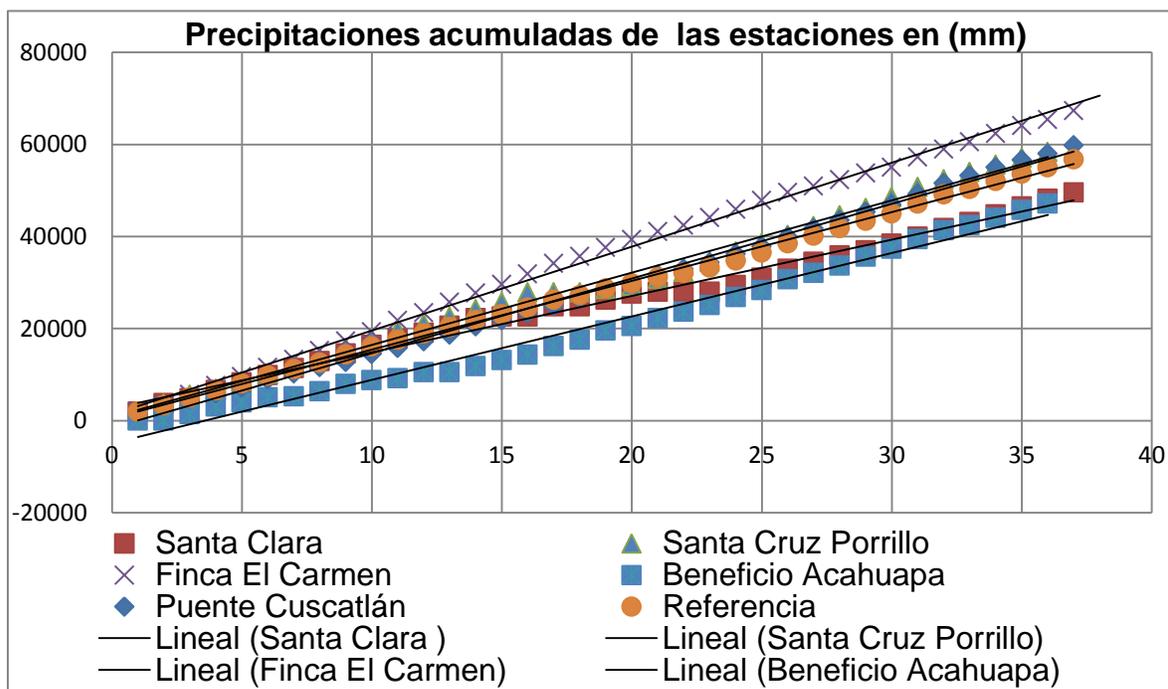


Figura A-1. Análisis de consistencia de datos de las estaciones meteorológicas de la zona de estudio comprendida entre los municipios de Guadalupe y de San Vicente El Salvador C.A

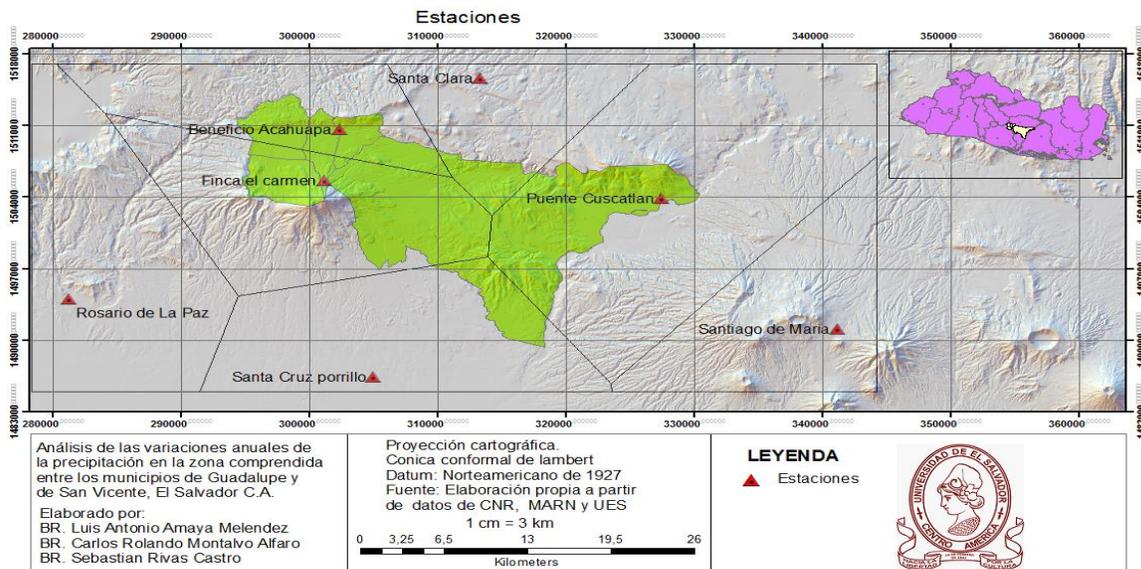


Figura A-2. Estaciones utilizadas con el método de polígonos de Thiessen

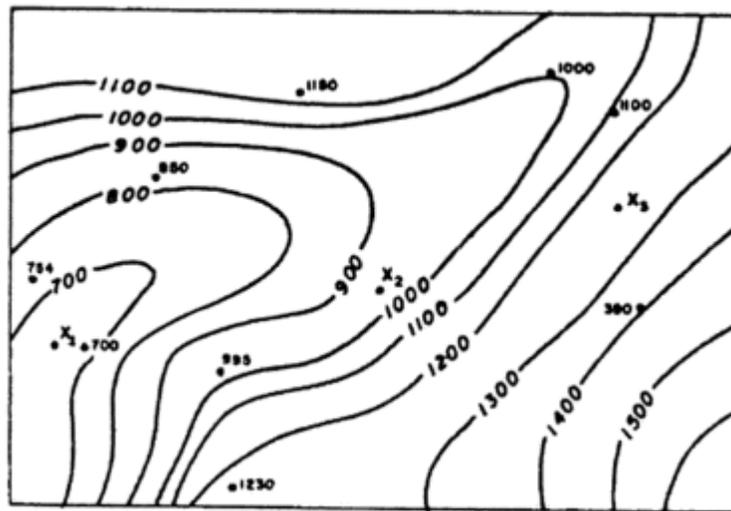


Figura A-3. Método de las Isoyetas

OCUPACIÓN DEL SUELO	ENERO	FEB.	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AG.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.
Agricultura limpia anual	1	1	1	1	1	1	1,05	1,05	1	1	1	1
Arboles Frutales	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Bosque Caducifolio	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Bosque de coníferas denso	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Bosque de coníferas ralo	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Bosque de Galería	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Bosque de Mangle	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Bosque latifoliado	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Bosque mixto	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Bosque Secundario (Arbustal)	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Bosque Siempre Verdes	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Bosques de Coníferas	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Bosques Mixto	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Bosques mixtos semi caducifoleos	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Caña de Azúcar	0,6	0,8	0,9	0,9	1	1	1	1	1,05	1,15	1,15	0,85
Café	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Charral o Matorral	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Coníferas	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Cultivo de Piña	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Cultivos Anuales Asociados con Cultivos	1	1	1	1	0,7	1	1,05	1,05	1	1	1	1
Espacios con Vegetación Escasa	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Estuarios	1,15	1,15	1,15	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
Granos Básicos	1	1	1	1	0,35	1	1,05	1,05	0,6	1	1	1
Hortalizas	1	1	1	1	0,7	1	1,05	1,05	0,95	1	1	1
Humedal con cobertura boscosa	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Lagos, Lagunas y otros (Lenticos)	1,15	1,15	1,15	1,15	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,15
Lagos, lagunas y lagunetas	1,15	1,15	1,15	1,15	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,15
Lagunas costeras y esteros	1,15	1,15	1,15	1,15	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,15
Latifoliadas	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Mares y oceano	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15
Marismas interiores	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15
Mixto	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Morrales en potreros	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Mosaico de Cultivos y Pastos	1	1	1	1	1	1	1,05	1,05	1	1	1	1
Mosaico de Cultivos, Pastos y Vegetación	1	1	1	1	1	1	1,05	1,05	1	1	1	1
Otros Cultivos	1	1	1	1	1	1	1,05	1,05	1	1	1	1
Otros Cultivos Irrigados	1	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1
Otros Humedales	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15
Palmeras Oleíferas	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Pastos Cultivados	1	1	1	1	1	1	1	1	1,1	1,1	1,1	1
Pastos naturales	1	1	1	1	1	1	1	1	1,1	1,1	1,1	1
Perímetro acuícola	1,15	1,15	1,15	1,15	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,15
Plantaciones de Bosques Monoespecífico	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Platanales y Bananeras	0,55	0,55	0,55	0,65	0,7	0,85	0,95	1	1	1	1	0,95
Playas, dunas y arenales	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Praderas Pantanosas	1,15	1,15	1,15	1,15	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,15
Rocas Expuestas (incluye áreas erosionadas)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Roqueda, lavas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ríos	1,15	1,15	1,15	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
Salinas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sistemas Agroforestales	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Tierras sin bosque	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
vacías	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Vegetación acuática sobre cuerpos de agua	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05
Vegetación Arbustiva Baja	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Vegetación arbustiva de playa	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95
Vegetación Esclerofila o espinoso	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Vegetación herbácea natural	1	1	1	1	1	1	1	1	1,1	1,1	1,1	1
Viveros de Plantas Ornamentales y Otras	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Zonas de Extracción Minera	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Zonas Ecotonaes	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Zonas Quemadas	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Zonas Verdes Urbanas	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Figura A-4. Coeficiente de Kc, propuestos por FAO.

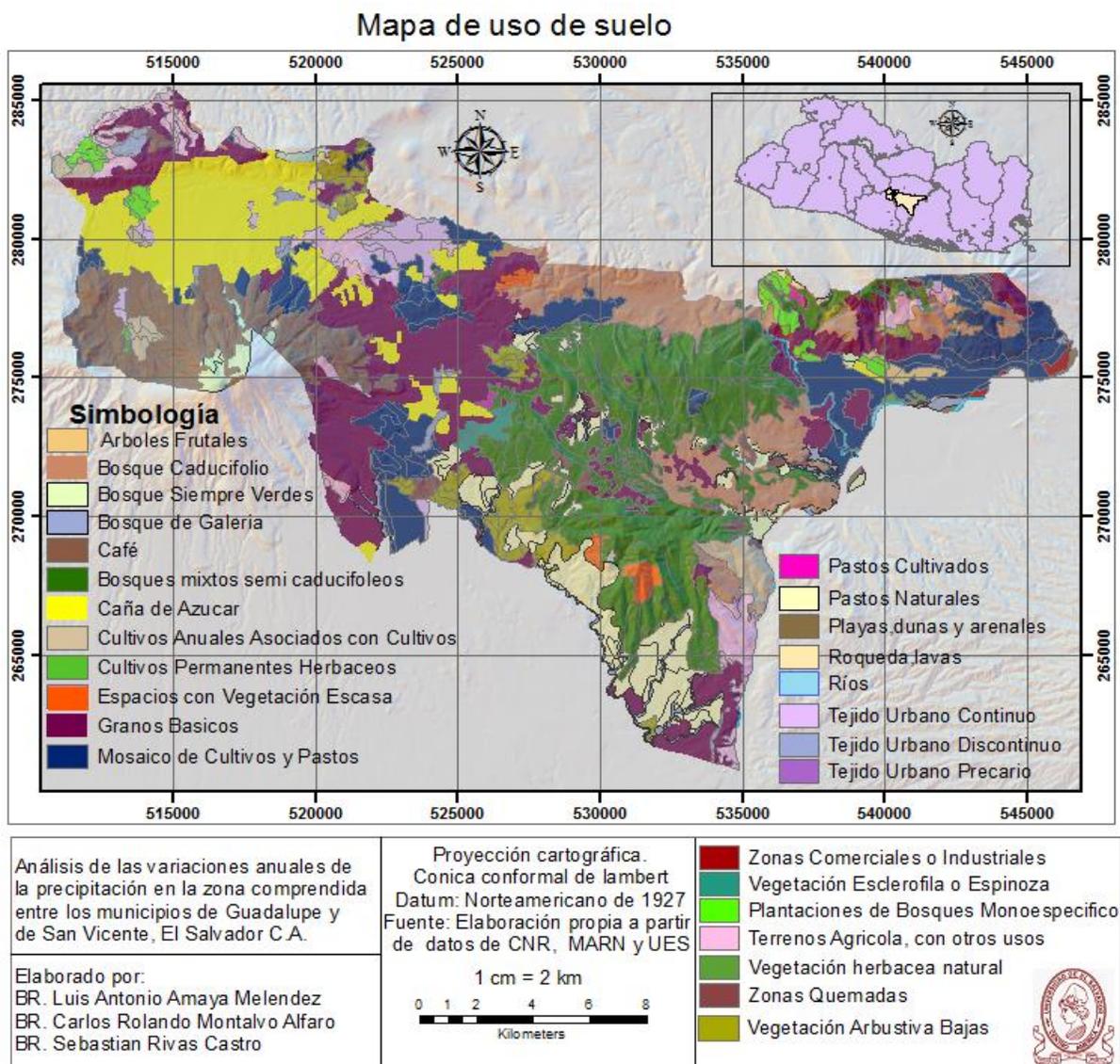


Figura A-5. Mapa de uso de suelos para la zona

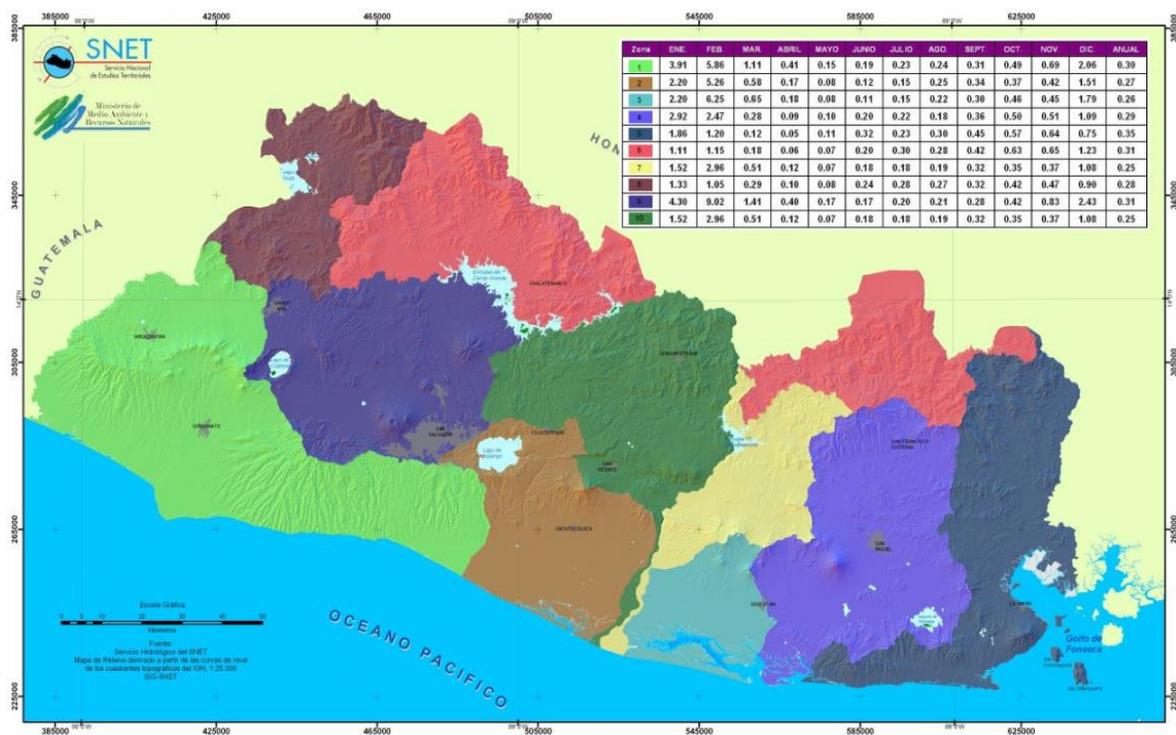


Figura A-6. Mapa de aplicación Precipitación - Escorrentía