

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS  
DEPARTAMENTO DE RECURSOS NATURALES Y MEDIO AMBIENTE



“IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE ZONAS DE RECARGA ACUÍFERA EN  
EL MUNICIPIO DE SAN FERNANDO, CHALATENANGO, EL SALVADOR.”

POR:

LUIS ALONSO ALAS ROMERO

IRVIN DAVID CÁCERES CRUZ

REQUISITO PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

INGENIERO AGRÓNOMO

SAN SALVADOR, SEPTIEMBRE 2010.

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

**RECTOR:**

**ING. AGR. M. Sc. RUFINO ANTONIO QUEZADA SÁNCHEZ**

**SECRETARIO GENERAL:**

**LIC. DOUGLAS VLADIMIR ALFARO CHÁVEZ**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS**

**DECANO:**

**DR. ING. AGR. REYNALDO ADALBERTO LÓPEZ LANDAVERDE**

**SECRETARIO:**

**ING. AGR. M. Sc. LUIS FERNANDO CASTANEDA ROMERO**

**JEFE DEL DEPARTAMENTO DE RECURSOS NATURALES Y MEDIO AMBIENTE**

---

**ING. AGR. CARLOS ALBERTO AGUIRRE CASTRO**

**DOCENTES DIRECTORES:**

---

**ING. AGR. M. Sc. MIGUEL ÁNGEL HERNÁNDEZ MARTÍNEZ**

---

**ING. AGR. M. Sc. LUIS FERNANDO CASTANEDA ROMERO**

**COORDINADOR DE PROCESOS DE GRADUACIÓN**

---

**ING. AGR. M. Sc. ÁNGELA PABÓN FLORES DE LARA**

## RESUMEN

El municipio de San Fernando, departamento de Chalatenango, ubicado a 104 km de la ciudad de San Salvador, con una altitud de 1040 msnm, con un área de 44.03 Km<sup>2</sup>, con la finalidad de estimar la recarga acuífera subterránea potencial, utilizando la metodología del balance hídrico de suelo y las propiedades físicas según Schosinky (Schosinky, 2000); considerando los aspectos biofísicos del suelo como son la pendiente, vegetación e infiltración básica de cada formación geológica encontrada.

La característica principal del municipio es la presencia de acuíferos fisurado, con movimiento del flujo subterráneo a través de los alineamientos de las fallas geológicas. La identificación de las fracturas se realizó por medio de sensores remotos, específicamente imágenes LANDSAT, con una combinación de bandas 3-4-2, junto con la georeferenciación de los manantiales existentes en todo el municipio. Se elaboró una cartografía temática de las áreas de recarga acuífera con escalas más detalladas; se estimó la recarga acuífera de cada una de las zonas identificadas como potenciales, habiéndose caracterizado desde el punto de vista biofísico y socioeconómico, con esto proponer lineamientos orientados a la protección y mejor manejo de las áreas de recarga y para el uso sostenible de los recursos hídricos, aportando al ordenamiento territorial y desarrollo local, fortaleciendo así la toma de decisiones de los actores locales, respecto a zonas de recarga.

Se estimó un caudal de infiltración total de 146.16 metros cúbicos por hora y un total de 86 Manantiales; la formación geológica predominante fue Chalatenango (ch1 y ch2), concluyendo finalmente que es necesario establecer planes de manejo para la protección y sostenibilidad de estas condiciones ambientales, garantizando las presentes y futuras generaciones con el recurso hídrico.

**Palabras clave:** Recarga acuífera, Manantiales, Geología, Hidrogeología, Humedad gravimétrica del suelo, San Fernando, Lineamientos.

## AGRADECIMIENTOS

**A Dios:** todo poderoso por permitir en nuestras vidas avanzar a las metas propuestas y darnos la oportunidad de obtener un triunfo más, y darnos la fuerza.

**A Nuestra Familia:** por ser el apoyo incondicional y moral en toda nuestra carrera y sobre todo por su dedicación y comprensión en todo momento.

**A nuestra alma mater Universidad de El Salvador:** Por permitirnos formarnos como profesionales, y así contribuir al desarrollo de la sociedad salvadoreña.

**A nuestros docentes directores:** Al Ing. Agr. M. Sc. Miguel Ángel Hernández, Ing. Agr. M. Sc. Luis Fernando Castaneda, por tener el agrado de colaborar en la elaboración de esta investigación y contribuir con sus conocimientos.

**A Nuestros Docentes:** que a lo largo de la carrera tuvieron que ver con nuestra formación y por compartir sus conocimientos que nos servirán como futuros profesionales.

**A la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE):** por el apoyo en la investigación.

**Agradecimiento:** Ing. M. Sc. José Duarte Saldaña, Ing. Agr. M. Sc. José Mauricio Tejada, Ing. Agr. M. Sc. Efraín Antonio Rodríguez Urrutia, y al Ing. Agr. Carlos Alberto Aguirre Castro, por ofrecernos su tiempo y conocimientos, también al personal de la alcaldía municipal de San Fernando, por apoyarnos en la logística de la fase de campo, y a aquellos que de una u otra forma contribuyeron a la investigación.

**Luis Alonso Alas Romero**

**Irvin David Cáceres Cruz**

## DEDICATORIA

A **DIOS** todo poderoso por iluminarme el camino de la superación en poder culminar mis estudios de tener el privilegio de estudiar la carrera profesional más linda de la vida.

A mis padres **Alicia Romero** y **Luis Alonso Alas Chávez** por su apoyo incondicional en toda mi vida de muchos sacrificios para alcanzar el anhelo más preciado de convertirme en profesional.

A mis hermanos **Elmer, Juan José (Pepe), Alexis** y mis hermanas **Jacqueline, Bessy** gracias por su apoyo moral, aportes económicos y sobre todo por instruirme en el camino de la superación y ser ejemplo de muy buenos hermanos con mucha solidaridad y practicar la unidad.

A nuestra alma mater la **Universidad de El Salvador** por tener el privilegio de pasar por sus aulas en adquirir las bases necesarias de espíritu de superación y ponerlos en práctica ante la sociedad salvadoreña.

Al personal docente y administrativo de la Unidad de Posgrado, Laboratorio de SIG por la disponibilidad y ayuda desinteresada a nuestras inquietudes en el proceso de nuestra formación, a la secretaria **Helga Escobar** por incentivar me a presentar nuestros resultados.

A la secretaria **Dina de Amaya** del departamento de Recursos Naturales y Medio Ambiente por su grandiosa ayuda en los diferentes trámites administrativos durante el proceso de investigación de tesis y de graduación.

A nuestros asesores por la disponibilidad en realizar los aportes necesarios para la investigación de tesis y tener la paciencia suficiente en la culminación de este trabajo.

A los maestros de la Facultad que me formaron en el campo de la agronomía siendo una ciencia necesaria y primordial para el desarrollo del país en particular a los ingenieros Miguel Ángel Hernández, Efraín Rodríguez Urrutia, Mario Orellana, Luis Fernando Castaneda, José Roberto Duarte (hidrogeólogo), Abel Argueta Platero, Carlos Aguirre, Mauricio Tejada, Sabas Alberto, Reynaldo Landaverde, Jorge Alberto Ulloa, Rigoberto Quintanilla, Carlos Ruano, Gino Castillo Benedetto, Miguel Sermeño, Leopoldo Serrano, Jorge Luis Alas (Paracentral), Ricardo Imendia, José Roldán Melgar, Salomón Rivas, Rubén Solórzano, Alirio Sandoval.

A mi compañero de tesis **Irvin David Cáceres Cruz** por su comprensión, paciencia, por demostrar su espíritu de abnegación y los arduos momentos al trabajo de investigación.

Y sobre todo de manera especial dedico este trabajo de forma sincera a la persona que significa mucho en mi vida y es mi razón de ser por siempre motivarme a seguir adelante, comprensión y sus lindos consejos en los momentos difícil y con mucho cariño gracias por ser linda persona **Ena Consuelo Alfaro Villatoro**.

También dedico este trabajo a mi amiga de infancia y darme su apoyo en todas las adversidades de la vida y sus consejos a motivarme a seguir adelante y buscar solución a todos los problemas, gracias **Dinora Gil** y su esposo **Aníbal Alfaro** y ser ejemplo en su matrimonio, también a su hijo **Edwincito** que significan mucho en mi vida personal y compartir los momentos más felices de mi vida.

A el personal de la alcaldía municipal de San Fernando, nuestros más sinceros agradecimientos a sus pobladores por darnos la confianza depositada en nosotros y poder conocer sus preciosos lugares con mucho potencial hídrico.

A mis compañeros con quienes compartimos momentos muy lindos de la generosa juventud universitaria durante nuestra carrera y conocer nuestras experiencias en especial a Francisco, Nuvia, Deborita, Ricardo, Chirino, Carlos, Daniel, Dalila, Altagracia, Enmanuel en fin a todos. **Dios nos bendiga siempre.**

**Att.**

**Luis Alonso Alas Romero**

## DEDICATORIA

A Dios por darme la vida e iluminar mi camino y fortaleza para seguir adelante con mis metas.

A la Virgen de Guadalupe, por interceder y ser un apoyo de mi vida.

A mi madre Luz María Cruz Valenzuela, que infundió en mí, valores y el sentido de lo correcto y por incondicional apoyo en el trascurso de mi formación profesional.

A mi padre Roberto Antonio Cacéres Benítez que forjó en mi los principios y valores y el sentido de lo correcto.

A mis hermanos Saúl Cacéres Cruz y Betzaida Amisadai Cacéres Cruz por apoyo moral

Le agradezco a mi novia Susana Yamileth Portillo López, por estar animándome en todo momento y apoyando cuando se necesitó.

A los profesores Ing. Agr. M. Sc. Miguel Ángel Hernández, Ing. M. Sc. Luis Fernando Castaneda, Ing. Agr. M. Sc. José Mauricio Tejada y al Ing. Agr. M. Sc. Efraín Antonio Rodríguez Urrutia, que incentivaron en mí el sentido de la investigación y que con su conocimiento aportaron mucho a este trabajo.

Al Ing. José Roberto Duarte por su colaboración en el área de hidrogeología que fue fundamental para la investigación.

A mis compañeros de carrera por sus sugerencias y aportes en el trascurso de nuestra formación profesional, en especial a Carlos Villegas, Francisco Gutiérrez, Daniel Yanes, Enmanuel de Jesús Campos, Alma Amparo, Abel Platero.

A mi compañero de tesis Luis Alonso Alas Romero, por confiar y optar realizar la investigación.

A todos mis amigos que aportaron muchísimo en apoyo y ánimo.

Irvin David Cáceres Cruz

## INDICE GENERAL

<b>Contenido</b>	<b>Página</b>
RESUMEN.....	iv
AGRADECIMIENTOS.....	v
DEDICATORIA .....	vi
DEDICATORIA .....	viii
INDICE GENERAL.....	ix
INDICE DE CUADROS.....	xiii
INDICE FIGURAS.....	xiv
INDICE DE ANEXOS.....	xv
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. OBJETIVOS .....	4
2.1. GENERAL.....	4
2.2. ESPECÍFICOS.....	4
3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	5
3.1. Geología local de San Fernando.....	5
3.1.1. Geología Histórica.....	5
3.1.2. Formaciones geológicas existentes .....	5
3.1.2.1. Formación Chalatenango.....	5
3.1.2.1.1. Miembro Ch1 .....	5
3.1.2.2. Formación Morazán (m2a) .....	6
3.1.2.3. Formación Yojoa (Yo) .....	6
3.1.2.4. Formación Valle de Ángeles (Va).....	6
3.1.2.5. Formación Morazán-Chalatenango (I).....	6
3.2. Hidrogeología .....	6
3.2.1. Unidades hidrogeológicas.....	7
3.3. Modelo conceptual hidrogeológico (sistema de fallas/acuífero) .....	7
3.3.1. Fallas Geológicas.....	7
3.3.2. Tipos de fallas geológicas.....	7
3.3.2.1. Falla inversa.....	7

3.3.2.2. Falla normal .....	7
3.3.2.3. Falla de desgarre .....	8
3.3.3. Acuífero fisurado .....	8
3.3.4. Los manantiales .....	8
3.4. Balance Hídrico.....	8
3.4.1. Precipitación efectiva .....	9
3.4.2. Evapotranspiración (ETP).....	9
3.4.3. Contenido de Humedad del Suelo.....	9
3.4.3.1. Capacidad de campo.....	9
3.4.3.2. Punto de marchitez.....	10
3.4.4. Propiedades físicas del suelo.....	10
3.4.4.1. Infiltración del agua.....	10
3.4.4.2. Densidad Aparente .....	10
3.4.5. Conductividad Hidráulica.....	11
3.5. Elementos del Balance Hídrico de suelo .....	11
3.5.1. Recarga acuífera subterránea.....	12
3.6. Los Sensores Remotos en la estimación de Recarga Acuífera .....	12
3.7. Imagen LANDSAT .....	13
3.8. Imagen Ikonos.....	13
3.9. Zonas de protección para manantiales (ZOP) .....	13
4. MATERIALES Y MÉTODOS .....	15
4.1. Caracterización general de la zona de estudio.....	15
4.2. Recopilación de la información.....	16
4.3. Información cartográfica utilizada .....	17
4.3.1. Mapa geológico .....	17
4.3.2. Mapas topográficos.....	17
4.3.3. Mapa de red hídrica .....	18
4.3.4. Mapa de uso de suelo .....	18
4.3.5. Mapa de fallas geológicas.....	18
4.3.6. Mapa hidrogeológico.....	18
4.3.7. Trabajo de campo .....	18
4.3.7.1. Inventario de manantiales.....	19

4.3.7.2. Infiltración básica en cada formación geológica .....	20
4.3.7.3. Densidad del suelo en cada formación geológica .....	20
4.3.7.4. Humedad gravimétrica (cc y pmp) .....	22
4.3.8. Conductividad hidráulica .....	22
4.3.10. Zonas de recarga .....	24
4.3.10.1. Determinación de parámetros.....	24
4.3.10.1.1. K <sub>fc</sub> (coeficiente de infiltración por textura) .....	24
4.3.10.1.2. K <sub>p</sub> (coeficiente de pendiente).....	24
4.3.10.1.3. K <sub>v</sub> (coeficiente del uso de suelo) .....	24
4.4. Zona de protección mínima para manantiales .....	25
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	26
5.1. Zonas de recarga acuífera .....	26
5.2. Determinación de parámetros .....	27
5.2.1.1. K <sub>fc</sub> (coeficiente de infiltración por textura) .....	27
5.2.2. Mapa de uso de suelo, K <sub>v</sub> (coeficiente del uso de suelo).....	28
5.2.2.1. K <sub>p</sub> (coeficiente de pendiente) .....	29
5.2.3. Alineamiento o fallas geológicas.....	29
5.3. Mapa hidrogeológico.....	30
5.4. Infiltración básica en las formaciones geológicas. ....	30
4.5. Humedad del suelo.....	31
5.6. Densidad aparente .....	32
5.7. Conductividad hidráulica.....	33
5.8. Determinación del balance hídrico.....	34
5.9. Balance hídrico de suelo (tablas).....	34
5.10. Recarga Potencial. ....	36
5.11. Comparación de recarga con el método Recarga Acuífera Subterránea.....	39
5.12. Zona de protección mínima .....	40
5.13. Potencial Hídrico.....	42
5.14. Propuesta de lineamientos para el manejo de zonas de zonas de recarga acuífera. ....	43
6. CONCLUSIONES.....	49
7. RECOMENDACIONES .....	51
8. BIBLIOGRAFÍA.....	52

9. ANEXOS..... 55

## INDICE DE CUADROS

<b>Cuadro</b>	<b>Página</b>
Cuadro. 1. Zonas de recarga acuífera de San Fernando .....	26
Cuadro. 2. Formaciones y miembros geológicos con datos infiltración básica de suelo del municipio de San Fernando, Chalatenango, 2009. ....	27
Cuadro. 3. Uso de suelo con su coeficiente de vegetación ( Kv) del municipio de San Fernando, Chalatenango, 2009. ....	28
Cuadro. 4. Rangos de pendiente (%) y el coeficiente Kp del municipio de San Fernando, Chalatenango, 2009.....	29
Cuadro. 5. Infiltración básica en mm/día, en las formaciones geológicas del municipio de San Fernando.....	30
Cuadro. 6. Formaciones y miembros geológicos con datos de humedad del suelo en mm/día del municipio de San Fernando, Chalatenango, 2009.....	31
Cuadro. 7. Formaciones y miembros geológicos con datos sobre densidad aparente del suelo del municipio de San Fernando, Chalatenango, 2009. ....	32
Cuadro. 8. Calculo de la Conductividad Hidráulica. ....	33
Cuadro. 9. Datos de precipitación y evapotranspiración de la estación G13, en 10 años, correspondiente a el municipio de San Ignacio cantón Las Pilas, Chalatenango, 2009. ....	34
Cuadro. 10. Resumen del Balance Hídrico de suelo del municipio de San Fernando, Chalatenango utilizando tablas según Gunther Schosinsky.2009. ....	35
Cuadro. 11. Zonas de recarga potencial del municipio de San Fernando, Chalatenango, 2009. ....	38
Cuadro. 12. Comparación de metodologías: Balance hídrico de suelo con recarga acuífera subterránea (RAS).....	39
Cuadro. 13. Área mínima a proteger de inmediato para mantener el recurso hídrico actual en el municipio de San Fernando.....	41
Cuadro. 14. Aspectos biofísicos y socioeconómicos de las zonas de recarga acuífera, en el municipio de San Fernando, Chalatenango (A-41). ....	45

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura</b>	<b>Página</b>
Figura. 1 (A, B y C): Tipo de fallas geológica .....	8
Figura. 2. Área de protección para manantiales.....	14
Figura. 3. Pasos para determinar recarga acuífera .....	15
Figura. 4 Ubicación geográfica del municipio de San Fernando.....	16
Figura. 5. Monitoreo de manantiales y caracterización de la zona de recarga .....	18
Figura. 6. Monitoreo de los manantiales del municipio de San Fernando.....	19
Figura. 7. Toma de datos con el método de Porchet, para la infiltración básica en las distintas formaciones geológicas, San Fernando, Chalatenango. ....	19
Figura. 8. Muestreo en las diferentes formaciones geológicas y análisis respectivo en el laboratorio de Suelo.....	21
Figura. 9. De izquierda a derecha: muestras de suelo saturado, colocación de suelo en los hules, poner el plato de cerámica en las ollas de presión, después de 24 horas las muestras, colocar las muestras en una estufa por 24 horas a 105°C, luego a un desecador y pesado .	22
Figura. 10. Instalación del Permeámetro de Guelph .....	23
Figura. 11. Distribución de las zonas de recarga acuífera en San Fernando .....	26
Figura.12. Infiltración básica y Coeficientes de Infiltración por textura, para las formaciones y miembros geológicos, del municipio de San Fernando, Chalatenango, 2010. ....	27
Figura. 13. Uso actual del suelo en el municipio de San Fernando .....	28
Figura. 14. Mapa de fallas geológicas del municipio de San Fernando.....	29
Figura. 15. Mapa Hidrogeológico del municipio de San Fernando .....	30
Figura. 16. Comportamiento de la infiltración básica en las Formaciones Geológicas del municipio de San Fernando, departamento de Chalatenango, 2010.....	31
Figura. 17. Comportamiento de la humedad del suelo en las formaciones geológicas del municipio de San Fernando, departamento de Chalatenango, 2010.....	32
Figura.18. Comportamiento de la Densidad Aparente del suelo en las Formaciones geológicas del municipio de San Fernando, departamento de Chalatenango, 2010. ....	33
Figura. 19. Recarga acuífera potencial en mm/año del municipio de San Fernando, 2009. ..	37
Figura. 20. Comparación de metodologías en recarga acuífera para el municipio de San Fernando. ....	38
Figura. 21. Protección de manantiales.....	38
Figura. 22. Comparar la zona a proteger para mantener el recurso hídrico actual del municipio de San Fernando. ....	40
Figura. 23. Recarga potencial hidrogeológico de los manantiales del municipio de San Fernando, Chalatenango.2009 .....	40

## INDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Mapa geológico del municipio de San Fernando, Chalatenango, 2009 .....	56
Anexo 2: Mapa de cuadrantes topográfico del municipio de San Fernando, Chalatenango, 2009. ....	57
Anexo 3: Mapa red hídrica del municipio de San Fernando, Chalatenango, 2009 .....	58
Anexo 4: Mapa de manantiales del municipio de San Fernando, Chalatenango, 2009 .....	59
Anexo 5: Monitoreo del Recurso Hídrico (manantiales) del municipio de San Fernando, Chalatenango .....	60
Anexo 6: Boleta para registrar información de campo sobre el inventario de los manantiales del municipio de San Fernando, Chalatenango. 2009.....	63
Anexo 7: Prueba de infiltración en la formación Morazán (m2a). ....	66
Anexo 8: Prueba de infiltración en la formación Chalatenango (Ch1) .....	68
Anexo 9: Prueba de infiltración en la formación Chalatenango (Ch2) .....	70
Anexo 10: Prueba de infiltración en la formación Yojoa (Yo).....	72
Anexo 11: Prueba de infiltración en la formación Morazán-Chalatenango (I) .....	74
Anexo 12: Prueba de infiltración en la formación Valle de los Ángeles (Va).....	76
Anexo 13: Determinación de la Densidad aparente .....	78
Anexo 14: Capacidad de Campo y Punto Marchites Permanente .....	83
Anexo 15: Pruebas de Humedad gravimétrica en cada formación geológica. ....	87
Anexo 16: Método del Permeámetro de Guelph .....	89
Anexo 17: Hoja de cálculo del Balance Hídrico, El Cálculo de la Evapotranspiración para en el municipio de San Fernando, por el método de Hargreaves EL SALVADOR. ....	95
Anexo 18: Mapa de pendiente de San Fernando .....	97
Anexo 19. Tablas de formaciones geológicas con datos del balance hídrico de suelos, de la zona de recarga “Jocotán” del municipio de San Fernando, Chalatenango, 2009.....	98
Anexo 20. Tablas de formaciones geológicas con datos del balance hídrico de suelos, de la zona de recarga “Jocotán” del municipio de San Fernando, Chalatenango, 2009.....	99
Anexo 21. Tablas de formaciones geológicas con datos del balance hídrico de suelos, de la zona de recarga “Jocotán” del municipio de San Fernando, Chalatenango, 2009.....	100
Anexo 22. Tablas de formaciones geológicas con datos del balance hídrico de suelos, de la zona de recarga “Los Llanitos” del municipio de San Fernando, Chalatenango, 2009. ....	101
Anexo 23. Tablas de formaciones geológicas con datos del balance hídrico de suelos, de la zona de recarga “Los Llanitos” del municipio de San Fernando, Chalatenango, 2009. ....	102
Anexo 24 Tablas de formaciones geológicas con datos del balance hídrico de suelos, de la zona de recarga “Valla de Jesús” del municipio de San Fernando, Chalatenango, 2009. ...	103
Anexo 25. Tablas de formaciones geológicas con datos del balance hídrico de suelos, de la zona de recarga “Valla de Jesús” del municipio de San Fernando, Chalatenango, 2009. ...	104
Anexo 26. Tablas de formaciones geológicas con datos del balance hídrico de suelos, de la zona de recarga “Sumpul” del municipio de San Fernando, Chalatenango, 2009 .....	105
Anexo 27. Tablas de formaciones geológicas con datos del balance hídrico de suelos, de la zona de recarga “Sumpul” del municipio de San Fernando, Chalatenango, 2009 .....	106
Anexo 28. Tablas de formaciones geológicas con datos del balance hídrico de suelos, de la zona de recarga “Sumpul” del municipio de San Fernando, Chalatenango, 2009 .....	107

Anexo 29. Tablas de formaciones geológicas con datos del balance hídrico de suelos, de la zona de recarga “Sumpul” del municipio de San Fernando, Chalatenango, 2009 .....	108
Anexo 30. Tablas de formaciones geológicas con datos del balance hídrico de suelos, de la zona de recarga “Sumpul” del municipio de San Fernando, Chalatenango, 2009. ....	109
Anexo 31. Tablas de formaciones geológicas con datos del balance hídrico de suelos, de la zona de recarga “El Cerro” del municipio de San Fernando, Chalatenango, 2009. ....	110
Anexo 32. Tablas de formaciones geológicas con datos del balance hídrico de suelos, de la zona de recarga “El Cerro” del municipio de San Fernando, Chalatenango, 2009. ....	111
Anexo 33. Tablas de formaciones geológicas con datos del balance hídrico de suelos, de la zona de recarga “Los Mataras” del municipio de San Fernando, Chalatenango, 2009.....	112
Anexo 34. Tablas de formaciones geológicas con datos del balance hídrico de suelos, de la zona de recarga “Los Mataras” del municipio de San Fernando, Chalatenango, 2009.....	113
.Anexo 35. Tablas de formaciones geológicas con datos del balance hídrico de suelos, de la zona de recarga “El Cerro” del municipio de San Fernando, Chalatenango, 2009 .....	114
Anexo 36. Tablas de formaciones geológicas con datos del balance hídrico de suelos, de la zona de recarga “San Juan de la Cruz” del municipio de San Fernando, Chalatenango, 2009. ....	115
Anexo 37. Tablas de formaciones geológicas con datos del balance hídrico de suelos, de la zona de recarga “San Juan de la Cruz” del municipio de San Fernando, Chalatenango, 2009 .....	116
Anexo 38. Tablas de formaciones geológicas con datos del balance hídrico de suelos, de la zona de recarga “San Juan de la Cruz” del municipio de San Fernando, Chalatenango, 2009. ....	117
Anexo 39. Tablas de formaciones geológicas con datos del balance hídrico de suelos, de la zona de recarga “El Jocote” del municipio de San Fernando, Chalatenango, 2009 .....	118
Anexo 40. Tablas de formaciones geológicas con datos del balance hídrico de suelos, de la zona de recarga “El Jocote” del municipio de San Fernando, Chalatenango, 2009. ....	119

## 1. INTRODUCCIÓN

La falta de información sobre las principales zonas de recarga acuífera y por parte de los actores locales en la Región del Trifinio, en El Salvador. A ello se le suma el auge de esta zona como destino turístico, la producción de granos básicos en suelos con fuertes pendientes, tierras con gran potencial para la producción de frutas tropicales que atraen la inversión privada, en proyectos recreativos que implican en alguna medida el cambio de uso del suelo, provocando muchas veces el aumento de la escorrentía, que influye en la disminución de la cantidad de agua infiltrada a los mantos acuíferos, una de las causas de esta degradación, es que no existe la información técnica-científica sobre la ubicación de las principales zonas de recarga acuífera, que permitan a los gobiernos locales tomar acciones para un manejo de estas áreas.

La ONU (2002), declaró que “El derecho humano al agua otorga derecho a todos a contar con agua suficiente, a precio asequible, físicamente accesible, segura y de calidad aceptable para usos personales y domésticos”.

Según Junker (2007), el agua representa el compuesto más abundante sobre el planeta y el elemento más indispensable dentro de los organismos terrestres vegetales y animales; el 70% del cuerpo humano está constituido por agua, el 70% de la superficie terrestre es agua. El porcentaje del agua total se distribuyen en: Océanos 97.20% Casquetes polares y glaciares 2.15%, Aguas subterráneas 0.60%, Aguas superficiales (ríos, lagos) 0.04%, Atmósfera 0.001% Seres vivos el resto.

La Asamblea de las Naciones Unidas (2009), en el día mundial del agua, hizo énfasis en el tema de los recursos hídricos transfronterizos, bajo el lema “Compartiendo el agua, compartiendo oportunidades”, destacando la importancia del vital líquido, coincidiendo con las metas propuestas por la Comisión Trinacional del Plan Trifinio (SICA, 2009), en el sentido de proteger y dar un mejor manejo a la Zona Norte de Chalatenango, considerada región estratégica por ser uno de los sistemas hídricos más importantes de América Central, resaltando la producción de agua y la diversidad biológica de los ecosistemas. A pesar de la importancia que tiene este vital líquido, existe un deterioro generalizado de las zonas de recarga acuífera por diversas causas: el limitado conocimiento de las zonas de recarga, así como también por la intervención del hombre en el desarrollo de actividades agrícolas, industriales, extracción de leña, construcción de viviendas y actividades pecuarias que están incidiendo negativamente en calidad y cantidad de agua de las fuentes superficiales y

subterráneas; considerándose de gran importancia para los ecosistemas y la subsistencia de la población humana.

En el año 2005, el Proyecto FORGAES “Fortalecimiento de La Gestión Ambiental en El Salvador”, realizó una investigación aplicando la metodología Recarga Acuifera Subterránea (RAS), la cual permitió elaborar el mapa de Recarga Acuifera a una escala nacional. Fueron utilizados en esta actividad, mapas digitales con escalas entre 1:50,000 y 1:300,000. Esto dio como resultado principal el mapa de la recarga acuifera subterránea de El Salvador, permitiendo identificar el potencial de recarga que tienen las unidades territoriales a nivel nacional.

Según Mata (2004), para identificar el Mapa Hidrogeológico, escala 1:100,000, de la Región Hidrográfica E (Comalapa-Mandinga) ubicada al sur del país y que cubre parte de los departamentos de Sonsonate, La Libertad, San Salvador y La Paz. La cual tiene una característica principal que es la ausencia de acuíferos regionales, por lo que, el movimiento del flujo subterráneo se da a través de los alineamientos de las fracturas o fallas geológicas. El estudio incluye el uso de técnicas de sensores remotos, identificando combinación de bandas en imágenes Landsat, con el objetivo de establecer la correlación de los afloramientos de agua con los alineamientos de las fracturas presentes en la zona.

En el año 2008, la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador, identificó las zonas potenciales de recarga acuifera subterránea en el municipio de La Palma, Chalatenango, mediante la correlación de alineamiento de fallas geológicas y manantiales para determinar unidades de recarga acuifera utilizando la metodología del Balance Hídrico Específico según Schosinsky (Argueta, 2008)

Los mantos acuíferos son una opción para la explotación del recurso natural, de los cuales poco son estudiadas; la desatención en el tema ha generado un desconocimiento en cuanto a la existencia, forma de movimiento del agua y modo adecuado de utilización de este recurso, que presenta el terreno donde se encuentran los acuíferos.

En investigaciones anteriores recomienda hacer estudios con datos de campo como son: parámetros de uso de suelo ( $K_v$ ), pendiente ( $K_p$ ), infiltración ( $K_{fc}$ ) y pruebas físicas del suelo (Capacidad de campo, punto marchites permanente y densidad de suelo), por lo tanto en la investigación se tomaron en consideración, dichas recomendaciones, de especialistas en este tipo de estudios.

La investigación está enfocada en el aprovechamiento sostenible del recurso hídrico basado en los principios de sostenibilidad de los manantiales y sus principales áreas de recarga, con lo cual se pretende generar información técnica que sirva de insumo para el ordenamiento territorial de la zona, para poder generar ordenanzas municipal, dirigidas a la protección de las zonas de recargas y como herramienta para futuros estudios hidrogeológicos del municipio de San Fernando.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. GENERAL**

Identificar y caracterizar las principales zonas con potencial de recarga acuífera, sus aspectos biofísicos y socioeconómicos para proponer lineamientos generales para el manejo de estas áreas en el municipio de San Fernando departamento de Chalatenango.

### **2.2. ESPECÍFICOS**

1. Identificar las principales zonas de recarga acuífera en el municipio de San Fernando mediante la metodología de Balance Hídrico Específico.
2. Caracterizar los aspectos biofísicos y socioeconómicos que tipifiquen a las diferentes zonas de recarga acuífera potenciales en el municipio de San Fernando.
3. Elaborar una propuesta de lineamientos generales para un mejor uso y manejo de las zonas de recarga acuífera del municipio de San Fernando.

### 3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1. Geología local de San Fernando

Los estudios geológicos señalan que el origen de la zona de San Fernando responde a procesos desarrollados bajo diferentes condiciones climáticas en los distintos momentos de su evolución, contando con formaciones: Chalatenango (Ch2 (efusivas acidas, riolitas)), Ch1 (piroclastitas acidas, epiclastitas volcánicas con tobas ardientes y fundidas; efusivas ácidas intercaladas)), Valle de ángeles (Va (capa roja y conglomerado de cuarzo, calizas, areniscas, siltitas)), Morazán-Chalatenango(I(rocas intrusivas ácidas, hasta intermedias)) Grupo Yojoa (Yo(caliza y caliza margosa con un intercalación de capas rojas)) y Morazán(m2a efusivas intermedias hasta intermedias acidas, piroclastitas) (MARN, 2002).

##### 3.1.1. Geología Histórica

El estudio comprende la geología histórica, esencialmente en marco temporal absoluto y edad cronología a escala planetaria, perteneciendo San Fernando a la era Cenozoica período neógeno de la época mioceno que comprende desde 23,03 millones de años; era Mesozoica período cretáceo o cretácico-terciaria hace 145,5 millones de años y cretácico inferior-superior (Ven Te Chow, 1994).

##### 3.1.2. Formaciones geológicas existentes

###### 3.1.2.1. Formación Chalatenango

Durr (1960: 9-13) citado por Argueta Platero (2008), describe como una formación constituida por rocas volcánicas, de tipo riolítico-dacítico, ignimbritas y epiclastitas principalmente. Se le atribuye una edad del mioceno. Posee dos miembros geológicos:

###### 3.1.2.1.1. Miembro Ch1

Introducido por Wiesemann (1975:562) definido como rocas piroclásticas ácidas epiclastitas volcánicas, ignimbritas y rocas efusivas intercaladas localmente silicificadas. En el sector noroeste de El Salvador en la Sierra del Norte, Sürton & Gealey (1949: 1741) mencionan una sección de casi 1000 m (300 pies) al noroeste de San Ignacio (Esemiles o Sisimiles), en el cual están incluidos flujos de lavas intermedias básicas, tobas y tobas brechosas similares y probablemente de la misma serie que la sección entre La Palma y Tejutla al sur de San Ignacio, presumen que estas secciones se continúan al este.

###### 3.1.2.1.2. Miembro Ch2

Introducido por Wiesemann (1975:562) está constituida por rocas efusivas ácidas de tipo riolítico, eventualmente en transición al miembro c2 de la formación Cuscatlán, y por

piroclastitas subordinadas, aflora principalmente en el sector norte, al este y oeste de El Salvador.

### **3.1.2.2. Formación Morazán (m2a)**

Introducido por Wiesemann (1975:562) lo describe como una composición de rocas volcánicas: lavas de intermedias a ácidas, ignimbritas y piroclastitas que presentan metamorfismo de contacto o alteración hidrotermal. Las erupciones que las generaron pueden deberse a la fusión andesítica de diferentes niveles químicos de la corteza. Encontramos el miembro m2a, está constituida por rocas efusivas intermedias hasta intermedias-ácidas y piroclástitas subordinadas, en parte silicificadas, con metamorfismo de contacto o con alteración hidrotermal, y el m2b, este consiste en una secuencia de piroclástitas intermedias hasta intermedias-ácidas, epiclastitas volcánicas y efusivas subordinadas, con evidencias de metamorfismo de contacto y alteración hidrotermal.

### **3.1.2.3. Formación Yojoa (Yo)**

El termino fue introducido por Mills et al (1967: 1969: 13), Weber (1979) lo define en el área de Metapán, a esta pertenece el miembro “yo”, la cual es una secuencia de rocas clásticas y carbonáticas que sobreyacen concordantemente a la Formación Todos Santos.

### **3.1.2.4. Formación Valle de Ángeles (Va)**

La Formación Valle de Ángeles fue introducida por Carpenter (1954, 1970: 15); Weber (1979: 49) lo describe en Metapán que es una secuencia de depósitos terrestres y rocas volcánicas entre el grupo “Yojoa” y las rocas volcánicas del Terciario, cuya composición sugiere una canalización de las unidades inferiores. Equivalen en parte a las series de los conglomerados superiores.

### **3.1.2.5. Formación Morazán-Chalatenango (I)**

La unidad está constituida por granito, granodiorita la cual corresponde a rocas ácidas intrusivas.

## **3.2. Hidrogeología**

La información hidrogeológica consiste en describir el movimiento de las aguas subterráneas dentro de las diferentes unidades hidrogeológicas de una zona, para ello es necesario estudiar la presencia de manantiales, su caudal con asociación a las fallas geológicas presentes, relacionados con su circulación, sus condicionamientos geológicos y su captación (Ven Te Chow, 1994).

### **3.2.1. Unidades hidrogeológicas**

Se entiende como unidad hidrogeológica, a la conjunción de los distintos materiales de miembros geológicos con similares propiedades o características hidráulicas que conllevan a la unificación en un mismo agrupamiento. En él se determinarán por el tipo de material geológico, manantiales presentes y el fallamiento. (Duarte, J.1998).

### **3.3. Modelo conceptual hidrogeológico (sistema de fallas/acuífero)**

Es el comportamiento de las fallas geológicas; en su dimensión, con orientación y longitud, el cual está relacionado con los cambios abruptos en el relieve, cambios de dirección en los cauces naturales (Ríos) y la relación de las salidas de agua (Manantiales) (Duarte, J, 2008).

#### **3.3.1. Fallas Geológicas.**

Son fracturas en las cuales han tenido lugar el desplazamiento relativo de los dos lados de la ruptura; las juntas son aquellas donde no ha ocurrido ningún desplazamiento, por su conformación de relieve sobre la superficie del suelo (Ruiz, 2001).

#### **3.3.2. Tipos de fallas geológicas**

Las fallas se clasifican en tres tipos en función de los esfuerzos que las originan y de los movimientos relativos de los bloques:

##### **3.3.2.1. Falla inversa**

Este tipo de fallas se genera por compresión (Fig. 1A). El movimiento es preferentemente horizontal y el plano de falla tiene típicamente un ángulo de 30 grados respecto a la horizontal. El bloque de techo se encuentra sobre el bloque de piso. Cuando las fallas inversas presentan un manteo inferior a 45°, estas pasan a tomar el nombre de cabalgamiento.

##### **3.3.2.2. Falla normal**

Este tipo de fallas se generan por tracción (Fig. 1B). El movimiento es predominantemente vertical respecto al plano de falla, el cual típicamente tiene un ángulo de 60 grados respecto a la horizontal. El bloque que se desliza hacia abajo se le denomina bloque de techo, mientras que el que se levanta se llama bloque de piso. Otra manera de identificar estas fallas es la siguiente: si se considera fijo al bloque de piso (aquel que se encuentra por encima del plano de falla) da la impresión de que el bloque de techo cae con respecto a este.

### 3.3.2.3. Falla de desgarre

Estas fallas son verticales y el movimiento de los bloques es horizontal (Fig. 1C). Estas fallas son típicas de límites transformantes de placas tectónicas. Se distinguen dos tipos de fallas de desgarre: derechas e izquierdas. Derechas, o diestras, son aquellas en donde el movimiento relativo de los bloques es hacia la derecha, mientras que en las izquierdas, o siniestras, es el opuesto. También se les conoce como fallas transversales.

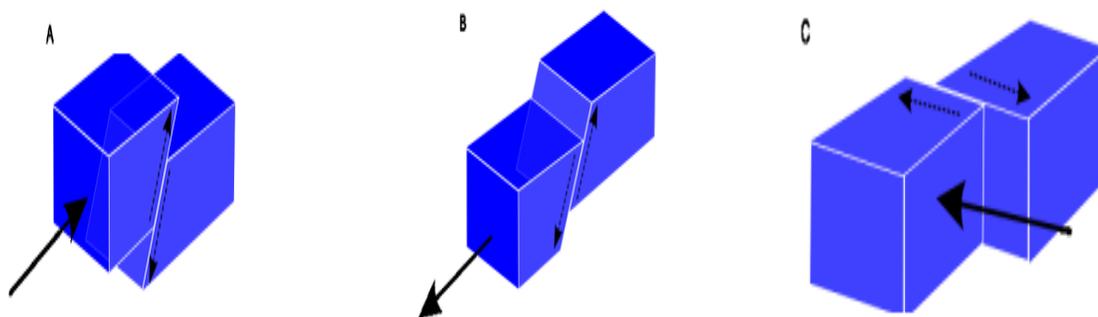


Figura. 1 (A, B y C): Tipo de fallas geológica

### 3.3.3. Acuífero físurado

Se denominan físurado por que poseen gran cantidad de fracturas, las cuales facilitan la infiltración de las aguas meteóricas que alimentan a las aguas subterráneas. Tienen gran exposición de afloramientos en la cuenca, especialmente en la parte de la cordillera. Las formas tradicionales de utilizar las aguas de estos acuíferos, son mediante captaciones directas de manantiales (Duarte, 1998).

### 3.3.4. Los manantiales

Un manantial puede definirse como un punto de la superficie del terreno que de modo natural descarga a la superficie una cantidad determinada de agua, procedente de un acuífero o embalse subterráneo. La descarga de estos acuíferos no se efectúa únicamente mediante los manantiales sino que también puede producirse mediante evaporación al estar en contacto la zona saturada con la superficie del terreno. La descarga del embalse subterráneo se realiza mediante la evapotranspiración de las plantas, cuyas raíces alcanzan la zona saturada (Gil, 2000).

## 3.4. Balance Hídrico

Un balance hídrico es la cuantificación de los parámetros involucrados en el ciclo hidrológico, así 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. Dado que el balance hídrico presenta un diagnóstico de las condiciones reales del recurso hídrico en un área en particular, permite tomar medidas y establecer lineamientos y estrategias para su protección y utilización de una manera integrada, de tal forma que se garantice la disponibilidad en cantidad como en calidad (SNET, 2005).

#### **3.4.1. Precipitación efectiva**

La precipitación efectiva se considera como la porción de la precipitación pluvial que logra infiltrar en el suelo, y que se encuentra disponible para ser utilizada por las plantas o para recargar el acuífero, existen varios factores que intervienen en la determinación de la precipitación efectiva: intensidad de la precipitación, velocidad de infiltración del agua en las formaciones geológicas de la zona, la cobertura vegetal y la topografía (Jiménez, 2005).

#### **3.4.2. Evapotranspiración (ETP)**

La evapotranspiración es la pérdida del agua contenida en el suelo, producto de la evaporación más la pérdida del agua contenida en la vegetación por medio de la transpiración, también constituye un factor de gran importancia para conocer la cantidad de agua infiltrada en el subsuelo, es un importante elemento para el balance hídrico ya que nos permite estimar el máximo de pérdidas causado por el complejo planta-suelo, que a la vez nos sirve para conocer la cantidad que logra percolar hasta el acuífero (Jiménez, 2005).

#### **3.4.3. Contenido de Humedad del Suelo**

Es la cantidad retenida de agua que se encuentra en el suelo, generalmente se expresa en proporción al peso del agua con respecto al peso total de una muestra de suelo, o en proporción al volumen ocupado por el agua en dicha muestra, teniéndose valores de contenido de humedad de suelo característicos: la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente (INTA, 2005).

##### **3.4.3.1. Capacidad de campo**

Es la máxima humedad que puede tener un suelo contra la fuerza de la gravedad sostenida por capilaridad, expresada en porcentaje por peso seco (%) o en lámina de agua (cm o mm) (Citizen Science, 2008).

Capacidad de Campo (CC), es la cantidad de agua que un suelo puede retener frente a la acción de la gravedad. Esta generalmente ocurre a una tensión 1/10 atmósfera para suelos ligeros a 1/13 atmósfera para suelo pesados. La velocidad lenta de circulación del agua ocurre cuando el potencial matricial esta alrededor de 33 KPa (1/3 de atmósfera). En esta etapa se dice que el suelo está en Capacidad de Campo (Gurovich, 1990).

### **3.4.3.2. Punto de marchitez**

Es el límite inferior del contenido de humedad, a partir del cual el agua no puede ser adsorbida por las raíces. Se expresa en lámina de agua o en peso seco de suelo (Citizen Science, 2008).

El punto de marchitez permanente (PMP), es el contenido de humedad en el suelo cuando las plantas no pueden adsorber el agua que se encuentra en el suelo por la presión que existe, por tal motivo las plantas se marchitan y no recobran su turgencia, este estado ocurre entre 10 a 20 atmósferas de tensión. Grado de humedad en el que el suelo ha perdido su agua de gravedad (Gurovich, 1990).

### **3.4.4. Propiedades físicas del suelo**

Las propiedades físicas de los suelos, son las condiciones que determinan la rigidez y la fuerza de sostenimiento, la facilidad para la penetración de las raíces, la aireación, la capacidad de drenaje y de almacenamiento de agua, la plasticidad, la retención de nutrientes y la velocidad de infiltración del agua. Es importante conocer las propiedades físicas del suelo, para entender en qué medida y cómo influyen en el crecimiento de las plantas, cómo la actividad humana puede llegar a modificarlas, para mantener las mejores condiciones físicas del suelo (Rucks, 2004).

#### **3.4.4.1. Infiltración del agua**

La infiltración es el proceso por el cual, el agua penetra por la superficie del suelo y llega hasta sus capas inferiores. Si se aplica agua a determinada superficie de suelo, a una velocidad que se incrementa en forma uniforme, tarde o temprano se llega a un punto en que la velocidad de aporte comienza a exceder la capacidad del suelo para absorber agua y, el exceso se acumula sobre la superficie, este exceso escurre si las condiciones de pendiente lo permiten.

Entonces la capacidad de infiltración conocida también como “infiltrabilidad del suelo” es el flujo que el perfil del suelo puede absorber a través de su superficie, cuando es mantenido en contacto con el agua a presión atmosférica (Ruiz, 2004).

#### **3.4.4.2. Densidad Aparente**

El valor de la densidad aparente de un suelo está referido a la relación entre la masa de una muestra natural y el volumen aparente, que incluye el volumen de las partículas sólidas del suelo y los espacios porosos, se expresa en g/cm. La densidad aparente se determina midiendo un volumen de suelo y su masa seca. La principal dificultad es la exactitud de medición de una muestra de suelo en su estado.

La densidad aparente de un suelo es la relación que existe entre la masa o peso seco del suelo y la unidad de volumen aparente del mismo. El volumen aparente incluye a las partículas sólidas y el espacio poroso (Montenegro y Malagón, 1990).

### 3.4.5. Conductividad Hidráulica

Es el factor de proporcionalidad de la ley de Darcy, que trata del flujo de agua en el suelo, es decir el flujo de agua por unidad de gradiente del potencial hidráulico, en el sistema de unidades de longitud, tiempo y masa. Es también el flujo de agua por unidad de gradiente de carga hidráulica cuando se usa el sistema de unidades de longitud, tiempo y peso. (Forsythe, 1985).

La ley de Darcy dice que la velocidad del flujo del agua a través de una columna de suelo saturado, es directamente proporcional a la diferencia en carga hidráulica e inversamente proporcional a la longitud de la columna. (Forsythe, 1985)

$$K = \frac{Q \cdot L}{A \cdot h}$$

donde: **K**: Conductividad Hidráulica. (cm/hr)

**Q**: Flujo de agua. (cc/hr)

**L**: Altura de la columna del suelo. (cm)

**A**: Área de la sección transversal del flujo. (cm<sup>2</sup>)

**h**: Altura de la columna de agua. (cm)

### 3.5. Elementos del Balance Hídrico de suelo

Según Schosinky (2002) los elementos que intervienen en el Balance Hídrico de suelo son: Fc: capacidad de infiltración, I: Infiltración, PM: punto de marchitez, PR: Profundidad de raíz, (CC- PM) Rango de Agua Disponible para las plantas; DS: Densidad del Suelo, C1: factor de la Evapotranspiración Potencial (ETP), por cierre de estomas, antes que ocurra Evapotranspiración Real (ETR); C2 factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurra ETR; Kp: Coeficiente de pendiente, Kv: Coeficiente de vegetación, Kfc: factor estimado con base a la prueba de infiltración, P: precipitación media mensual, PI: Precipitación que infiltración, ESC: escorrentía superficial, ETP: evapotranspiración potencial, ETR: evapotranspiración real, HSI: humedad de suelo inicial, HD: Humedad disponible, HSF: Humedad de suelo final, DCC: Déficit de capacidad de campo, RP: recarga potencial, NR, Necesidad de riego, RET: Retención de lluvia.

### **3.5.1. Recarga acuífera subterránea.**

Es el proceso a través del cual un acuífero recupera su nivel de agua normal, esto se debe a la percolación del agua precipitada que llega a la zona saturada del acuífero, esta recarga es muy variable y es la que geológicamente ha originado la existencia de los acuíferos, para el estudio de recarga es necesario tener en cuenta ciertos criterios que influyen sobre la recarga acuífera: precipitación, evapotranspiración, geología, vegetación, uso de suelo, topografía y profundidad del acuífero (Jiménez, 2006).

La recarga del acuífero es una de las salidas de humedad del suelo que se analiza por medio del balance hídrico, el cual involucra para su determinación, los componentes básicos del ciclo hidrológico (precipitación, evapotranspiración e infiltración), además de los principales grados de humedad del suelo (capacidad de campo, y punto de marchitez) y de la profundidad de raíces de las plantas, considerada como la profundidad donde suceden los cambios de humedad (Duarte, 1998).

Para determinar la recarga acuífera, se debe de realizar varios análisis, uno de ellos es determinar las condiciones y características de la cuenca o región, el segundo análisis es que se deben de tomar en cuenta cuando existe un potencial de almacenamiento de agua en el suelo, en este caso la precipitación es muy alta con relación a la suma de la evapotranspiración y escorrentía superficial, el último análisis para la determinación de recarga le corresponde al balance hídrico, en el cual se evalúan todas las entradas y salidas de agua, incluyendo los aportes externos (de otras cuencas) y los aporte profundos (aguas Juveniles). Esta posibilidad tiene dos expresiones: 1) Cuando se manifiesta en la escorrentía superficial de los cauces de los ríos y 2) Cuando el acuífero es alimentado por infiltración del agua de una cuenca vecina, pero no en escorrentía (Jiménez, 2006).

### **3.6. Los Sensores Remotos en la estimación de Recarga Acuífera**

El término “sensor remoto” se refiere a una herramienta que se emplea para estudiar las características de objetos usando datos recopilados desde un punto remoto de observación. Dicho término abarca el estudio de imágenes de satélite y fotografías aéreas, siendo una técnica utilizada para la exploración, el mapeo y la administración de los recursos hídricos (Brinker, 2000).

Según Hernández (2006), los sensores remotos ayudan a identificar las fallas geológicas y las coberturas del suelo, como partes fundamentales del cálculo de la recarga acuífera. Para ello, existen diferentes tipos de imágenes satelitales que se adquieren de distintos sensores,

entre los más comunes el LANDSAT, que provee imágenes con una resolución espectral de siete bandas, de las cuales las bandas 2, 3 y 4, en arreglo 4-3-2, permiten identificar las fallas geológicas, haciendo uso de programas informáticos especializados; también son herramientas muy importantes en la identificación de cobertura y uso de la tierra.

### **3.7. Imagen LANDSAT**

El satélite LANDSAT es capaz de obtener imágenes sin obstrucción de nubes, contando con una banda pancromática con 15 mts de resolución espacial, una calibración radiométrica del 5% con apertura completa y un canal de infrarrojo térmico, contando con 7 bandas, las cuales representa; banda 1, 2 y 3, estas muestran detalladamente el agua (espectro visible pancromático), la banda 4,5 y 7, discriminación de tierra y agua (porción infrarrojo) y la banda 6, es la porción térmica (Leyca ERDAS IMAGINE, 1992).

### **3.8. Imagen Ikonos**

El satélite Ikonos obtiene imagen con resolución de 4 mts x 4mts, contando con 4 bandas (Banda 1. Azul, Banda 2. Verde, Banda 3. Rojo, Banda 4. Nir) y una pancromática del año 2003 (Leyca ERDAS IMAGINE, 1992).

Imagen satelital de alta resolución espacial cuyas aplicaciones de mucha utilidad para la elaboración del mapa de cobertura vegetal y su procesamiento en software ERDAS IMAGINE de tal manera tener mejores criterios y detalles del lugar para su clasificación de uso actual del suelo consultando la información de campo.

### **3.9. Zonas de protección para manantiales (ZOP)**

El agua del manantial sale de zonas de fracturas y grietas libremente de una altura en forma de una pequeña cascada de agua.

En este caso el manantial tiene una pequeña cuenca y la zona de protección está arriba de la salida de agua. Entonces la zona de protección formará un semicírculo.

Se recomienda una zona de protección I (fig. 2), como mínimo de 30 metros de ancho y 30 metros de dirección de la pendiente, topográficamente hacia arriba, además se recomienda delimitar la zona de protección III, con el apoyo de un mapa topográfico.

La fórmula es:  $A=Q/R$  ( $km^2$ )

Dónde: A=cuenca del manantial en ( $km^2$ )

Q= caudal del manantial en (l /seg)

R= recarga acuífera en (l /seg) por ( $km^2$ )

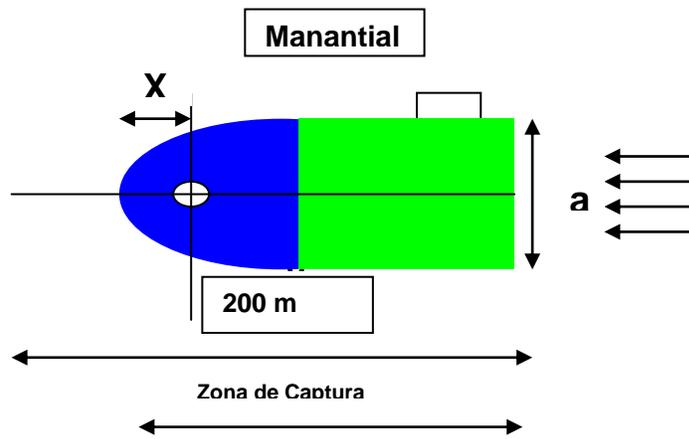


Figura. 2. Área de protección para manantiales

#### 4. MATERIALES Y MÉTODOS

Para determinar recarga se debe tener una idea de que datos deben utilizar y las herramientas (fig.4), para nuestro caso, por el método del Balance Hídrico de Suelo, elaborado por Schosinky.

##### 4.1. Caracterización general de la zona de estudio.

El estudio se realizó en el municipio de San Fernando, del departamento de Chalatenango, está limitado al Norte por la República de Honduras y el Municipio de La Palma; al Noroeste y al Este por la República de Honduras; al Sureste por la República de Honduras y el municipio de Dulce Nombre de María; al Sur por los municipios de San Francisco Morazán y Dulce Nombre de María; al Suroeste y Oeste por el municipio de San Francisco Morazán; al Noroeste por los municipios de La Palma y San Francisco Morazán, noroeste de la ciudad de Chalatenango a 1040 msnm. Entre las coordenadas centrales 14°20' 08"LN (extremo septentrional) y 14°15' 45"LN (extremo meridional) 89°01'17"LWG (extremo oriental) y 89°06'09"LWG (extremo occidental), contando con una área de 44.03 Km<sup>2</sup>, el cual se divide en 5 cantones: El Jocotán, Los Llanitos, Nuevo San Fernando o El Roblar, San Juan de La Cruz y Valle de Jesús; 16 caseríos: Jocotán, Los Llanitos, Hierbabuena, Los Coles, El Bejuco, Nuevo San Fernando o El Roblar, San Juan de La Cruz, Portillo de La Ceiba, Las Vegas, El Jocote, Quebrada Blanca, Ojo de Águila, Valle de Jesús, Agua Zarca, El Llanito y El Roblar; las principales vías de acceso se une por carretera de tierra con las poblaciones de: La Palma, San Francisco Morazán, San Rafael y Dulce Nombre de María y caminos vecinales enlazan cantones y caseríos a la cabecera municipal, el clima es fresco y agradable, pertenece al tipo de tierra templada y tierra fría. La precipitación pluvial anual oscila entre 2200 y 2600mm por año; la zona de vida del municipio son el bosque muy húmedo subtropical y montano bajo (IGN, 2002).

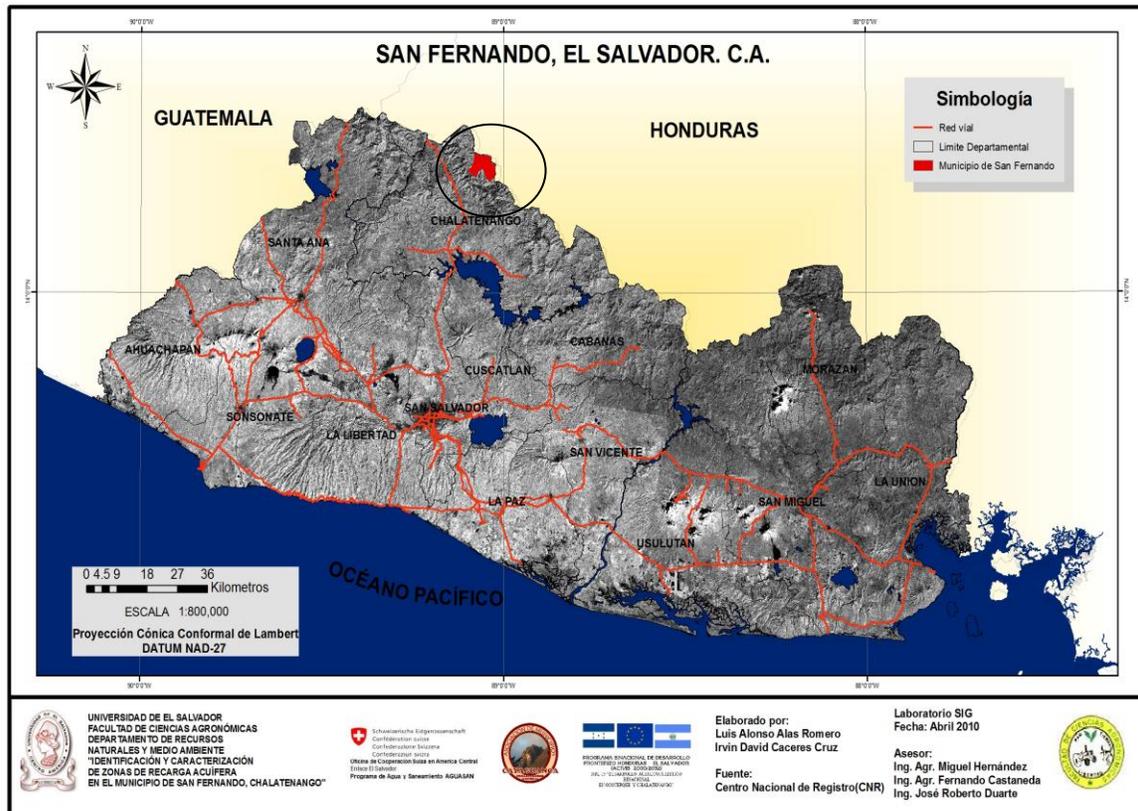


Figura. 3 Ubicación geográfica del municipio de San Fernando

#### 4.2. Recopilación de la información

Se recabo información existente del municipio de San Fernando, para lograr establecer un panorama general de la geología, red hídrica, uso de suelo actual, las clases de suelo que predominan, la vegetación, topografía y manantiales, para tener un bosquejo apropiado; se utilizó imagen IKONOS para determinar el uso actual del suelo e imágenes Landsat para determinar las fallas, proporcionadas por Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica, Unidad de Posgrado, Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador.

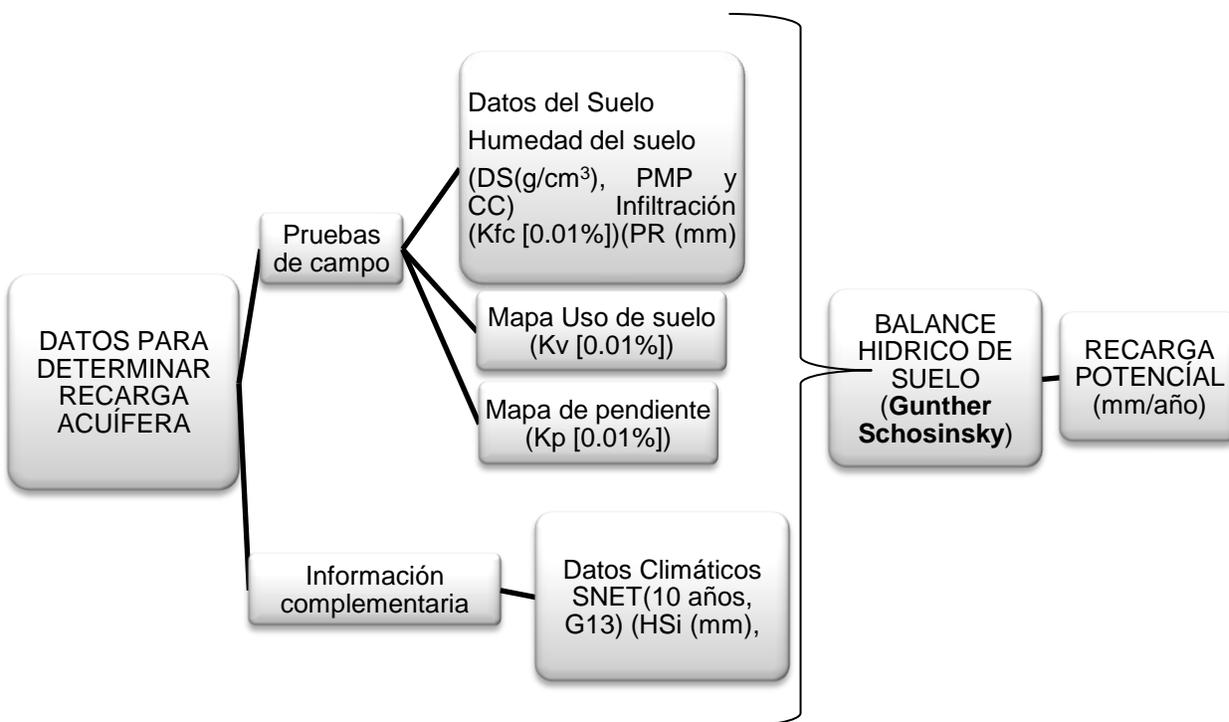


Figura. 4. Pasos para determinar recarga acuífera

### 4.3. Información cartográfica utilizada

Se utilizó la siguiente información cartográfica temática:

#### 4.3.1. Mapa geológico

Se utilizó el Mapa Geológico del El Salvador en escala 1:100,000 del Instituto Geográfico Nacional “Ing. Pablo Arnoldo Guzmán” del Centro Nacional de Registro (CNR), proporcionado de forma impresa por el Departamento de Recursos Naturales y Medio Ambiente, Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador, con léxico estratigráfico (Scott Baxter, 1984); también se utilizó este mapa de forma digital en formato .Shp, obtenida del Proyecto FORGAES del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, para poder analizar las formaciones geológicas existentes en el municipio y poder determinar cuáles están presente en las zonas de recarga (A- 1).

#### 4.3.2. Mapas topográficos

Se utilizaron los cuadrantes topográficos a escala 1:50,000 del Instituto Geográfico Nacional “Ing. Pablo Arnoldo Guzmán” del Centro Nacional de Registros (CNR), el nombre y número de los cuadrante son: Tejutla 2358 I y San Ignacio 2359 II (A-2).

#### **4.3.3. Mapa de red hídrica**

Se utilizó como base los cuadrantes topográficos con escala 1:50000 del Instituto Geográfico Nacional “Ing. Pablo Arnoldo Guzmán” del Centro Nacional de Registro (CNR), con el cual se obtuvo la red hídrica del municipio de San Fernando (A-3).

#### **4.3.4. Mapa de uso de suelo**

Con base al proyecto SHERPA Corine Land Cover 2002, se elaboró un mapa de uso de suelo a una escala de 1:40,000 con imagen satelital de alta resolución IKONOS del año 2004 de 4 metros de resolución espacial, con una composición de 4 bandas multiespectral, realizando los campos de entrenamiento de cada mega píxel para definir una clasificación no supervisada de cada uso del tipo de cobertura para tener una interpretación de información con base a los datos recopilados en campo, editando e identificando diferentes tipos de uso de suelo, tales como suelo desnudo, bosque, bosque de galería, cultivos agrícolas, y pastos, el cual genera el coeficiente Kv, utilizado en el balance hídrico de suelo.

#### **4.3.5. Mapa de fallas geológicas**

Teniendo la imagen satelital Landsat 7 de 1998, utilizada para definir los alineamientos o fallas geológicas con un tamaño de 25m por píxel, editada a través del software ArcGIS 9.2, se extrajo el área de interés y se georeferenció, editando y combinando las bandas según Mata, con la combinación 4-3-2, dicha combinación es la que mejor representa las fracturas, anteponiéndole capas (cartografía digital) de la vegetación, áreas urbanas, carreteras y caminos, uso de suelo, ríos; que fueron considerados para visualizados y trazados correctamente, generando el mapa de fallas.

#### **4.3.6. Mapa hidrogeológico**

Con el inventario de los manantiales del municipio, con sus respectivas elevaciones y las fallas geológicas, se elaboró el mapa hidrogeológico, sobreponiéndose a las capas de formaciones geológicas, ríos, curvas a nivel, con intervalos a 100m y calles, para analizar el comportamiento de las aguas subterráneas y su dirección en la zona de estudio.

#### **4.3.7. Trabajo de campo**

Consistió en un monitoreo de todos los manantiales de la zona de estudio (fig.5), recorrido por ríos e identificando las formación geológica predominante, para determinar los lugares en los que se efectuarían las pruebas de capacidad de campo, punto marchites permanente,

densidad del suelo, infiltración y conductividad Hidráulica, realizando tres repeticiones por cada prueba, para poder obtener un promedio de dichas pruebas.



Figura. 5. Monitoreo de manantiales y caracterización de la zona de recarga

#### 4.3.7.1. Inventario de manantiales

Se desarrolló un inventario detallado de los manantiales del municipio (A-4-5), con la ayuda de equipo de Sistema de Posicionamiento Global (GPS) de navegación con precisión de 6m, marca Garmin modelo Etrex Legend, configurado con los parámetros geográficos: Datum Norteamericano de 1927 (NAD 1927) y Sistema de Coordenadas Geográficas.



Figura. 6. Monitoreo de los manantiales del municipio de San Fernando

A cada manantial se le calculó el caudal promedio utilizando el método volumétrico, que consiste en determinar la cantidad del líquido en un recipiente de volumen conocido. Realizando cinco repeticiones para al final sacar un promedio de caudal por unidad de tiempo en cada manantial; y se obtuvo información sobre el uso del agua del mismo, usando una boleta socioeconómica (A-6): tipo de fuente, estructura de protección, uso, quien se beneficia, para que y cuánto; elaborándose una base de datos digital del municipio y un mapa.

#### 4.3.7.2. Infiltración básica en cada formación geológica

Para la estimación de la tasa de infiltración en terreno se utilizó el método de Porchet, el cual consiste en excavar un cilindro de radio  $R$  y se llenarlo con agua hasta una altura  $h$ , se espera un tiempo y se mide la diferencia de  $h$ , el cual nos servirá para encontrar  $F_c$  expresada en mm/d. Se utilizó la hoja de cálculo elaborada por Ing. M. Sc. José Mauricio Tejada, para encontrar la infiltración básica en las formaciones del municipio. (A-7 a A-12)



Figura. 7. Toma de datos con el método de Porchet, para la infiltración básica en las distintas formaciones geológicas, San Fernando, Chalatenango.

#### 4.3.7.3. Densidad del suelo en cada formación geológica

Se tomaron muestras de suelo en las diferentes formaciones geológicas de la zona de estudio, utilizando el método de muestreador de Hulland para extraer, con buena conformación y mayor confiabilidad para evitar una pérdida de peso de la muestras, dicha muestra se analizaron en el Laboratorio de Química Agrícola de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador. El objetivo de este tipo de análisis es contar con los datos de densidad aparente, siendo necesarios para el desarrollo del balance hídrico y para el cálculo de la recarga acuífera, el procedimiento se describe a continuación (A-13):

1. Colocar el muestreador de hulland en posición vertical para extraer la muestra de suelo, teniendo el cuidado de introducir de forma uniforme el cilindro junto con sus

respectivos anillos hasta dejar el borde a la superficie del suelo, para la extracción girar hacia arriba hasta dejar descubierto totalmente.

2. Retirar los anillos en ambos extremos junto con la ayuda de una navaja para cortar y solamente dejar el cilindro con el cuidado de no perder parte de la muestra
3. Identificar el sitio de muestreo junto con la muestra y depositar en bolsas plásticas limpias, luego depositar en recipientes plásticos para su traslado hasta el lugar de procesamiento para su respectivo análisis de laboratorio.
4. Cada muestra se coloca en cajas de aluminio y dejar en desecador para reducir el error por tiempo de 45 minutos.
5. Calibrar la balanza semi-analítica para proceder a realizar los respectivos pesos de cada muestra obteniendo peso de suelo húmedo.
6. Dejar en reposo durante 24 horas en estufa a temperatura de 105 °C, luego pasar nuevamente a desecador con el objetivo de enfriar la muestra durante 45 minutos.
7. Pesar cada muestra en balanza semianalítica y registrar los datos en hoja de cálculo para obtener la densidad aparente de los sitios muestreado
8. Calculando del a la siguiente forma:

$$\text{Densidad Aparente (g/cc)} = \frac{\text{Masa de suelo seco (gr)}}{\text{Volumen del cilindro (g/cc)}}$$



Figura. 8. Muestreo en las diferentes formaciones geológicas y análisis respectivo en el Laboratorio de Suelo, Facultad de Ciencias Agronómicas, UES.

#### 4.3.7.4. Humedad gravimétrica (cc y pmp)

Se tomaron muestras de suelo en las diferentes formaciones geológicas de la zona de estudio, dicha muestra se analizaron en el Laboratorio de Química Agrícola de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador. El objetivo de este tipo de análisis es contar con los datos de Capacidad de campo (agua disponible para las plantas) y punto marchites permanente (agua que no puede adsorber las plantas), utilizando un barreno para extraer la muestra, siguiendo la metodología (A-14-15):

1. Extracción de muestra a 30 y 60 cm de profundidad con barreno
2. Dejar en reposo saturando las muestras en agua durante 24 horas.
3. Limpiar y clasificar las cajas de aluminio junto con los hules, realizando cuatro repeticiones de cada lugar de muestreo.
4. Depositar en cada hule sobre los platos de cerámica e inmediatamente depositar en cada olla de presión de capacidad de campo y punto de marchitez permanente.
5. Calibrar válvulas compresor manteniendo la presión constante durante el proceso de análisis por 24 horas
6. Pesar las muestras en balanza semianalítica y luego pasar a estufa por 24 horas a 105° C, posteriormente a desecador por 45 minutos y pesar nuevamente.
7. Posteriormente procesar datos y realizar los respectivos análisis.



Figura. 9. De izquierda a derecha: muestras de suelo saturado, colocación de suelo en los hules, colocar el plato de cerámica en las ollas de presión, colocar las muestras en una estufa y pesado.

#### 4.3.8. Conductividad hidráulica

Con la utilizando de un Permeámetro de Guelph, se realizaron pruebas de la conductividad Hidraulica en las diferentes formaciones geológicas del municipio, haciendo 3 pruebas, que

fueron localizadas por medio un GPS y con la ayuda de mapa geológico, pudimos desplazarnos donde se colocaría el Permeámetro de Guelph.

#### Instalación del Permeámetro de Guelph (A-16)

1. Hacer un agujero de 6 cms de diámetro y 40-70 cms de profundidad, con un barreno
2. Instalar el tubo principal a través del trípode
3. Con el bidón llenar los reservorios, cerciorándose de tener la válvula abierta y el tubo de Mariotte abajo.
4. Cerrar los sellos de vacío. Levantar lentamente el tubo de Mariotte, hasta el nivel deseado
5. Cuando la carga en el pozo se haya estabilizado empezar a medir los niveles de los reservorios a través del tiempo.
6. Si la baja del nivel se hace imperceptible en 2 minutos, cerrar la válvula de conexión entre los reservorios, para poder medir los cambios mínimos, en las columnas de agua dentro de los tubos.



Figura. 10. Instalación del Permeámetro de Guelph

#### 4.3.9. Determinación del balance hídrico

Para establecer las entradas, salidas y los cambios de humedad del suelo en un área determinada, es necesario realizar el balance hídrico (A-17), en la zona de estudio se realizó el polígono de Thiessen fue necesario determinar la Evapotranspiración potencial por el método de Hargreaves, con datos de las estaciones meteorológicas G13 (San Ignacio, cantón Las Pilas), localizada en latitud  $14^{\circ}22'$ , longitud  $89^{\circ}05'$  con una elevación 1960msnm. Teniendo datos promedios de una década (10 años), del Servicio Nacional de Estudios Territoriales (SNET), utilizando la siguiente información: Precipitación (mm), Humedad relativa (%), Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), velocidad del viento.

### **4.3.10. Zonas de recarga**

El agrupamiento de manantiales y las fallas geológicas, nos permiten ver por donde pasara el perímetro; considerando a los manantiales que se encuentran en el límite exterior del grupo, se tomara como frontera, y a un kilómetro de distancia del manantial, se colocara el perímetro de la zona de recarga acuífera.

#### **4.3.10.1. Determinación de parámetros**

Los datos que determinan la recarga acuífera, se encuentran la infiltración básica por textura ( $K_{fc}$ ), la pendiente del terreno ( $K_p$ ), cobertura vegetal ( $K_v$ ), que la sumatoria de ellos equivale al coeficiente  $C$ , la humedad del suelo (propiedades físicas del suelo), utilizando la fórmula de correlación estadística desarrollada por Gunther Schosinky y Marcelino Losilla.

El coeficiente “ $C$ ” está determinado por:  $C = K_{fc} + K_p + K_v$ .

Por lo tanto debemos de calcular cada uno de ellos, de la siguiente forma se calcula:

##### **4.3.10.1.1. $K_{fc}$ (coeficiente de infiltración por textura)**

Según las pruebas de infiltración en las distintas formaciones encontradas en la zona (cuadro 9), se determinó la infiltración básica, realizando tres pruebas por formación para tener un mejor resultado, generando un promedio de las infiltraciones, el cual es utilizado para calcular  $K_{fc}$ , teniendo en cuenta las siguientes condiciones:

Si  $F_c$  se encuentra entre 16 y 1568 mm/d, el  $K_{fc} = 0.267 \ln(F_c) - 0.000154 F_c - 0.723$

Si  $F_c$  es menor de 16 mm/d  $K_{fc} = 0.0148 F_c / 16$

Si  $F_c$  es mayor de 1568 mm/d  $K_{fc} = 1.00$

##### **4.3.10.1.2. $K_p$ (coeficiente de pendiente)**

Para poder determinar  $K_p$ , se elaboró un mapa de pendiente, procesando las curvas a nivel con un intervalo entre curva de 10m, logrando elaborar un Modelo Digital de Elevaciones (DEM), del cual se pueden derivar varias variables, en donde nos da una referencia como es el relieve, el estudio requería obtener las pendientes, con el objetivo de tener mejor definición en la pendiente, el cual se identificaron rangos de pendiente en porcentajes.

##### **4.3.10.1.3. $K_v$ (coeficiente del uso de suelo)**

Se realizó un mapa de uso de suelo actual con escala de 1:40,000 utilizando una imagen IKONOS del año 2004, con el objetivo de poseer información más detallada y poder asignar el valor del coeficiente  $K_v$ .

#### 4.4. Zona de protección mínima para manantiales

La protección de manantiales, se puede estimar, una área de recarga, se estableció el agrupamiento de los manantiales correspondiente a las zonas de recargas, realizando la sumatoria de caudales; por lo tanto el área estimada a proteger es menor en relación a la zona potencial, es necesario establecer una protección mínima, considerados esta acción de primer nivel para la protección, de tal forma se procedió al cálculo de la siguiente manera:

En la Zona Jocotán con recarga potencia de 419.77 mm / año, con un caudal total del manantiales de 5.52 (l /seg)  
 1 mm/ año = 0.0317 (l /seg) por (km<sup>2</sup>)

Recarga acuífera = 419.77 mm / año x 0.0317 = 13.307 (l /seg) por (km<sup>2</sup>)

Área = 5.52 / 13.307 (km<sup>2</sup>) = 0.4148 (km<sup>2</sup>) = **41.48 Hectáreas**



Figura. 11. Protección de manantiales

## 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con la información cartográfica y de campo, se procedió a la interpretación, la correlación de fallas geológicas y manantiales, se logró determinar las zonas de recarga acuífera.

### 5.1. Zonas de recarga acuífera

La imagen Landsat, utilizada para realizar el mapa de fallas geológicas y los manantiales determinan las zonas de recarga acuífera, dando como resultado 10 zonas (Cuadro 1), distribuidas por todo el municipio de San Fernando (fig.11).

Cuadro. 1. Zonas de recarga acuífera de San Fernando

Zonas de recarga acuífera
Jocotán
Los Llanitos No.1
Los Llanitos No.2
Valle de Jesús
Sumpul
El Cerro No.1
Los Mataras
El Jocote
San Juan de la cruz
El Cerro No 2

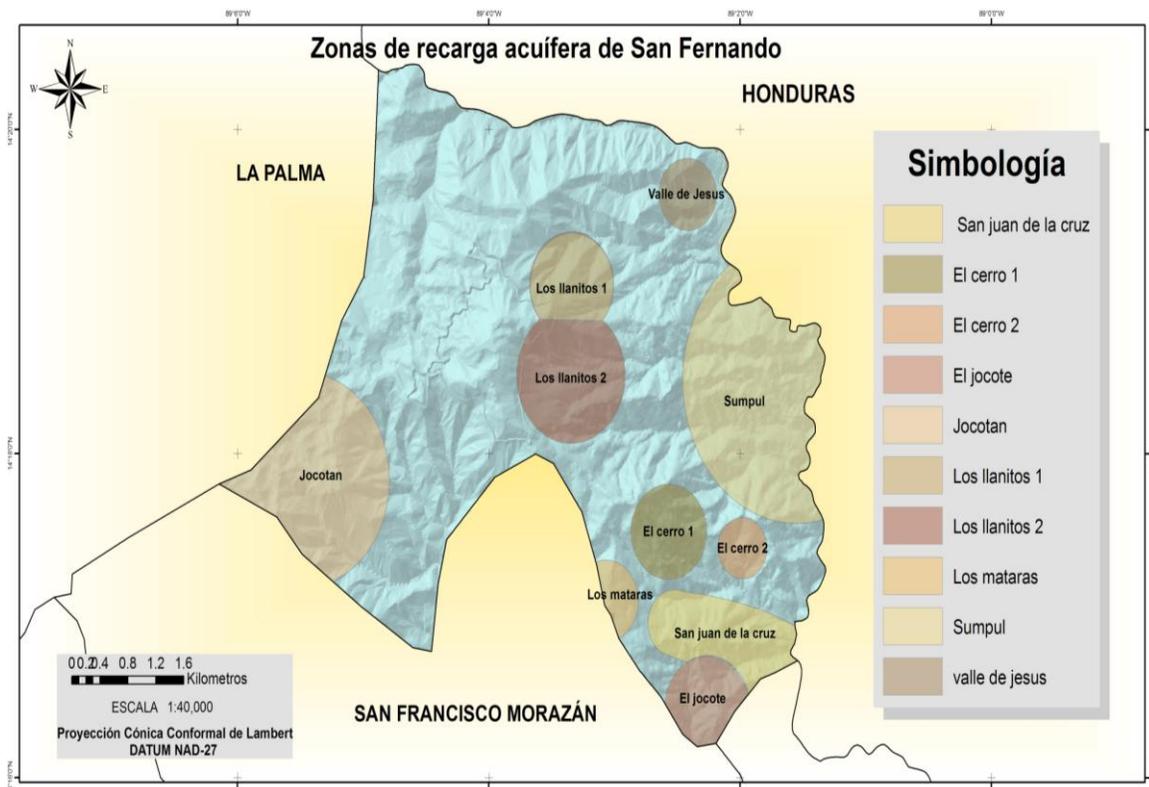


Figura. 12. Distribución de las zonas de recarga acuífera en San Fernando

## 5.2. Determinación de parámetros

### 5.2.1.1. K<sub>fc</sub> (coeficiente de infiltración por textura)

Para las zonas de recarga, se identificó el K<sub>fc</sub>, por medio de la infiltración, la densidad aparente, capacidad de campo y punto marchites permanente, con la utilización del Excel de Schosinky, teniendo los resultados siguientes (cuadro 2):

Cuadro. 2. Formaciones y miembros geológicos con datos infiltración básica de suelo del municipio de San Fernando, Chalatenango, 2009.

FORMACIÓN	MIEMBRO	K <sub>fc</sub> (0.01%)
Chalatenango	Ch1	0.831
Chalatenango	Ch2	0.9664
Morazán-Chalatenango	I	1
Morazán	m <sub>2a</sub>	0.7447
Valle de Ángeles	Va	0.9375
Grupo Yojoa	Yo	0.9698

Fuente: Elaboración propia.

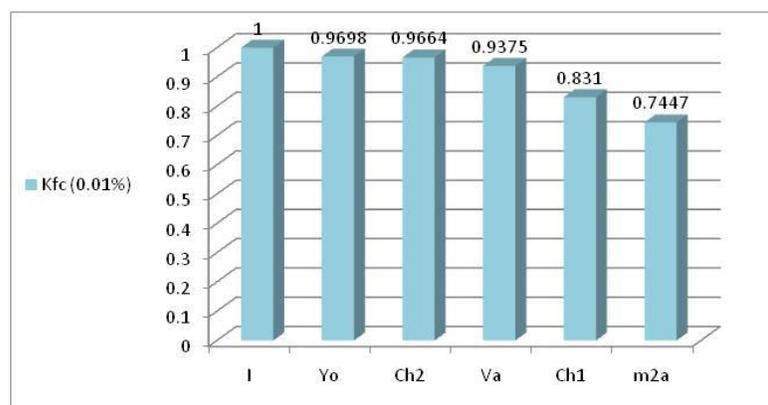


Figura.13. Coeficientes de Infiltración por textura, para las formaciones y miembros geológicos, del municipio de San Fernando, Chalatenango, 2010.

Las infiltraciones por textura del suelo (K<sub>fc</sub>), se encuentran en un rango 1 a 0.7447, lo cual indica que la infiltración con un K<sub>fc</sub> de 1 es perfecta, por lo tanto se ve que la tendencia es mayor 0.5 que es la media, por lo tanto las K<sub>fc</sub> son: para la formación Morazán-Chalatenango (I) es 1, Grupo Yojoa (Yo) K<sub>fc</sub> de 0.969, Chalatenango (Ch2) K<sub>fc</sub> de 0.966,

Valle de Ángeles (Va) Kfc de 0.937, Chalatenango (Ch1) tiene un Kfc de 0.831 y por ultimo Morazán (m2a) con un Kfc de 0.744.

### 5.2.2. Mapa de uso de suelo, Kv (coeficiente del uso de suelo)

La clasificación encontrada en el municipio de San Fernando es: bosque, bosque de galería, cultivos agrícolas, y pastos (Fig. 13), la que permitió determinar el coeficiente del uso de suelo (Kv), en el municipio de San Fernando (Cuadro 3).

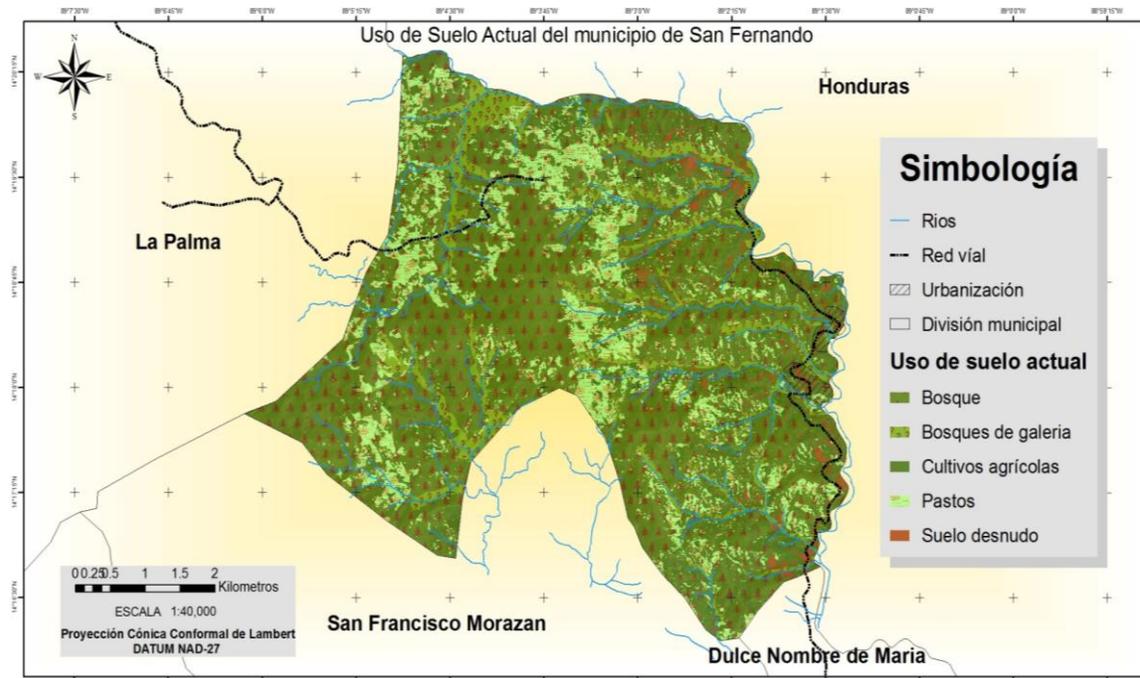


Figura. 14. Uso actual del suelo en el municipio de San Fernando

Cuadro. 3. Uso de suelo con su coeficiente de vegetación (Kv) del municipio de San Fernando, Chalatenango, 2009.

Uso de suelo	Coeficiente Kv
Bosque	0.2
Bosque galerías	0.2
Cultivos agrícolas	0.1
Pastos	0.1
Suelo desnudo	0.1

Fuente: Elaboración propia

### 5.2.2.1. Kp (coeficiente de pendiente)

El parámetro Kp, determinado por el mapa de pendiente (A-18), muestra los rangos en porcentaje, que se encontraron en el municipio de San Fernando.

Cuadro. 4. Rangos de pendiente (%) y el coeficiente Kp del municipio de San Fernando, Chalatenango, 2009.

Rangos de Pendiente (%)	Coeficiente Kp
0-15	0.27
15-30	0.1
Mayores 30	0.04

Fuente: Elaboración propia

### 5.2.3. Alineamiento o fallas geológicas

Las fallas, se utilizó para correlacionar con los manantiales, y permitió analizar el flujo de las aguas subterráneas (fig.14).

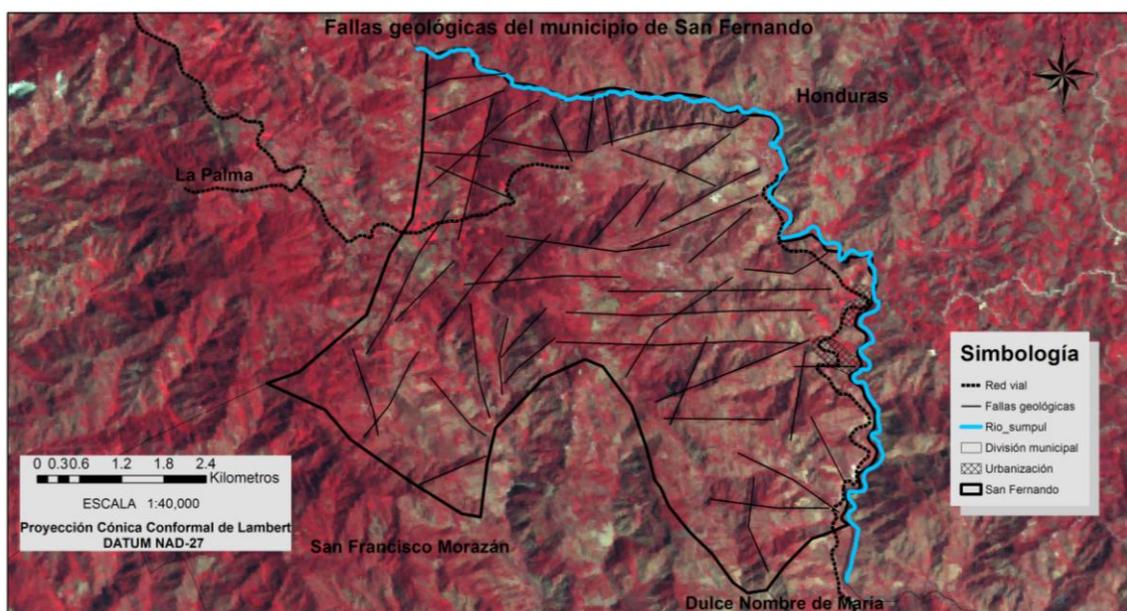


Figura. 15. Mapa de fallas geológicas del municipio de San Fernando

### 5.3. Mapa hidrogeológico

Con el inventario de los manantiales del municipio, y sus respectivas elevaciones, se elaboró el mapa hidrogeológico, sobreponiéndose las capas de formaciones geológicas, manantiales, ríos, curvas a nivel, con intervalos a 100m, calles y las fallas (fig.15), para analizar el comportamiento de las aguas subterráneas y su distribución en la zona de estudio.

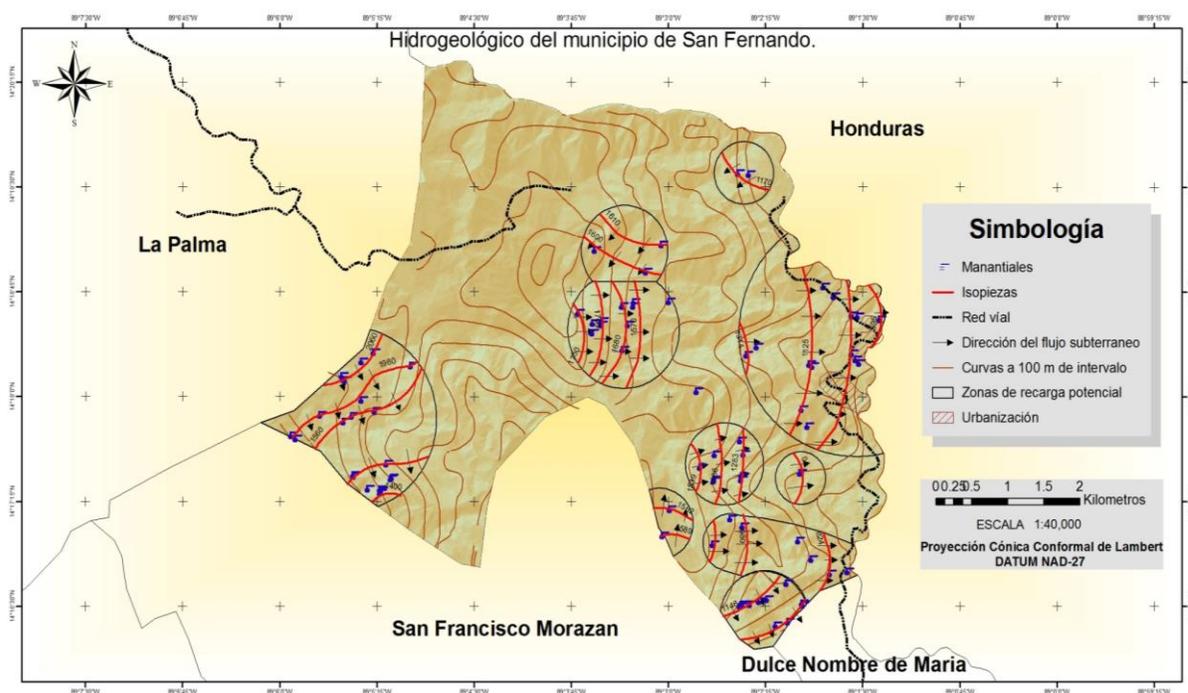


Figura. 16. Mapa Hidrogeológico del municipio de San Fernando

### 5.4. Infiltración básica en las formaciones geológicas.

La geología de San Fernando, determina su capacidad de infiltración ( $F_c$ )

Cuadro. 5. Infiltración básica en mm/día, en las formaciones geológicas del municipio de San Fernando.

FORMACIÓN	MIEMBRO	$F_c$ (mm/d)
Chalatenango	Ch1	432.48
Chalatenango	Ch2	991.68
Morazán-Chalatenango	I	1800
Morazán	$m_2a$	288
Valle de Ángeles	Va	794.16
Grupo Yojoa	Yo	1021.92

Fuente: Elaboración propia

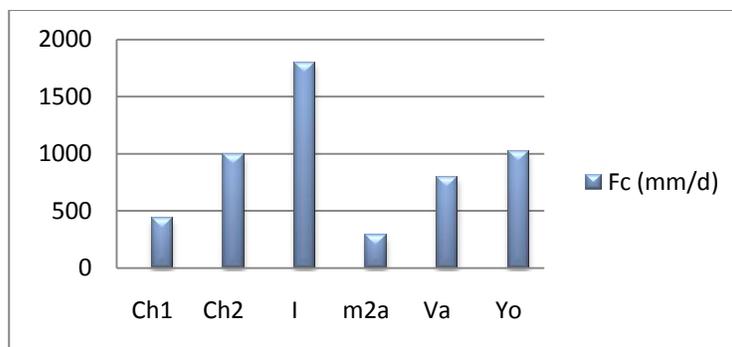


Figura. 17. Comportamiento de la infiltración básica en las Formaciones Geológicas del municipio de San Fernando, departamento de Chalatenango, 2010.

La formación Morazán-Chalatenango (I), es la que mayor infiltración presenta con 1800 mm/día, lo contrario de la Morazán (m2a) que presenta la mínima infiltración del municipio con valores de 288 mm/día; para las demás formaciones se tiene los siguientes de mayor a menor respectivamente es: Morazán-Chalatenango (I) con 1800mm/dia, Grupo Yojoa (Yo) con 1021.92 mm/dia, Chalatenango (Ch2) con 991.68 mm/dia, Valle de Ángeles (Va) con 794.16 mm/dia, Chalatenango (Ch1) con 432.48 mm/dia y por último la menos permeable se encuentra a la formación Morazán.

### 5.5. Humedad del suelo

Los datos obtenidos para los parámetros de humedad del suelo: Punto de Marchites Permanente y Capacidad de Campo, de las formaciones geológica, demuestra en qué punto cada una de ellas puede retener el agua (cuadro 5) (fig. 17).

Cuadro. 6. Formaciones y miembros geológicos con datos de humedad del suelo en mm/día del municipio de San Fernando, Chalatenango, 2009.

Formación	Miembro	Punto Marchites Permanente	Capacidad de campo
Chalatenango	Ch1	33.81	49.05
Chalatenango	Ch2	22.51	36.27
Morazán-Chalatenango	I	8.74	17.43
Morazán	m2a	19	39
Valle de Ángeles	Va	24.17	31.39
Grupo Yojoa	Yo	12.2	17.49

Fuente: Elaboración propia.

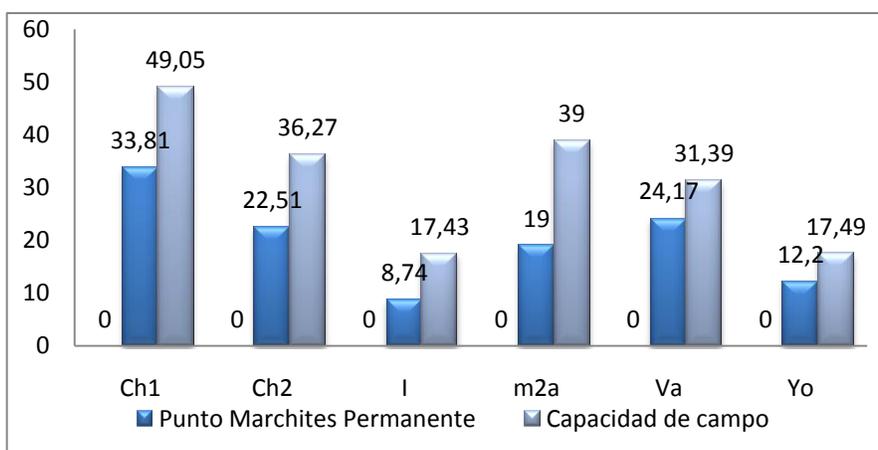


Figura. 18. Comportamiento de la humedad del suelo en las formaciones geológicas del municipio de San Fernando, departamento de Chalatenango, 2010.

Las formaciones con mayor porcentaje en capacidad de campo (CC) y punto marchites permanente (PMP) encontramos Chalatenango (Ch1) con valores 49.05 para CC y 33.81 PMP, seguido de Morazán (m2a) con 39 para CC y 19 PMP, luego Chalatenango Ch2 con 36.27 de CC y 22.51 para PMP, Valle de Ángeles (Va) con 31.39 de CC y un 24.17 PMP, Grupo Yojoa (Yo) con datos de 17.49 para CC y 12.2 PMP y por último Morazán-Chalatenango (I) con valores 17.43 y 8.74 para PMP.

### 5.6. Densidad aparente

El objetivo de este tipo de análisis es contar con los datos de densidad aparente, siendo necesarios para el desarrollo del balance hídrico de suelo y para el cálculo de la recarga acuífera. Los resultados se presentan en el cuadro 6, figura 18.

Cuadro. 7. Formaciones y miembros geológicos con datos sobre densidad aparente del suelo del municipio de San Fernando, Chalatenango, 2009.

Formación	Miembro	Densidad Aparente	Textura al tacto
Chalatenango	Ch1	1.23	Arcillosa
Chalatenango	Ch2	1.3	Arcillosa
Morazán-Chalatenango	I	1.4	Franca arenosa
Morazán	m <sub>2</sub> a	1.25	Arcillosa
Valle de Ángeles	Va	1.43	Franca arenosa
Grupo Yojoa	Yo	1.37	Franca arcillosa

Fuente: Elaboración propia

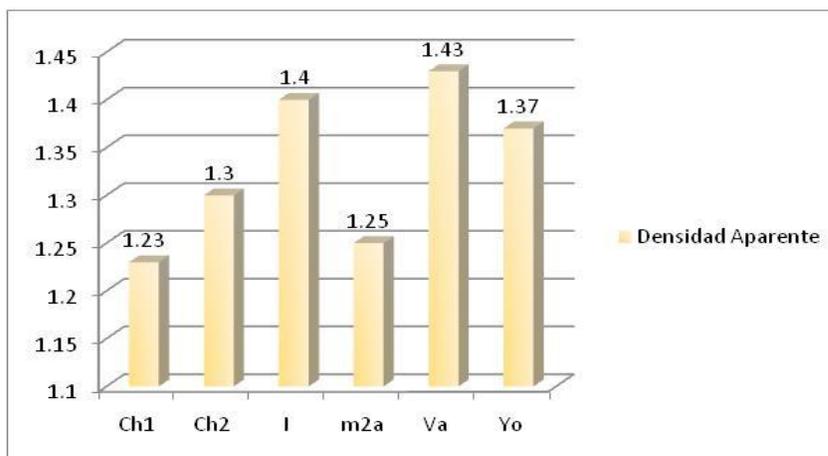


Figura.19. Comportamiento de la Densidad Aparente del suelo en las Formaciones geológicas del municipio de San Fernando, departamento de Chalatenango, 2010.

Entre las formaciones geológicas, la porosidad más elevada están Valle de los Ángeles (Va) con un valor de 1.43, siguiéndole Morazán-Chalatenango (I), Grupo Yojoa (Yo) con 1.37, Chalatenango (Ch2) con valores de densidad aparente de 1.30, Chalatenango (Ch1) con valores de 1.23.

### 5.7. Conductividad hidráulica.

Se calculó con base a la ley de Henry Philibert Gaspard Darcy, con el instrumento llamado Permeámetro de Guelph, de carga constante (cuadro 7).

Cuadro. 8. Calculo de la Conductividad Hidráulica.

Conductividad Hidráulica "k"					
Area de recarga	ÁREA(cm <sup>2</sup> )	L (cm)	CAUDAL (cc/hr)	Lámina de agua en el agujero (cm)	K (m/día)
Jocotán	113.04	65	0.6	10	0.008
Los Llanitos No.1	113.04	45	3.1	10	0.030
Los Llanitos No.2	113.04	70	6	10	0.089
Valle de Jesús	113.04	45	30	10	0.287
Sumpul	113.04	60	75	10	0.955
El Cerro No.1	113.04	60	0.6	10	0.008
Los Mataras	113.04	60	0.6	10	0.008
El Jocote	113.04	60	0.6	10	0.008
San Juan de la cruz	113.04	45	3.1	10	0.030
El Cerro No.2	113.04	53	30	10	0.338

Fuente: Elaboración propia

La conductividad de las zonas de recarga, son bajas, por lo tanto, el agua tendrá dificultades para poder traslocarse en los diferentes estratos y poder facilitar la recarga.

Se podría decir que las características propias de cada zona de recarga, por su geología y el uso superficial al suelo, influyen en dicho comportamiento.

### 5.8. Determinación del balance hídrico

La estación meteorológica G13, localizada en Las Pilas, analizando una década (10 años atrás), con datos meteorológicos, para obtener las precipitaciones y la evapotranspiración potencial del municipio de San Fernando. Se presentan en el cuadro 6.

Cuadro. 9. Datos de precipitación y evapotranspiración de la estación G13, en 10 años, correspondiente a el municipio de San Ignacio cantón Las Pilas, Chalatenango, 2009.

Años/ Mes	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
<b>P(mm)</b>	5	2	13	25	157	276	230	201	357.91	197.55	33	6
<b>ETP(mm)</b>	137.5	117.9	144.6	135.2	121.7	118.8	137.8	139.2	119.7	122.1	121.5	121.9

Fuente: Elaboración propia.

### 5.9. Balance hídrico de suelo (tablas)

Se determinó la recarga de las zonas, tomando en cuenta el material geológico de las unidades hidrogeológicas identificadas en el área de estudio, encontradas en el municipio (Cuadro 10).

Cuadro. 10. Resumen del Balance Hídrico de suelo del municipio de San Fernando, Chalatenango utilizando tablas según Gunther Schosinsky.2009.

Zonas de Recarga	Textura	Capacidad de Infiltración (Fc)	Coefficiente de Pendiente (Kp)	Coefficiente de Vegetación (Kv)	Coefficiente de infiltración (Kfc)	Densidad del Suelo (g/cc)	Capacidad de Campo (%)	Punto permanente de marchitez (%)	Recarga potencial (mm)
Jocotán1	A	991.68	0.04	0.2	0.9664	1.3	36.27	22.51	120.73
Jocotán2	A	288	0.04	0.2	0.7447	1.25	39	19	119.69
Jocotán3	A	432.48	0.04	0.2	0.831	1.23	49.05	33.81	179.35
Los Llanitos#1	A	991.68	0.27	0.21	0.9664	1.3	36.27	22.51	150.1
Los Llanitos#2	A	432.48	0.04	0.21	0.831	1.23	49.05	33.81	204.62
Valle de Jesús1	Fr	794.16	0.1	0.2	0.9375	1.43	31.39	24.17	203.87
Valle de Jesús2	A	432.48	0.04	0.1	0.831	1.23	49.05	33.81	105.51
Sumpul1	Fr	794.16	0.27	0.2	0.9375	1.43	31.39	24.17	203.87
Sumpul2	Fr-A	1800	0.27	0.18	1	1.4	17.49	12.55	320.02
Sumpul3	Fr-A	1021.92	0.04	0.2	0.9698	1.37	17.49	12.55	221.56
Sumpul4	Fr	794.16	0.27	0.21	0.9375	1.43	31.39	24.17	151.47
Sumpul5	A	432.48	0.04	0.21	0.831	1.23	49.05	33.81	112.04
El Cerro1	A	991.68	0.27	0.2	0.9664	1.3	36.27	22.51	120.73
El Cerro2	A	432.48	0.04	0.2	0.831	1.23	49.05	33.81	112.04
Los Mataras1	A	991.68	0.04	0.2	0.9664	1.3	36.27	22.51	120.73
Los Mataras2	A	432.48	0.04	0.2	0.831	1.23	49.05	33.81	112.04
El Jocote	A	432.48	0.1	0.2	0.831	1.23	49.05	33.81	112.04
El Jocote1	A	288	0.1	0.2	0.7447	1.25	39	19	133.79
San Juan de la Cruz1	A	991.68	0.27	0.21	0.9664	1.3	36.27	22.51	212.89
San Juan de la Cruz2	Fr	724.16	0.1	0.2	0.9375	1.43	31.39	24.17	184.15
San Juan de la Cruz3	A	432.48	0.27	0.2	0.831	1.23	49.05	33.81	112.04
El Cerro#2	A	432.48	0.27	0.21	0.831	1.23	49.05	33.81	204.62

Fuente: Elaboración propia.

### 5.10. Recarga Potencial.

El área total del municipio de San Fernando es de 3636.67 ha; el 36% (1431.61 ha) representan las 10 zonas, que presentan un potencial de recarga acuífera, cada una fue analizada por separado por tener características diferentes: estas zonas se detallan en orden descendente en cuanto a su potencial de recarga (Cuadro 11) (A-19 a 40):

Zona de recarga Sumpul: Formaciones encontradas en la zona, Valle de ángeles, miembro “va” Chalatenango miembro “Ch1”, Morazán–Chalatenango, miembro “I” y Grupo Yojoa “Yo”, con un área dentro del municipio de 406.14 ha, el material geológico predominante son las capas rojas (conglomerado de cuarzo y caliza, areniscas, siltitas, lutitas), localmente vulcanitas intermedias intercaladas; Piroclastitas ácidas, ignimbritas, epiclastitas volcánicas, localmente efusivas ácidas intercaladas; calizas y calizas margosas; rocas intrusivas ácidas hasta intermedias, su edad es del mioceno, coeficiente de infiltración por textura igual a 0.93, con una recarga potencial de 1083.87 mm/año y una conductividad 0.955 m/día.

Zona de recarga San Juan de la cruz: Formaciones encontradas, Chalatenango, miembros “Ch1”y “Ch2”, Valle de ángeles, miembro “Va”, con un área dentro del municipio de 147.02 ha, predominando las rocas piroclastitas ácidas, ignimbritas, epiclastitas volcánicas, localmente efusivas ácidas intercaladas; Efusivas ácidas; piroclastitas ácidas subordinadas; Capas rojas (conglomerado de cuarzo y caliza, areniscas, siltitas, lutitas), localmente vulcanitas intermedias intercaladas, su edad es del mioceno, con un coeficiente de infiltración por textura de 0.20 y una recarga potencial 509.08 mm/año y una conductividad 0.030 m/día.

Zona de recarga acuífera Jocotán: Formaciones encontradas, Chalatenango, miembro “Ch1” y “Ch2”; Morazán, miembro “m2a”, con un área dentro del municipio de 296.78 ha, predominando las rocas, piroclastitas ácidas, ignimbritas, epiclastitas volcánicas, localmente efusivas ácidas intercaladas; Efusivas ácidas; piroclastitas ácidas subordinadas; piroclastitas Efusivas intermedias hasta intermedias- ácidas piroclastitas subordinadas (alteración regional por influencia hidrotermal), su edad es del mioceno, con un coeficiente de infiltración por textura de 0.84 y una recarga potencial 419.77 mm/año y una conductividad 0.008 m/día.

Zona de recarga Valle de Jesús: Formaciones encontradas, Chalatenango, miembro “Ch1”, Valle de ángeles, miembro “va”, con un área dentro del municipio de 53.42 ha, predominando

las rocas piroclastitas ácidas, ignimbritas, epiclastitas volcánicas, localmente efusivas ácidas intercaladas; capas rojas (conglomerado de cuarzo y caliza, areniscas, siltitas, lutitas), localmente vulcanitas intermedias intercaladas, su edad esta finales del mioceno e inicio del cretácico terciario, por tener el miembro “va”, con un coeficiente de infiltración por textura de 0.88 y una recarga potencial 309.38 mm/año y una conductividad 0.287 m/día.

Zona de recarga Jocote: Formaciones geológicas encontradas, Chalatenango, miembro “Ch1” y Morazán, miembro “m2a”, con un área dentro del municipio de 82.54 ha, predominando las rocas predominando piroclastitas ácidas, ignimbritas, epiclastitas volcánicas, localmente efusivas ácidas intercaladas y en menor proporción las piroclastitas efusivas intermedias hasta intermedias- ácidas piroclastitas subordinadas (alteración regional por influencia hidrotermal), con un coeficiente de infiltración por textura de 0.78 y una recarga potencial 245.83 mm/año y una conductividad 0.008 m/día.

Zona de recarga El Cerro N°1: Formaciones geológicas encontradas, Chalatenango, miembro “Ch1”y “Ch2”, con un área dentro del municipio de 92.41ha, piroclastitas ácidas, ignimbritas, epiclastitas volcánicas, localmente efusivas ácidas intercaladas; efusivas ácidas; piroclastitas ácidas subordinadas, con un coeficiente de infiltración por textura de 0.96 y una recarga potencial 232.77 mm/año y una conductividad 0.008 m/día.

Zona de recarga Los Llanitos N°2: Formaciones geológicas encontradas, Chalatenango, miembro “Ch1”y “Ch2”, con un área dentro del municipio de 177.05 ha, el materia geológico predominante son piroclastitas ácidas, ignimbritas, epiclastitas volcánicas, localmente efusivas ácidas intercaladas; efusivas ácidas; piroclastitas ácidas subordinadas, con un coeficiente de infiltración por textura de 0.83 y una recarga potencial 204.63 mm/año y una conductividad 0.089 m/día.

Zona de recarga El Cerro N°2: Formaciones geológicas encontradas, Chalatenango, miembro “Ch1”y “Ch2”, con un área dentro del municipio de 177.05 ha, el materia geológico predominante son piroclastitas ácidas, ignimbritas, epiclastitas volcánicas, localmente efusivas ácidas intercaladas; efusivas ácidas; piroclastitas ácidas subordinadas, con un coeficiente de infiltración por textura de 0.83 y una recarga potencial 204.63 mm/año y una conductividad 0.338 m/día.

Zona de recarga Los Mataras: Formaciones geológicas encontradas, Chalatenango, miembro “Ch1”y “Ch2”, con un área dentro del municipio de 33.93 ha, predominan las piroclastitas ácidas, ignimbritas, epiclastitas volcánicas, localmente efusivas ácidas intercaladas; efusivas ácidas; piroclastitas ácidas subordinadas, con un coeficiente de infiltración por textura de 0.89 y una recarga potencial 232.77 mm/año y una conductividad 0.008 m/día.

Zona de recarga Los Llanitos N°1: Formaciones geológicas encontradas, Chalatenango, miembro “Ch1”y “Ch2”, con un área dentro del municipio de 104.28 ha, las rocas predominante son piroclastitas ácidas, ignimbritas, epiclastitas volcánicas, localmente efusivas ácidas intercaladas; efusivas ácidas; piroclastitas ácidas subordinadas, con un coeficiente de infiltración por textura de 0.96 y una recarga potencial 150.1 mm/año y una conductividad 0.030 m/día.

Las formaciones que favorecen a la infiltración, se destacan en orden descendente: Valle de ángeles, miembro “va”, con una textura franca arenosa, Morazán–Chalatenango, miembro “I”, con textura franca arenosa, Grupo Yojoa “Yo”, con una textura franca arcillosa y Chalatenango, miembro “Ch1”, con textura arcillosa.

Cuadro. 11. Zonas de recarga potencial del municipio de San Fernando, Chalatenango, 2009.

<b>Zonas de Recarga</b>	<b>Recarga Potencial (mm/año)</b>	<b>Área de Recarga</b>		<b>Recarga Potencial (m<sup>3</sup>/año/ha)</b>
		<b>%</b>	<b>Ha</b>	
Jocotán	419.77	9	296.78	124,579.34
Los Llanitos No.1	150.1	3	104.28	15,652.42
Los Llanitos No.2	204.62	5	177.05	36,227.97
Valle de Jesús	309.38	1	53.42	16,527.08
Sumpul	1083.87	11	406.14	440,202.96
El Cerro No.1	232.77	3	92.41	21,510.28
Los Mataras	232.77	1	33.93	7,897.89
El Jocote	245.83	2	82.54	20,290.89
San Juan de la cruz	509.08	4	147.02	74,844.94
El Cerro No.2	204.62	1	38.04	7,783.74
<b>TOTAL</b>	<b>3,592.81</b>	<b>36%</b>	<b>1431.61</b>	<b>765,517.51</b>

Fuente: Elaboración propia.

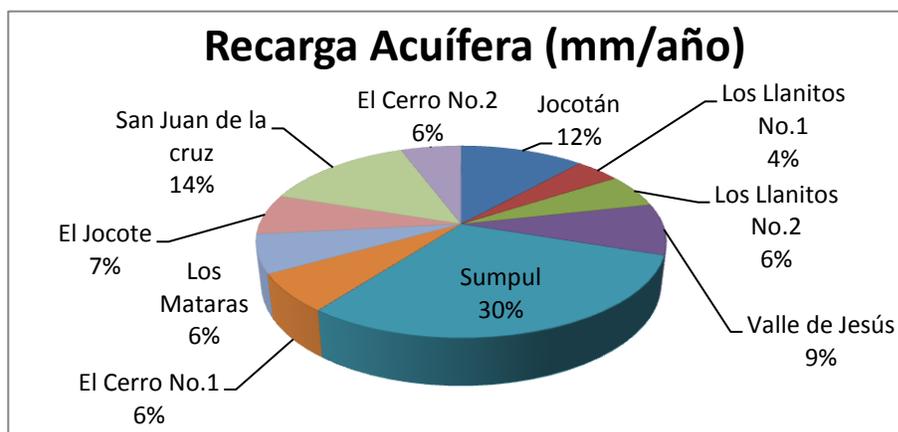


Figura. 20. Recarga acuífera potencial en mm/año del municipio de San Fernando, 2009.

La recarga acuífera potencial para el municipio de San Fernando, analizadas mediante el balance hídrico de suelo, propuesto por Gunther-Schosinsky (2000), es de 0.024 metros cúbicos por segundo, equivalente a 24.27 L/s.

#### 5.11. Comparación de recarga con el método Recarga Acuífera Subterránea

Los resultados con la metodología RAS, a una escala nacional, se compararon con los obtenidos en esta investigación, teniendo como resultados en el cuadro 12 y figura 20.

Cuadro. 12. Comparación de recarga acuífera subterránea y recarga potencial según Gunther Schosinsky.

Zonas de Recarga	Recarga Potencial (mm/año)	Recarga Acuífera Subterránea RAS (mm/año)
Jocotán	419.77	635
Los Llanitos No.1	150.1	465
Los Llanitos No.2	204.62	465
Valle de Jesús	309.38	363
Sumpul	1083.87	842
El Cerro No.1	232.77	210
Los Mataras	232.77	255
El Jocote	245.83	417
San Juan de la Cruz	509.08	380
El Cerro No.2	204.62	587
<b>TOTAL</b>	<b>3,592.81</b>	<b>4,619</b>

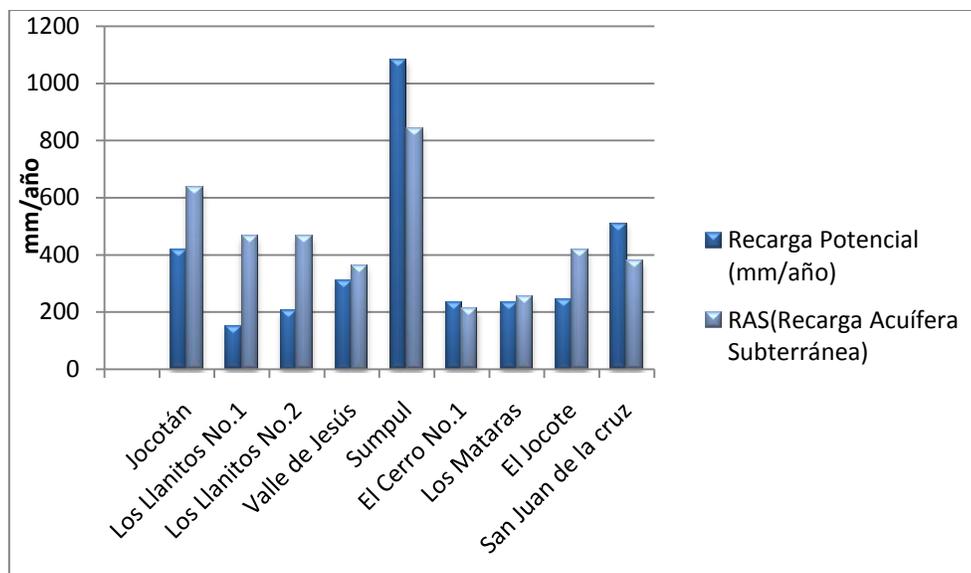


Figura. 21. Comparación de metodologías en recarga acuífera para el municipio de San Fernando.

Se puede ver que la zona de recarga Sumpul y San Juan de la Cruz, presentan recarga potencial, mayores a la metodología recarga acuífera subterránea, pero para las demás zonas con el balance hídrico de suelo, son superadas.

La comparación de los métodos demuestra que, al realizar investigaciones con la presente, se generan datos más reales y que se pueden tomar mejores acciones en protección de las zonas de recarga y saber con más exactitud la cantidad de agua que se está almacenando en los acuíferos.

### 5.12. Zona de protección mínima

La zona de protección del manantial, está enfocada a tomar acciones no en toda la zona de recarga sino una parte para que sea factible, y poder empezar lo más pronto posible las obras de conservación de suelo y agua, para preservar el recurso hídrico que posee el municipio (cuadro 13).

Cuadro. 13. Área mínima para tomar acciones en función de conservación del recurso hídrico.

Zona de Recarga	Recarga potencial mm/año	Área(ha) total	Caudal del manantial		Área(ha)(ZOP)
			Total	L/seg	
Jocotán	419.77	296.78	23	5.52	41.48
Los Llanitos No.1	150.1	104.28	4	1.85	38.88
Los Llanitos No.2	204.62	177.05	12	11.98	184.69
Valle de Jesús	309.38	53.42	2	1.04	10.6
Sumpul	1083.87	406.14	14	3.81	11.09
El Cerro No.1	232.77	92.41	8	2.6	35.24
Los Mataras	232.77	33.93	2	0.33	4.47
El Jocote	245.83	82.54	12	6.49	83.28
San Juan de la cruz	509.08	147.02	7	1.26	7.81
El Cerro No.2	204.62	38.04	1	0.75	11.56
Total		1431.61	86	35.63	429

Fuente: Elaboración propia

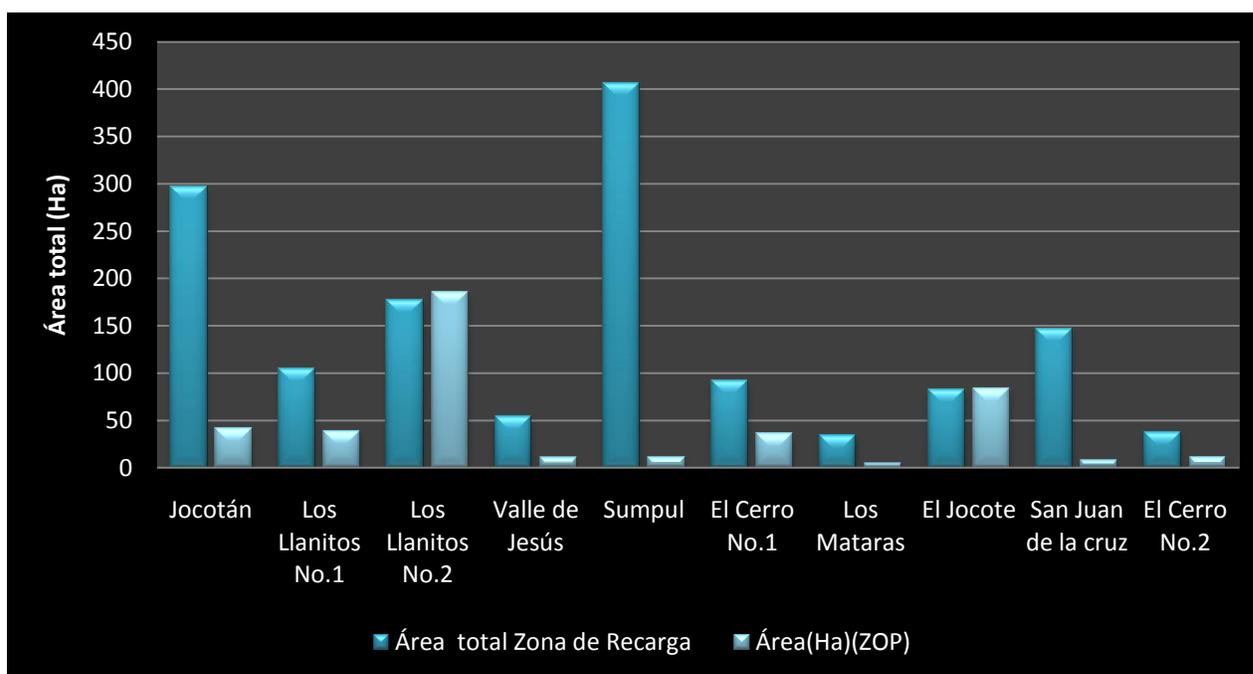


Figura. 22. Área mínima para tomar acciones en función de conservación del recurso hídrico del municipio de San Fernando.

De 1431.61 ha, se debe proteger de inmediato 429 ha, para mantener el recurso hídrico del municipio, distribuidas en todas las zonas de recarga de la siguiente forma: para Jocotán 41.48 ha, Los Llanitos No.1 de 38.88 ha, Los Llanitos No.2 184.69 ha, Valle de Jesús 10.60

ha, Sumpul 11.09 ha, El Cerro No.1 35.24 ha, Los Mataras 4.47 ha, El Jocote 83.28 ha, San Juan de la cruz 7.81 ha, El Cerro No.2 11.56 ha.

### 5.13. Potencial Hídrico

Se determina con rangos de caudales de cada manantial (se tiene que, mayores de 3 l/s, posee un alto potencial, de 1-3 l/s un potencial medio y menores de un l/s con bajo potencial).

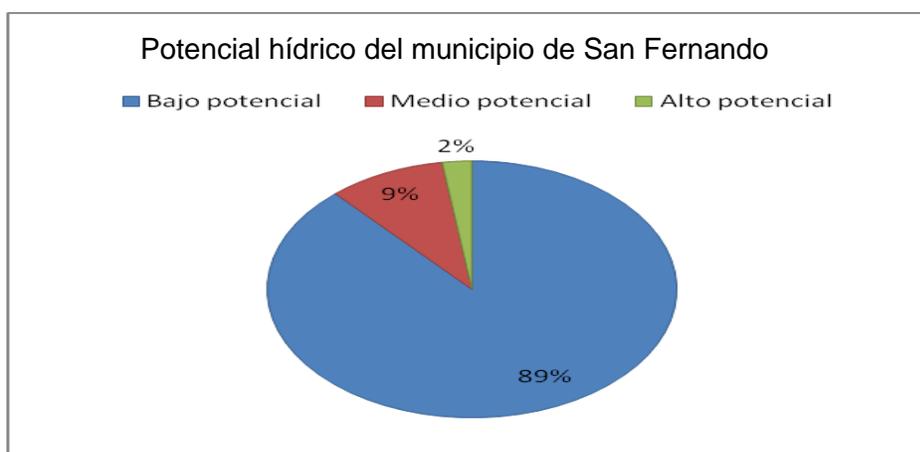


Figura. 23. Recarga potencial hídrico de los manantiales del municipio de San Fernando, Chalatenango.2009

#### 5.13.1. Caudales mayores de 3 litros por segundo considerados como alto potencial

Del monitoreo de los manantiales se encuentra 2 manantiales significando un 2% con un alto potencial presentando caudales mayores de 3 litros por segundo durante la época seca siendo estos los que abastecen a la población del municipio de San Fernando y el caserío el jocote del cantón de San Juan de la Cruz.

#### 5.13.2. Caudales de 1-3 litros por segundo considerados como medio potencial

De 86 manantiales, solo 8 que representa el 9% de los manantiales se encuentra en medio potencial, resultando principalmente los utilizados para satisfacer las necesidades básicas de la población del cantón de los llanitos y para usos de riego en la producción agropecuaria.

#### 5.13.3. Caudales menores de 1 litros por segundo considerados como bajo potencial

En la clasificación de bajo potencial, 79 manantiales, que representa el 89%, para diferentes usos, generalmente para satisfacer las necesidades básicas de la población, en algunos casos transportando por recipientes a sus hogares y en otras ocasiones introduciendo mangueras de polietileno desde el manantial, conduciendo hasta las parcelas agrícolas para

los cultivos y abrevadero para ganado y otros sin ningún uso, cuyas aguas son incorporadas en pequeños riachuelos o quebradas del lugar.

#### **5.14. Propuesta de lineamientos para el manejo de zonas de recarga acuífera.**

El análisis que se puede considerar para determinar una zona potencial de recarga es cuando existe un potencial de almacenamiento de agua en el suelo, en este caso la precipitación es muy alta con relación a la suma de la evapotranspiración y escorrentía superficial.

Para analizar la importancia de la zona de recarga, como territorio de gestión es importante definir el límite territorial, así como las características que posee, para impulsar el ordenamiento y su desarrollo (con enfoque de manejo de cuencas hidrográficas). Se parte del concepto de cuenca, que es una unidad natural hidrográfica, que al interrelacionar sus aspectos sociales y económicos están estrechamente relacionados con la gestión en la planificación. Las cuencas constituyen un área donde dependen e interactúan, en un proceso permanente y dinámico, el agua (recursos naturales) y bióticos (flora y fauna). Los cambios en el uso de los recursos naturales, como el uso de suelo, que pueden dar origen a la escorrentía superficial, modificando el ciclo hidrológico dentro de la cuenca.

Teniendo en cuenta todos los parámetros para mejorar, desde el punto de vista de ordenamiento territorial, considerando las áreas como un todo y que no tiene límite geográfico, sino más bien esta comunicada internamente con los flujos subterráneos, por lo tanto los lineamientos van enfocados a la mejora y la protección de la superficie, con obras de conservación de suelo y agua, que de alguna manera se mejoren las condiciones actuales de las zona identificadas como potencial de recarga acuífera del municipio de San Fernando.

La formas de protección de zonas de recarga acuífera, es necesario considerar los aspectos siguientes como: evitar los incendios forestales y en áreas para preparación de cultivos agrícolas, aprovechamiento forestal sin ningún control técnico y manejo de restablecimiento de nuevas plantaciones de acuerdo a el crecimiento de la biomasa, evitar el pastoreo y sobrepastoreo de ganado vacuno de forma extensiva, regular las áreas de producción en el uso de granos básicos y diseñando métodos de en obras de conservación de suelos y agua, establecer lineamientos de tipo legal como ordenanzas municipales, pago por servicios ambientales, establecer programas de manejo de fincas para diversificar y ser más

sostenibles y contribuir en el cambio del uso del suelo principalmente en las zonas de recarga acuífera, como referencia que es un manejo especial de acuerdo a diferentes parámetros de precipitación, evapotranspiración humedad relativa, temperatura media y coeficiente de pendiente (kp), coeficiente cobertura vegetal (kc), coeficiente de textura del suelo (kfc) Para definir áreas potenciales en base a el balance hídrico del lugar exclusivamente para protección de zonas de recarga acuífera.

El interés por mejorar la situación del municipio de San Fernando es a corto plazo a desarrollar, sobre la base de un diagnóstico actualizado, una propuesta de protección de acuíferos y manantiales potenciales en el territorio. A largo plazo el interés es desarrollar y concretar la planificación en el ámbito hídrico, los estudios de los diversos usos del agua y su protección sobre la unidad territorial específica (la subcuenca hidrográfica del río sumpul) como espacio síntesis entre el uso del suelo, la cobertura y la intervención humana.

Hay que destacar que un estudio más exhaustivo de protección de fuentes y acuíferos, este apartado es tener presente el concepto de vulnerabilidad ambiental, introduciendo esta cuestión lineamientos de protección de zonas de recarga acuífera, a desarrollarse por la unidad ambiental de la alcaldía del municipio de San Fernando, y los miembros de las juntas de agua o líderes de las comunidades desde un inicio, teniendo como objetivo último la protección de la subcuenca del río sumpul y la definición de zonas de protección ambiental.

En este documento se plantea desarrollar proyectos de reforestación de las laderas a los manantiales proyectados como futuras captaciones de sistemas de abastecimiento propuestos. Se proyecta reforestar y proteger los manantiales (equivalentes a 30m<sup>2</sup>). Los resultados que se esperan con esta primera actuación son mantener la cantidad y calidad del agua de las fuentes de abastecimiento de las comunidades.

Estudiando las áreas en las que se deben efectuar obras de conservación y protección se vio que sus características en lo concerniente a pendiente, suelo, cobertura vegetal y condiciones agroclimáticas, que son los factores principales para determinar el tipo y densidad de obras de conservación de suelo y agua que se deben realizar, son similares. Por este motivo se ha diseñado un modelo tipo de acciones a realizar en las áreas de protección y conservación de manantiales. Es un modelo general que se ha diseñado tomando como base un área de 30m<sup>2</sup>. La mejor ubicación de las barreras y acequias deberá determinarse en cada terreno en particular. A continuación se explica este modelo tipo y las características y beneficios de las acciones propuestas.

Cuadro. 14. Caracterización general de las zonas de recarga acuífera, en el municipio de San Fernando, Chalatenango (A-41).

ASPECTOS BIOFÍSICOS					ASPECTOS SOCIOECONÓMICOS			
<i>Zona de Recarga Acuífera</i>	<i>Uso Actual del Suelo</i>	<i>Formación Geológica Litología</i>	<i>Recarga Potencial (mm/año)</i>	<i>Área (Ha)</i>	<i>Prácticas y obras de conservación de suelo y agua</i>	<i>Cantón/ Comunidad</i>	<i>Población Beneficiada (Habitantes)</i>	<i>Actividad Productiva</i>
Jocotán	Forestales principalmente pinos y liquidámbar, frutales y café	Chalatenango (Ch1) Piroclastitas ácidas, ignimbritas, epiclastitas volcánicas, localmente efusivas ácidas intercaladas; Chalatenango (Ch2) Efusivas ácidas; piroclastitas ácidas subordinadas; Morazán (m2a) Piroclastitas Efusivas intermedias hasta intermedias- ácidas piroclastitas subordinadas (alteración regional por influencia hidrotermal)	419.77	296.78	Curvas de nivel. Acequias y zanjas de infiltración, barreras vivas, diques de retención y sistemas agroforestales	Jocotán	40	Presencia mayormente de bosques predominando especies de liquidámbar, pinos, robles, cultivos de café, granos básicos de subsistencia, floristería.
Los Llanitos No. 1	Cultivos agrícolas, hortalizas, forestales de pinos, liquidámbar, y café	Chalatenango (Ch1) Piroclastitas ácidas, ignimbritas, epiclastitas volcánicas, localmente efusivas ácidas intercaladas; Chalatenango (Ch2) Efusivas ácidas; piroclastitas ácidas subordinadas.	150.1	104.28	Cultivos en franjas, barreras vivas y sistemas agroforestales	Los Llanitos, Valle de Jesús y caceríos Los Alvares y Rodríguez	665	Forestales pinos y robles, cultivo de café, cultivos hortícolas a gran escala bajo riego, granos básicos de subsistencia, pastizales para ganado vacuno.
Los Llanitos No.2	Cultivos agrícolas, hortalizas, forestales de pinos, liquidámbar, robles y café, ganadería	Chalatenango (Ch1) Piroclastitas ácidas, ignimbritas, epiclastitas volcánicas, localmente efusivas ácidas intercaladas; Chalatenango (Ch2) Efusivas ácidas; piroclastitas ácidas subordinadas.	204.62	177.05	Cultivos en franjas, barreras vivas y sistemas agroforestales	Los Llanitos	322	Forestales pinos y robles, cultivo de café, cultivos hortícolas a gran escala bajo riego, granos básicos de subsistencia, pastizales para ganado vacuno de forma extensiva.
Valle de Jesús	Zona de café, cultivos agrícolas y ganadería	Chalatenango (Ch1) Piroclastitas ácidas, ignimbritas, epiclastitas volcánicas, localmente efusivas ácidas intercaladas; Valle de ángeles (Va) Capas rojas (conglomerado de cuarzo y caliza, areniscas, siltitas, lutitas), localmente vulcanitas intermedias intercaladas.	309.38	53.42	Pastoreo y manejo de pastos Rotación de cultivos	Valle de Jesús	582	Sistemas de producción extensivos de cultivo de café, producción agrícola, pastizales para ganado vacuno.

Sumpul	Zona de cultivos agrícolas y café, ganadería	Valle de ángeles (Va) Capas rojas (conglomerado de cuarzo y caliza, areniscas, siltitas, lutitas), localmente vulcanitas intermedias intercaladas; Chalatenango (Ch1) Piroclastitas ácidas, ignimbritas, epiclastitas volcánicas, localmente efusivas ácidas intercaladas; Grupo Yojoa (Yo) Calizas y calizas margosas con una intercalación de capas rojas (capas rojas mapeadas como ts); Morazán - Chalatenango (I) Rocas intrusivas ácidas hasta intermedias.	1083.87	406.14	Rotación de cultivos, Cultivos perennes	San Fernando	10	Sistemas agroforestales, sistemas de producción extensivos de cultivo de café, producción agrícola, pastizales para ganado vacuno.
El Cerro No.1	Zona de cultivos agrícolas y ganadería pequeñas parcelas de producción de frutas	Chalatenango (Ch1) Piroclastitas ácidas, ignimbritas, epiclastitas volcánicas, localmente efusivas ácidas intercaladas; Chalatenango (Ch2) Efusivas ácidas; piroclastitas ácidas subordinadas;	232.77	92.41	Pastoreo y manejo de pastos Rotación de cultivos, terrazas anchas de absorción	Nuevo San Fernando, cantón El Cerro	308	sistemas agroforestales de coníferas, robles, sistemas de producción extensivos de cultivo de café, producción agrícola, pastizales para ganado vacuno.
Los Mataras	Zona de pastizales para ganado, cultivos agrícolas y sistemas agroforestales	Chalatenango (Ch1) Piroclastitas ácidas, ignimbritas, epiclastitas volcánicas, localmente efusivas ácidas intercaladas; Chalatenango (Ch2) Efusivas ácidas; piroclastitas ácidas subordinadas;	232.77	33.93	Pastoreo y manejo de pastos, Rotación de cultivos, sistemas agroforestales	Los Llanitos, caserío los Matarás	10	presencia mayormente de bosques predominando especies de pinos, robles, chaparros, cultivos agrícolas de subsistencia, pastizales de ganado vacuno.
El Jocote	Zona de cultivos agrícolas extensivos	Chalatenango (Ch1) Piroclastitas ácidas, ignimbritas, epiclastitas volcánicas, localmente efusivas ácidas intercaladas; Morazán (m2a)Piroclastitas Efusivas intermedias hasta intermedias- ácidas piroclastitas subordinadas (alteración regional por influencia hidrotermal)	245.83	82.54	Rotación de cultivos, Curvas de nivel, acequias y zanjas de infiltración, barreras vivas y muertas, diques de retención	San Juan de la Cruz, cantón el Jocote	183	sistemas de producción extensivos de cultivos agrícolas, sistemas agroforestales, pastizales para ganado vacuno.

San Juan de la Cruz	Zona de cultivos agrícolas, y ganadería, forestales de roble	Chalatenango (Ch1) Piroclastitas ácidas, ignimbritas, epiclastitas volcánicas, localmente efusivas ácidas intercaladas; Chalatenango (Ch2) Efusivas ácidas; piroclastitas ácidas subordinadas; Valle de ángeles (Va) Capas rojas (conglomerado de cuarzo y caliza, areniscas, siltitas, lutitas), localmente vulcanitas intermedias intercaladas.	509.08	147.02	Pastoreo y manejo de pastos Rotación de cultivos, curvas de nivel, acequias y zanjas de infiltración, barreras vivas y muertas , diques de retención	San Juan de la Cruz	10	sistemas de producción extensivos de cultivos agrícolas, sistemas agroforestales, pastizales para ganado vacuno.
El Cerro No.2	Zona de cultivos agrícolas y ganadería, café	Chalatenango (Ch1) Piroclastitas ácidas, ignimbritas, epiclastitas volcánicas, localmente efusivas ácidas intercaladas;	204.62	38.04	Pastoreo y manejo de pastos Rotación de cultivos	Nuevo San Fernando, cantón El Cerro	5	sistemas de producción extensivos de cultivos agrícolas, pequeños productores de fruta y hortícolas, cultivo de café, sistemas agroforestales, pastizales para ganado vacuno.
<b>Observaciones Generales</b>	Por sus características propias del lugar de manejo y sistemas de producción agrícola de forma tradicional y presentar condiciones de topografía con pendientes fuertemente pronunciadas y vegetación de forestales significativas en zonas dispersas es recomendable establecer obras de conservación de suelos y agua para proteger las zonas de recarga acuífera y establecer un plan de manejo en gestión de cuencas hidrográficas del río sumpul de forma integral. A través de la unidad ambiental de la alcaldía municipal realizar capacitaciones junto con las diferentes juntas de agua de las comunidades y así lograr coordinar acciones de beneficio para el manejo de los recursos naturales.							

Fuente: Elaboración propia

La gestión de recursos hidrológico es equivalente a la gestión de conflictos entre seres humanos y de éstos con el entorno. En este sentido, las normas de manejo forestal, bajo el concepto de ordenación de un territorio, se crean para evitar dichos conflictos, prevenirlos y solucionarlos. El ser humano debe aprender a vivir con estos conflictos y enfrentarlos adecuadamente, sabiendo además que la escasez relativa de agua y recursos naturales se incrementará constantemente con el tiempo, producto del crecimiento económico, demandas sociales y cambios climáticos.

La estructura de los suelos en combinación con la ausencia de un uso intensivo, condiciona altas capacidades de infiltración. En este sentido, aún durante precipitaciones de intensidad extrema, toda o la mayoría del agua infiltra al suelo, la escorrentía superficial ocurre sólo en áreas cercanas a los cauces (zonas de ribera) y durante eventos de precipitación prolongados. Así pues, las áreas cercanas a los ríos son las de mayor potencial para aportar sedimentos a los ríos. Por otro lado, el manejo y cuidado especial de estas áreas puede absorber o anular los impactos negativos, principalmente sedimentación de cuerpos de agua, ocasionados por el uso agrícola del suelo, intervenciones silviculturas u operaciones forestales en zonas más alejadas, o minimizarlo a un nivel aceptable.

Fomentar una adecuada protección al suelo, y garantizar una alta calidad de agua y estabilización del flujo superficial y subsuperficial, se han establecido criterios técnicos para aplicarlos en la elaboración y aprobación de planes de manejo de zonas de recarga acuífera. El objetivo principal de la aplicación de esta normativa es definir y homogenizar criterios mínimos de sostenibilidad en el manejo, con énfasis en la conservación de suelo y agua. En este sentido, es necesario definir zonas de protección alrededor de los cuerpos de agua y, en forma complementaria, definir directrices de manejo forestal fuera de esta zona de protección, a nivel de subcuenca hidrográfica.

A los suelos latosoles se recomiendan las siguientes medidas de prevención: Evitar quemas especialmente al final de la estación seca, evitar el asoleamiento directo del suelo con cultivos de sombra, utilizar mulch (sácate seco) o restos de cosecha para proteger el suelo, alternar fajas de leguminosas con los cultivos.

## 6. CONCLUSIONES

1. La formación Chalatenango, miembro Ch2, presentando mayor potencial hídrico del 42%, equivale a 0.018 metros cúbicos por segundo.
2. La zona potencial de recarga acuífera que presenta mejores resultados, es Sumpul con 1083.87 mm/año y con un área de 406.14 ha, la cual formaciones: Chalatenango, miembro Ch1 y Ch2, Morazán-Chalatenango, miembro I.
3. El municipio de San Fernando presenta con cobertura vegetal bajo condiciones de protección de flora y fauna, topografía inclinada y abundancia de manantiales (86) que durante la época seca mantienen el caudal total 40.65 litros por segundo, y que satisface las necesidades básicas de la población
4. Las principales actividades del municipio que generan ingresos familiares son la producción de granos básicos bajo riego, cultivos hortícolas y producción de café con pequeños productores y actividades relacionadas con la producción de ganado vacuno.
5. La distribución de suministro de agua potable para la población urbana y rural tiene una amplia cobertura, en su mayoría son administrados por juntas de agua y la alcaldía municipal, registrándose compensaciones de bajo costo en el servicio por la razón que la distribución es por la acción de la gravedad.
6. Las acciones para la protección de zonas de recarga acuífera, están diseñadas de tal manera que se puedan ejecutar a través de la unidad ambiental de la alcaldía municipal y los actores locales de cada comunidad para garantizar la existencia del vital líquido para las presentes y futuras generaciones.
7. En cuanto a la comparación de las zonas potenciales de recarga acuífera analizadas con la metodología del balance hídrico de suelo, propuesto por Gunther Schosinsky en el año 2000, realizado en esta investigación, y el método de recarga acuífera subterránea elaborada por Junker en el año 2005, establece una diferencia significativa, teniendo resultados de recarga 4,619 mm/año, por ser a una escala nacional, lo contrario del primer método que se realizó a una un nivel local, y los resultados fueron de recarga potencial en 3,592 mm/años, por lo tanto la investigación con más profundidad, se tendrán datos confiables.

8. El uso de tecnologías en software como el SIG y GPS, son herramientas que facilitan el análisis e interpretación de los recursos naturales para generar información técnica valiosa, en la toma de decisiones por parte de los administradores y planificadores del territorio.

## 7. RECOMENDACIONES

1. Desarrollar trabajos de investigación relacionados con cuantificación del consumo por familias tanto para área rural y urbana para diseñar e implementar acciones, orientadas a lograr un uso eficiente del recurso.
2. Para satisfacer necesidades hídricas de los cultivos de subsistencia para las familias del lugar, es necesario brindar programas que garanticen buen control de los regadíos en forma eficiente e implementación de técnicas de conservación de suelos y agua en zonas productivas agrícolas.
3. Las autoridades del municipio de San Fernando, deben gestionar apoyo técnico y económico para fortalecer su papel como administradores del territorio y el manejo de las zonas potenciales de recarga acuífera identificadas y de los recursos naturales en general, tomando de base los resultados de esta investigación, desarrollar eventos de capacitación
4. Para garantizar la existencia del recurso hídrico es necesario proteger las fuentes de agua (manantial) un área de 30X30m, como mínimo, partiendo desde el centro
5. En relación a las zonas con atractivo turístico, se recomienda elaborar planes de manejo con participación ciudadana, promoviendo el agro ecoturismo y fomentando la educación ambiental para preservar las áreas con cobertura vegetal y las zonas de recarga acuífera potencial.
6. Desarrollar investigación orientadas a generar mecanismos de pago compensación por servicios ambientales, especialmente en las áreas o zonas con mayor potencial de recarga acuífera.
7. Se debe monitorear periódicamente con la ayuda de imágenes de satélites actualizadas, fotogrametría y teledetección con sensores remotos, para detectar cambios en la cobertura y uso del suelo en las zonas de recarga potencial.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

Alemán Alvares, LA; Gil Urrutia, LB. 2003. Desarrollo e implementación de un sistema de información hidrogeológico para la zona de acuífero Ahuachapán- Atiquizaya. Trabajo de graduación para optar al grado de Ingeniero Civil en la Universidad Centroamericana “José Simón Cañas”, San Salvador, El Salvador.

Argueta Platero, AA; Martínez Romero, JA; 2008. El método “RAS” y su aplicación en la estimación de la recarga acuífera subterránea potencial del municipio de la Palma, Chalatenango. Tesis. Ing. Agronómica. Facultad de Ciencias Agronómicas. Universidad de El Salvador.

Blyth, FGH; De Freitas, MH. 1989. Geología para ingeniero. 6ª Reimpresión. Compañía Editorial Continental. México.

Brinker RC, Wolf PR. 2000. Topografía. 9ª Edición. Alfaomega, Santafé de Bogotá, Co.

Citizen Science. 2008. Prueba de la velocidad de infiltración del agua. Consultado el 4 de febrero de 2008. Disponible en [www.oznet.k-state.edu/kswater/field\\_infiltration\\_rate\\_SPan.htm](http://www.oznet.k-state.edu/kswater/field_infiltration_rate_SPan.htm)

Duarte, JR. 1998. Estudio hidrogeológico del acuífero de Galuchaba. Tesis Ing. Civil. Facultad de Ingeniería y Arquitectura. Universidad Centro Americana “José Simeón Cañas”.

Fernando, R. E.; et al. 2004. Infiltración de aguas en el Suelo. (en línea). Consultado 15 jul. 2010. Disponible [www.unne.edu.ar/Web/cyt/com2004/5-Agrarias/A-070.pdf](http://www.unne.edu.ar/Web/cyt/com2004/5-Agrarias/A-070.pdf)

FORGAES (Fortalecimiento de la Gestión Ambiental de El Salvador) .2005. Método para zonificaciones de protección de fuentes de agua (ZOP). FORGAES. El Salvador. p.50- 55

Gurovich R. Luis R. 1999. Riego Superficial Tecnificado. 2ª Edición Alfaomega, México D.F. pp.68-69, 138-139.

Hernández, MA. 2006. Sistemas de Información Geográfica (Datos Geográficos e Información Geográfica). San Salvador, SV, Universidad de El Salvador.

Imágenes Satelitales Landsat. 2008. Sensor multiespectral radiométrico. Consultado el 15 de junio de 2008. Disponible en [www.imagenesgeograficas.com/Landsat.html](http://www.imagenesgeograficas.com/Landsat.html).

Instituto Geográfico Nacional. 2002. “Ing. Pablo Arnoldo Guzmán” Monografía del

Departamento y municipio de Chalatenango. Centro Nacional de Registros. Pg. 188-195

INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria NI). 2005. Evapotranspiración. Consultado 28 de febrero de 2008. Disponible en [www.evapotranspiracion.org.ar/conceptos/significado.htm](http://www.evapotranspiracion.org.ar/conceptos/significado.htm)

Jiménez, F. 2006. Balance Hídrico SAF 2005. CATIE. (Centro Agronómico tropical de Investigación y Enseñanza). Turrialba, Costa Rica.

Jiménez, F. 2005. Evapotranspiración. CATIE (Centro Agronómico tropical de Investigación y Enseñanza CR). Turrialba, CR.

Jiménez, F. 2005. Metodologías de investigación en Sistemas Agroforestales. Medición de los componentes del Balance hídrico. CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza CR). Turrialba, CR.

Junker, M. 2005. Metodología RAS para determinar la recarga de agua subterránea. FORGAES. Fortalecimiento de la gestión ambiental en El Salvador.

Mata Zelaya, RA. 2004. Comportamiento de flujo subterráneo dentro del complejo volcánico balsamo, Región hidrográfica ``E``. Tesis Ing. Civil. Facultad de Ingeniería y Arquitectura. Universidad Centro Americana ``José Simeón Cañas``

Mott Robert L. 2006. Mecánica de fluidos. 6ª Edición Pearson Educación, México D.F. pág. 626

Ruiz Vázquez, M; González Huesca, S. 2001. Geología aplicada a la ingeniería civil. 2ª Reimpresión. Editorial Limusa. Noriega Editores. Balderas, México, D.F.

Rucks, L.; et al. 2004. Propiedades físicas del suelo (en línea). Consultado 15 jul. 2010. Disponible en [www.fagro.edu.uy/~edafologia/curso/Material%20de%20lectura/FISICAS/fisicas.pdf](http://www.fagro.edu.uy/~edafologia/curso/Material%20de%20lectura/FISICAS/fisicas.pdf)

Schosinsky N, GE. 2000. Modelo analítico para determinar la infiltración con base a la lluvia mensual. Revista Geológica de América Central.

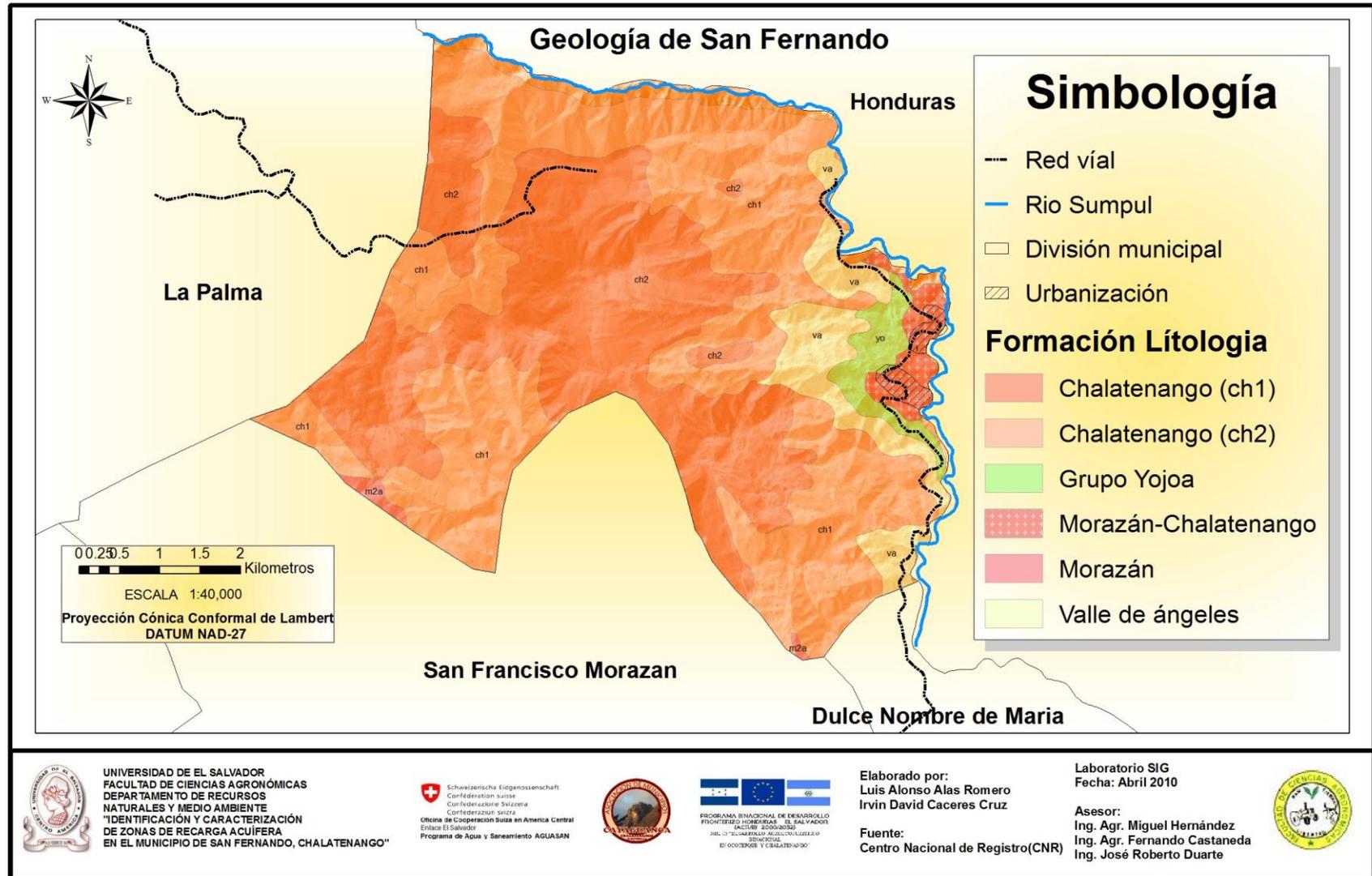
SNET (Servicio Nacional de Estudios Territoriales). 2005. Balance Hídrico Integrado y Dinámico en El Salvador. Consultado 10 de febr. 2008. Disponible en [www.snet.gob.sv/Documentos/balanceHidrico.pdf](http://www.snet.gob.sv/Documentos/balanceHidrico.pdf)

Ven Te Chow. 1994. Hidrología Aplicada, McGraw-Hill Interamericana, Santafé de Bogotá, Co.

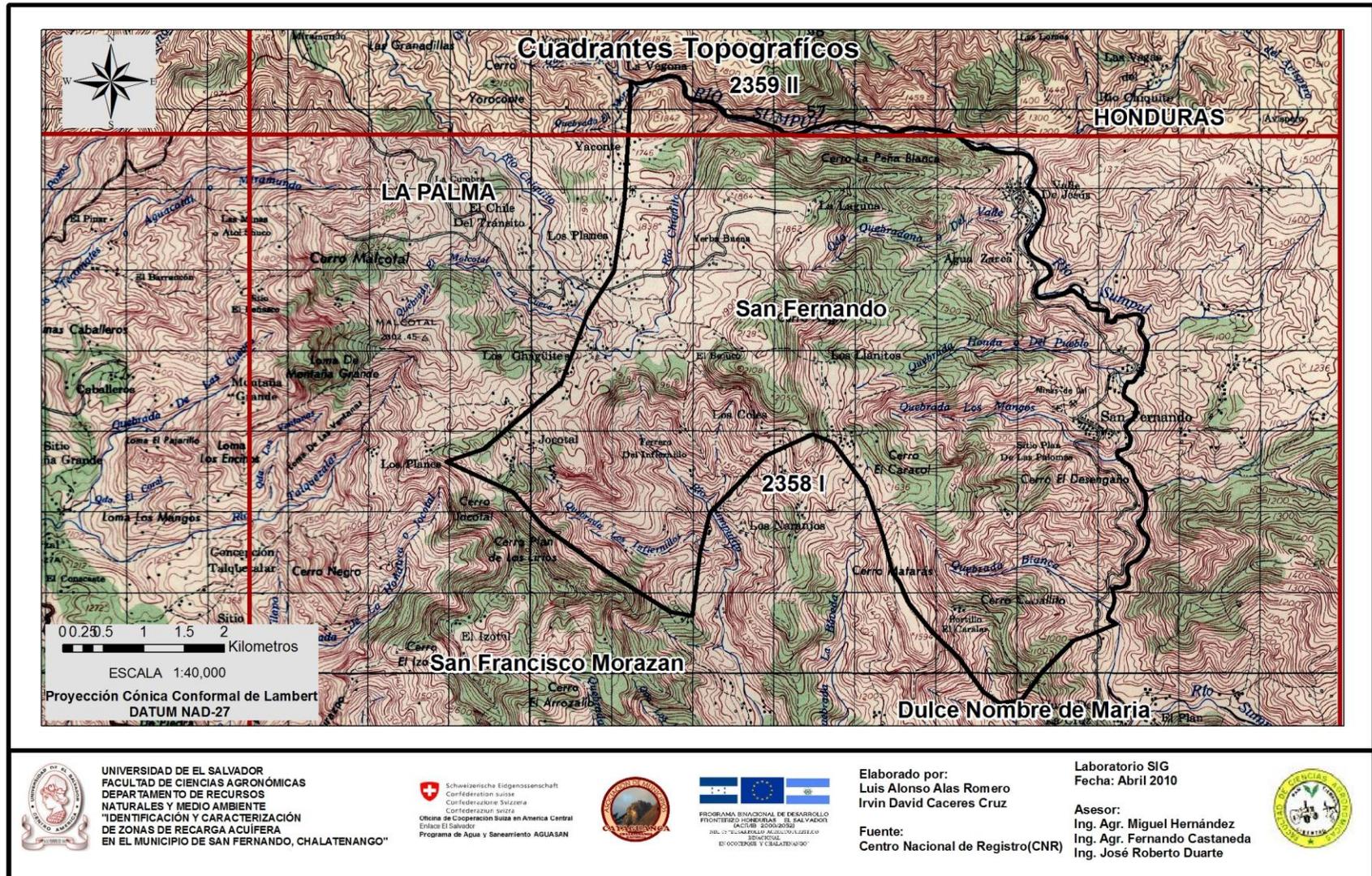
Wicander, R; Monroe, JS. 1999. Fundamento de Geología. 2ª Edición International Thomson Editores. México, D.F.

## 9. ANEXOS

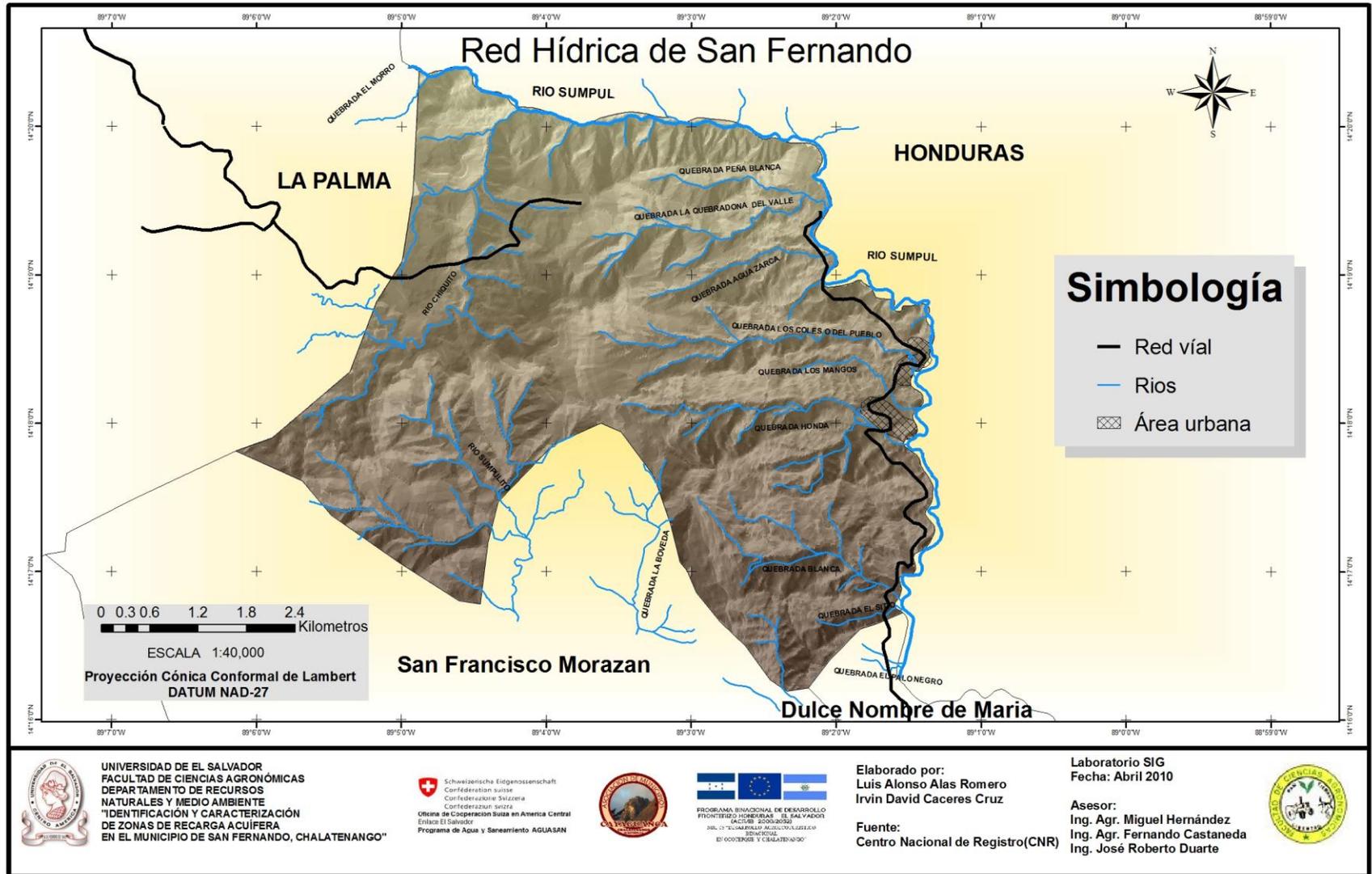
Anexo 1: Mapa geológico del municipio de San Fernando, Chalatenango, 2009



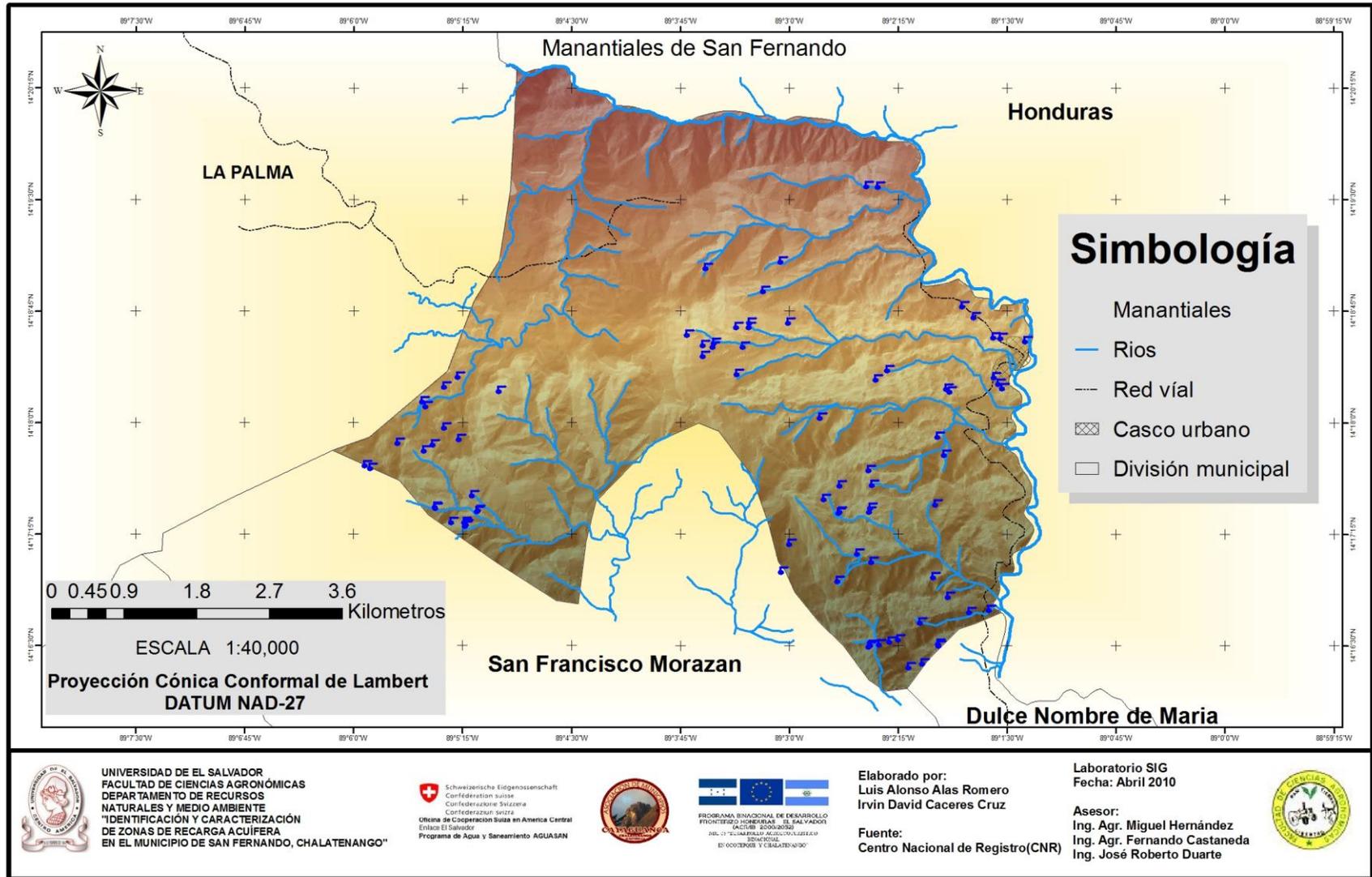
Anexo 2: Mapa de cuadrantes topográfico del municipio de San Fernando, Chalatenango, 2009.



Anexo 3: Mapa red hídrica del municipio de San Fernando, Chalatenango, 2009



Anexo 4: Mapa de manantiales del municipio de San Fernando, Chalatenango, 2009



## Anexo 5: Monitoreo del Recurso Hídrico (manantiales) del municipio de San Fernando, Chalatenango

Comunidad	X	Y	Nombre de la Manantial	Caudal	Tipo de Usos	Estructura Protección de la Fuente	¿Tiene cobertura forestal?	Nombre de la Población Beneficiada	Número de Población Beneficiada
Jocotán	487902.92	351278.64	Quebrada el limón	0.024	Sin uso	No	Si		0
Jocotán	487911.9	351266.35	Finca vieja	0.047	Riego(maíz,frijol, tomate)	No	Si	Jocotán	0
Jocotán	488106.65	351094.16	Finca vieja	0.305	Riego(maíz, frijol, tomate)	No	Si	Jocotán	0
Jocotán	488277.47	351041.83	El honduritas	0.064	Riego(maíz ,frijol, tomate)	No	Si	Jocotán	0
Jocotán	488274.49	351087.93	El honduritas	0.052	Usos domésticos	No	Si	Jocotán	5
Jocotán	488292.47	351063.34	El honduritas	0.04	Usos domésticos	No	Si	Jocotán	5
Jocotán	488424.42	351229.23	Sr Salome	0.054	Riego(maíz, frijol, tomate)	No	Si	Jocotán	0
Jocotán	488424.42	351229.23	Sr Salome	0.053	Sin uso	No	Si		0
Jocotán	488442.41	351241.52	Sr Salome	0.113	Sin uso	No	Si		0
Jocotán	488367.56	351425.95	EL sauce	0.087	Usos domésticos	No	Si	Jocotán	5
Jocotán	487768.37	351979.41	Liquidámbar	0.133	Sin uso	No	Si		0
Jocotán	487882.3	352053.12	Finca la Cándida	0.03	Usos domésticos	No	Si	Jocotán	5
Jocotán	488020.27	352265.11	Machuca	0.011	Usos domésticos	No	Si	Jocotán	5
Jocotán	488020.5	352772.19	Jocotán	0.239	Usos domésticos	No	Si	Jocotán	5
Jocotán	488203.03	352123.65	Jocotán	0.038	Riego(maíz ,frijol, tomate)	No	Si	Jocotán	0
Jocotán	488191.39	352895.05	La rosa	0.602	Usos domésticos	No	Si	Jocotán	5
Jocotán	488395.63	353869.18	El cedro	0.164	Usos domésticos	No	Si	Jocotán	5
Jocotán	488437.56	353810.77	Jocotán	0.147	Sin uso	No	Si		0
Jocotán	488700.82	352716.57	El cipresal	0.166	Sin uso	No	Si		0
Jocotán	489291.12	352393.63	Floristería	1.299	Riego(vivero de rosas)	Si	Si	Jocotán	0
Jocotán	489366.05	352381.3	Floristería	1.429	Riego(vivero de rosas)	Si	Si	Jocotán	0
Jocotán	489773.8	352731.49	Sr Alejandro	0.408	Sin uso	No	Si		0
Jocotán	489773.8	352731.49	Los coles	0.017	Sin uso	No	Si		0
Los Llanitos	493972.98	353587.62	Jaboncillo	0.926	Riego(maíz ,frijol, tomate)	No	Si	Los Llanitos	0
Los Llanitos	493550.45	353812.07	Sr Carlos Ariaga	2.604	Usos domésticos de San Fernando	Si	Si	San Fernando	322
Los Llanitos	493355.71	354076.42	Peña del gato	0.274	Riego(maíz, frijol, tomate)	No	Si	Los Llanitos	0
Los Llanitos	493556.48	353944.22	Sr Carlos Ariaga	1.202	Riego(maíz, frijol, tomate)	No	Si	Los Llanitos	0
Los Llanitos	493676.35	353925.75	Sr Ángel Maldonado	0.131	Riego(maíz, frijol, tomate)	No	Si	Los Llanitos	0
Los Llanitos	493676.35	353925.75	Nacimiento Llanitos #1	1.493	Usos domésticos	Si	Si	Los Llanitos	321
Los Llanitos	493688.35	353971.84	Nacimiento Llanitos #2	1.799	Usos domésticos	Si	Si	Los Llanitos	321
Los Llanitos	494044.98	353925.66	Sr Ramón Santamaría	2.381	Riego(maíz ,frijol, tomate)	No	Si	Los Llanitos	0
Los Llanitos	494611.48	354226.72	Caserío	0.382	Sin uso	No	Si		0

Los Llanitos	493967.12	354168.47	Sr Ernesto Cartagena	0.268	Riego(maíz, frijol, tomate)	No	Si	Los Llanitos	0
Los Llanitos	494122.96	354168.43	Sr Armando Cartagena	0.387	Usos domésticos	No	Si	Los Llanitos	5
Los Llanitos	494128.97	354223.75	Sr Ramón Santamaría	0.143	Riego y uso domestico	No	Si	Los Llanitos	5
Los Llanitos	493586.68	354903.07	Nacimiento la Joyona #1	0.419	Usos domésticos valle de Jesús	No	Si	Valle de Jesús	582
Los Llanitos	493586.68	354903.07	Nacimiento la Joyona #2	0.769	Usos domésticos valle de Jesús	No	Si	Valle de Jesús	582
Los Llanitos	494515.73	354979.69	Sr José León Álvarez	0.444	Usos domésticos Caserío los Álvarez	No	Si	caserío Los Álvarez	54
Los Llanitos	494296.88	354617.09	Sr Adrian Rodríguez	0.223	Usos domésticos Caserío Rodríguez	No	Si	Caserío Los Rodríguez	29
San Fernando Nuevo	495003.85	353043.43	Sr Cristóbal Cartagena	4.896	Usos domésticos	No	Si	Nuevo San Fernando	308
San Fernando Nuevo	496607.34	353372.01	Sr Joel León	0.595	Usos domésticos	No	Si	Sr. Joel León	5
San Fernando Nuevo	496565.38	353402.75	Sr Joel León	0.439	Ganadería	No	Si	San Fernando Nuevo	5
Valle de Jesús	495723.62	355907.6	Directiva de señoras	0.1	Sin uso	No	Si		0
Valle de Jesús	495576.78	355919.91	Sra. Marcela Pineda de Valle	0.945	Ganadería	No	Si	San Fernando Nuevo	0
Cerro el Caracol	495606.15	352394.86	Sra. Ángela Alvarenga	0.356	Usos domésticos	No	Si	Sra. Ángela Alvarenga	5
Cerro el Caracol	495249.46	352207.46	Sr Miguel Mejía	0.4	Ganadería	No	Si	Cerro el Caracol	0
Cerro el Caracol	495048.61	352038.47	Sr Miguel Mejía	0.237	Usos domésticos	No	Si	Cerro el Caracol	5
Cerro el Caracol	495234.41	351866.33	Sr Miguel Mejía	0.964	Ganadería	No	Si	Cerro el Caracol	0
Cerro el Caracol	495246.4	351878.62	Sr Miguel Mejía	0.266	Ganadería	No	Si	Cerro el Caracol	0
Cerro el Caracol	495624.06	351927.72	Sr Juan León	0.18	Ganadería	No	Si	Cerro el Caracol	0
Cerro el Caracol	495648.08	352213.53	Sra. Ángela Alvarenga	0.17	Sin uso	No	Si		0
Valle de Jesús	496907.15	354293.96	Sr Rodolfo Álvarez	0.123	Ganadería	No	Si	Cerro el Caracol	0
Valle de Jesús	496763.31	354426.12	Sr Rodolfo Álvarez	0.008	Sin uso	No	Si		0
Valle de Jesús	497236.79	354032.69	Sr Emilio Santos Moreno	0.058	Ganadería	No	Si	Cerro el Caracol	0
San Fernando	497542.48	353992.71	Sr Nelson Moreno	0.025	Sin uso	No	Si		0
San Juan de la Cruz	499145.67	348331.67	Sr Silverio Cortez	3.765	Usos domésticos	No	Si	San Juan de la cruz	173
San Juan de la Cruz	499994	348488.39	Sr Cruz Ortega	0.103	Ganadería	No	Si	caserío el Jocote	0
San Juan de la Cruz	499751.2	348460.73	Sr Cruz Ortega	0.008	Ganadería	No	Si	caserío el Jocote	0
San Juan de la Cruz	499490.41	348651.28	Sra. Sara Cortez	0.123	Usos domésticos	No	Si	caserío el Jocote	5

Cruz									
San Juan de la Cruz	499307.56	348894.07	Sr Tomas Orlando Cortez	0.245	Sin uso	No	Si		0
San Juan de la Cruz	498540.19	349081.57	Sr Ángel Cortez	0.05	Usos domésticos	No	Si	caserío el Jocote	5
San Juan de la Cruz	498366.34	349182.99	Sr Armando Brizuela	0.026	Ganadería	No	Si	caserío el Jocote	0
San Juan de la Cruz	497419.02	348153.54	Sr Juan Quijada Alberto	0.06	Ganadería	No	Si	caserío el Jocote	0
San Juan de la Cruz	497652.81	347833.9	Sr Elías Alvarenga	1.818	Usos domésticos	No	Si	San Juan de la Cruz	5
San Juan de la Cruz	497526.94	348178.11	Sr Vicente Orellana	0.008	Sin uso	No	Si		0
San Juan de la Cruz	497290.11	348113.6	Sr Juan Alberto Quijada	0.008	Sin uso	No	Si		0
San Juan de la Cruz	497158.21	348089.03	Sr Carmen León	0.259	Usos domésticos	No	Si	San Juan de la Cruz	5
San Juan de la Cruz	497158.21	348089.03	Sr Carmen León	0.11	Usos domésticos	No	Si	San Juan de la Cruz	5
San Juan de la Cruz	497170.21	348101.32	Sr Carmen León	0.005	Sin uso	No	Si		0
San Juan de la Cruz	497182.2	348110.54	Sr Carmen León	0.257	Usos domésticos	No	Si	San Juan de la Cruz	5
San Juan de la Cruz	496903.55	349204.64	Sr Rafael León	0.109	Usos domésticos	No	Si	San Juan de la Cruz	5
San Juan de la Cruz	496705.78	349727.12	Sr Miguel Ángel Cruz	0.092	Usos domésticos	No	Si	San Juan de la Cruz	5
San Juan de la Cruz	496705.78	349727.12	Sr Miguel Ángel Cruz	0.022	Usos domésticos	No	Si	San Juan de la Cruz	5
Nuevo San Fernando	496457.41	352806.55	Sr Roberto Mena	0.006	Sin uso	No	Si		0
Nuevo San Fernando	496538.3	352582.19	Sr Luis Rivera	0.575	Riego(maíz, frijol, tomate)	No	Si	San Juan de la Cruz	0
Cerro las Mataras	496433.31	351967.55	Sr Antonio Suriano	0.758	Usos domésticos	No	Si	Cerro las Mataras	5
Cerro las Mataras	495615.06	351878.55	Sr Juan León	0.086	Ganadería	No	Si	Cerro las Mataras	0
Cerro las Mataras	495222.26	351024.26	Sr Joel León	0.706	Sin uso	No	Si		5
Cerro las Mataras	494523.91	351138.11	Sr Enrique Salguero	0.111	Usos domésticos	No	Si	Cerro las Mataras	5
Cerro las Mataras	494625.89	351482.29	Sr Lolo	0.226	Ganadería	No	Si	Cerro las Mataras	0
Los Llanitos	495693.26	353522.74	Sr Santos Oswaldo Valle	0.11	Ganadería	No	Si	Los Llanitos	0
Los Llanitos	495837.13	353633.35	Sr Faustino	0.529	Riego(maíz, frijol, tomate)	No	Si	Los Llanitos	0
San Fernando	497155.82	353544.05	Municipal	0.377	Riego(maíz, frijol, tomate)	No	Si	San Fernando	0
San Fernando	497257.7	353414.96	Sr Juan Antonio León	0.156	Ganadería	No	Si	San Fernando	0
San Fernando	497209.75	353464.14	Sr Alfonso García	0.201	Usos domésticos	No	Si	San Fernando	5
San Fernando	497152.87	354041.92	Sr Santos Soriano	0.613	Ganadería	No	Si	San Fernando	0

Fuente: Elaboración propia, 2008

Anexo 6: Boleta para registrar información de campo sobre el inventario de los manantiales del municipio de San Fernando, Chalatenango. 2009.



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS**



**DEPARTAMENTO DE RECURSOS NATURALES Y MEDIO AMBIENTE**

**“IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE ZONAS DE RECARGA ACUÍFERA EN EL MUNICIPIO DE SAN FERNANDO, CHALATENANGO, EL SALVADOR.”**

Nombre del Encuestador \_\_\_\_\_ Institución \_\_\_\_\_

Fecha \_\_\_\_\_ Hora inicio \_\_\_\_\_

Departamento/unidad \_\_\_\_\_

**Sección A**

**Parte I: Datos generales.**

Departamento \_\_\_\_\_ Municipio \_\_\_\_\_

Cantón \_\_\_\_\_

Comunidad/Finca \_\_\_\_\_ Fotografía # \_\_\_\_\_

**Sección B**

**Parte I: Ubicación de la Fuente**

Coordenadas NAD 27 CENTRAL X      °      '      " Y      °      '      " Altitud \_\_\_\_\_

Nombre de la Fuente \_\_\_\_\_

**Parte II: Datos del Tipo de Fuente**

Tipo de la fuente  Manantial

Otros \_\_\_\_\_

Método de aforo

Volumétrico

Tiempo	Volumen
1.	
2.	
3.	
4.	
5.	
Promedio (min., seg.)	Litros

Observaciones \_\_\_\_\_

Tipo de Usuario  Privado (particular)  Comunal  Municipal  Estatal

Estructura de Protección de la Fuente \_\_\_\_\_

Tiene cobertura vegetal SI  NO

Actualmente la Fuente esta en uso SI  NO

Estatus Legal de la Fuente  Escritura Pública  Escritura Registrada  Acta Municipal  
Convenios Verbales

Condiciones de la Fuente  Mala  Regular  Buena

## Sección C

### Parte I: Uso domestico

Nombre de la población beneficiada \_\_\_\_\_

Numero de población beneficiada \_\_\_\_\_

Tipo de servicio  Domiciliar

Predial

Publica (llena cantaros, pozos comunes, pilas, etc.)

**Parte II: Irrigación**

Nombre del usuario\_\_\_\_\_

Área total de riego\_\_\_\_\_ Unidades\_\_\_\_\_

- Tipo de riego utilizado  Cubeta
- Manguera
- Goteo
- Gravedad
- Aspersión
- Otros\_\_\_\_\_

## Cuadro de Programación de riego

Nombre del cultivo	Nombre del cultivo
Periodo de riego anual (meses)	Periodo de riego anual (meses)
Turnos de Riego	Turnos de Riego
Duración	Duración
Frecuencia	Frecuencia

Estructura Hidráulica con la que cuenta\_\_\_\_\_

## Anexo 7: Prueba de infiltración en la formación Morazán (m2a).

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRONOMICAS**  
**DEPARTAMENTO DE RECURSOS NATURALES Y MEDIO AMBIENTE**

**CALCULO DE VELOCIDAD DE INFILTRACION (I) Y LAMINA ACUMULADA (D)**

POR: Ing Agr.Msc.Josè Mauricio Tejada

LUGAR: **Morazan m2a**  
 FECHA: **06-dic-08**

PROYECTO **Recarga Acuífera**  
 RESPONSABLE **Luis Alonso Alas Romero**  
**Irvin David Caceres Cruz**

HORA	TIEMPO (min)		LECTURAS (cm)		LAMINA (cm)		INFILTRACION (cm/h)	
	Parcial	Acumulado	antes	despues	Periodo	Acumulada	Periodo	Acumulada
<b>11:00</b>	0	0		<b>15.50</b>		0.00		-
					2.50		75.00	
<b>11:02</b>	2	2	<b>18.00</b>			2.50		75.00
					0.30		4.50	
<b>11:06</b>	4	6	<b>18.30</b>			2.80		28.00
					0.70		6.00	
<b>11:13</b>	7	13	<b>19.00</b>			3.50		16.15
					0.75		4.50	
<b>11:23</b>	10	23	<b>19.75</b>			4.25		11.09
					0.30		1.80	
<b>11:33</b>	10	33	<b>20.05</b>			4.55		8.27
					0.35		2.10	
<b>11:43</b>	10	43	<b>20.40</b>			4.90		6.84
					0.40		2.40	
<b>11:53</b>	10	53	<b>20.80</b>			5.30		6.00
					0.20		0.60	
<b>12:13</b>	20	73	<b>21.00</b>			5.50		4.52
					0.32		0.64	
<b>12:43</b>	30	103	<b>21.32</b>			5.82		3.39
					0.23		0.35	
<b>13:23</b>	40	143	<b>21.55</b>			6.05		2.54

Análisis de infiltración básica (I<sub>b</sub>)  
 y Coeficientes de la ecuación (D)

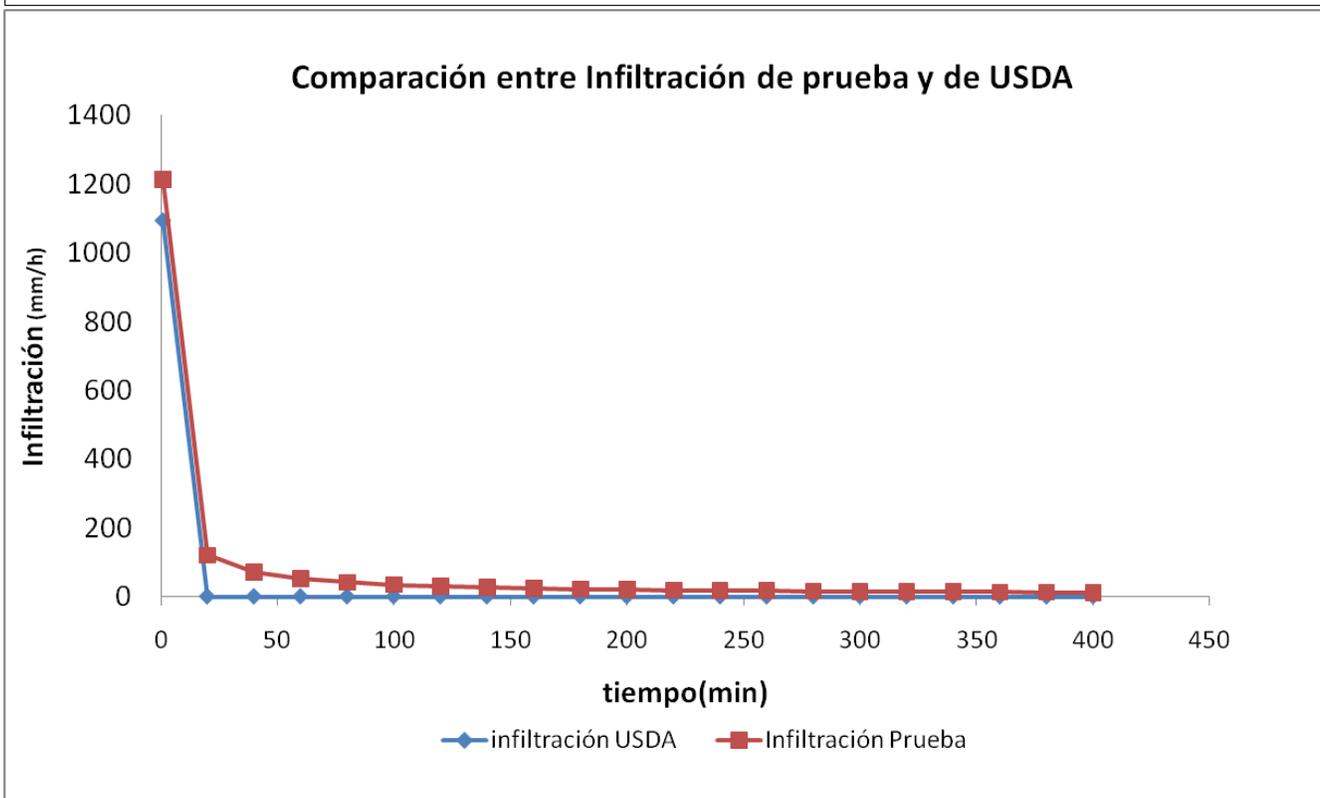
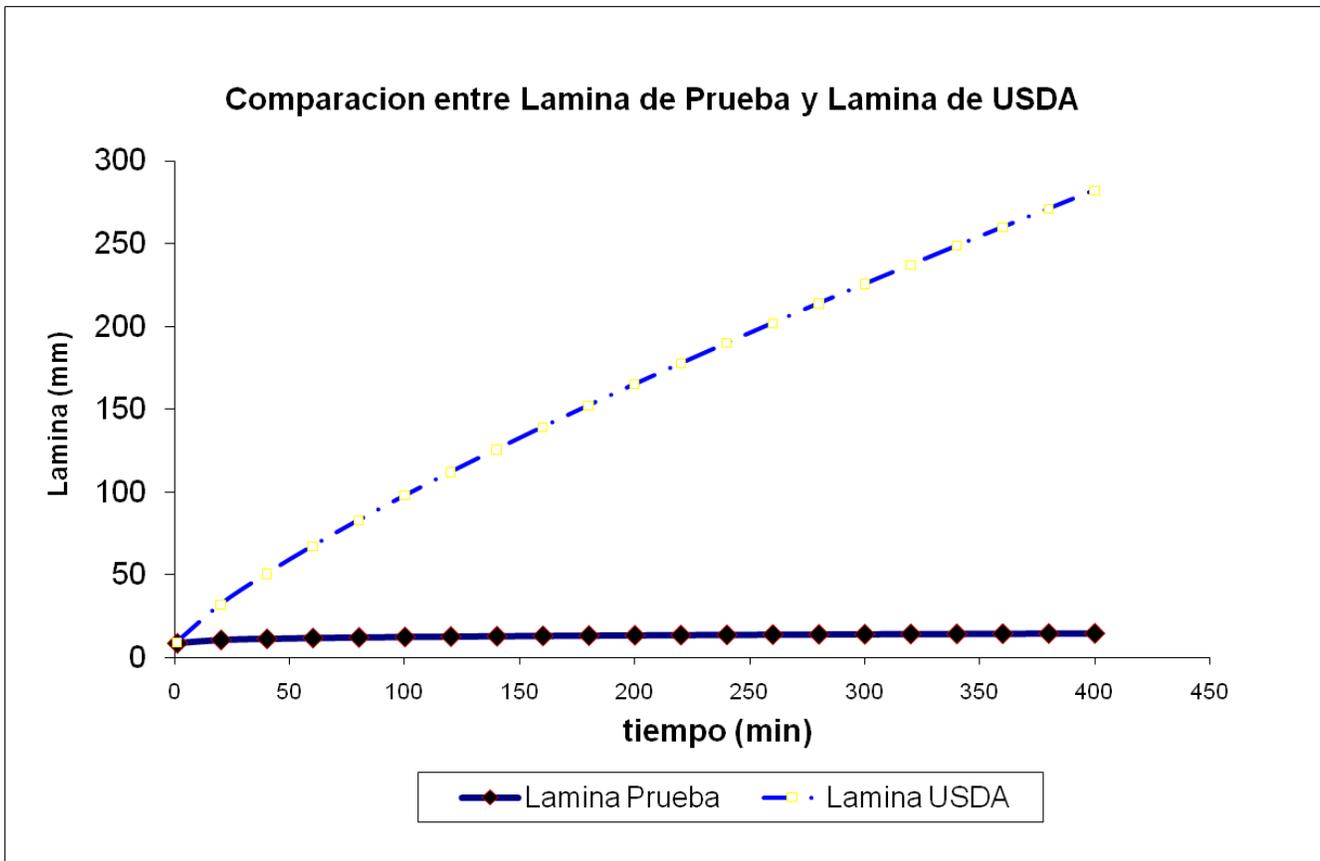
RETORNAR

FAMILIA DE INFILTRACION  
 COEFICIENTES

GRAFICO

Coeficientes de la prueba		Coeficientes de USDA**		
C=	2.02	D = C T <sup>m</sup> +7	C=	2.38
m=	0.23		m=	0.8
K=	121.35	I = K T <sup>n</sup>	k	109.49
n=	-0.77		n	-20
				Familia de infiltracion (mm/h)
				38.1

Tiempo acumulado minutos	Velocidad Infiltracion mm/h	% Variación en infiltración (Inf n) e (Inf n-1)	Lamina acumulada (mm)		Infiltracion USDA mm/h
			Prueba	USDA	
<b>1</b>	1213.49	---	9.02	9.28	1094.90
20	120.64	90.06	11.02	32.05	0.00
40	70.72	41.38	11.71	50.61	0.00
60	51.74	26.83	12.17	67.32	0.00
80	41.46	19.88	12.53	82.93	0.00
100	34.91	15.80	12.82	97.77	0.00
120	30.33	13.11	13.07	112.02	0.00
140	26.93	11.20	13.28	125.81	0.00
160	24.30	9.78	13.48	139.20	0.00
180	22.19	8.68	13.66	152.26	0.00
200	20.46	7.80	13.82	165.04	0.00
220	19.01	7.08	13.97	177.56	0.00
240	17.78	6.48	14.11	189.85	0.00
260	16.72	5.98	14.24	201.95	0.00
280	15.79	5.55	14.37	213.85	0.00
300	14.97	5.18	14.49	225.59	0.00
320	14.24	4.85	14.60	237.17	0.00
340	13.59	4.56	14.70	248.61	0.00
360	13.01	4.31	14.81	259.92	0.00
380	12.48	4.08	14.90	271.10	0.00
400	11.99	3.88	15.00	282.16	0.00



## Anexo 8: Prueba de infiltración en la formación Chalatenango (Ch1)

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRONOMICAS**  
**DEPARTAMENTO DE RECURSOS NATURALES Y MEDIO AMBIENTE**

**CALCULO DE VELOCIDAD DE INFILTRACION (I) Y LAMINA ACUMULADA (D)**

POR: Inq Agr.Msc.Josè Mauricio Tejada

LUGAR: **Chalatenango Ch1**  
 FECHA: **06-dic-08**

PROYECTO **Recarga Acuífera**  
 RESPONSABLE **Luis Alonso Alas Romero**  
**Irvin David Caceres Cruz**

HORA	TIEMPO (min)		LECTURAS (cm)		LAMINA (cm)		INFILTRACION (cm/h)	
	Parcial	Acumulado	antes	despues	Periodo	Acumulada	Periodo	Acumulada
11:00	0	0		13.50		0.00		-
					0.35		4.20	
11:05	5	5	13.85		0.33	0.35	3.96	4.20
					0.32	0.68	3.84	4.08
11:10	5	10	14.18		0.30	1.00	3.60	4.00
					0.55	1.30	3.30	3.90
11:15	5	15	14.50		0.40	1.85	2.40	3.70
					0.40	2.25	2.40	3.38
11:20	5	20	14.80		0.40	2.65	1.23	3.18
					0.41	3.06	1.17	2.62
11:30	10	30	15.35		0.39	3.45	1.14	2.30
					0.38	3.83		2.09
11:40	10	40	15.75					
11:50	10	50	16.15					
12:10	20	70	16.56					
12:30	20	90	16.95					
12:50	20	110	17.33					

**Analisis de infiltracion básica( I<sub>b</sub> )**  
**y Coeficientes de la ecuacion ( D )**

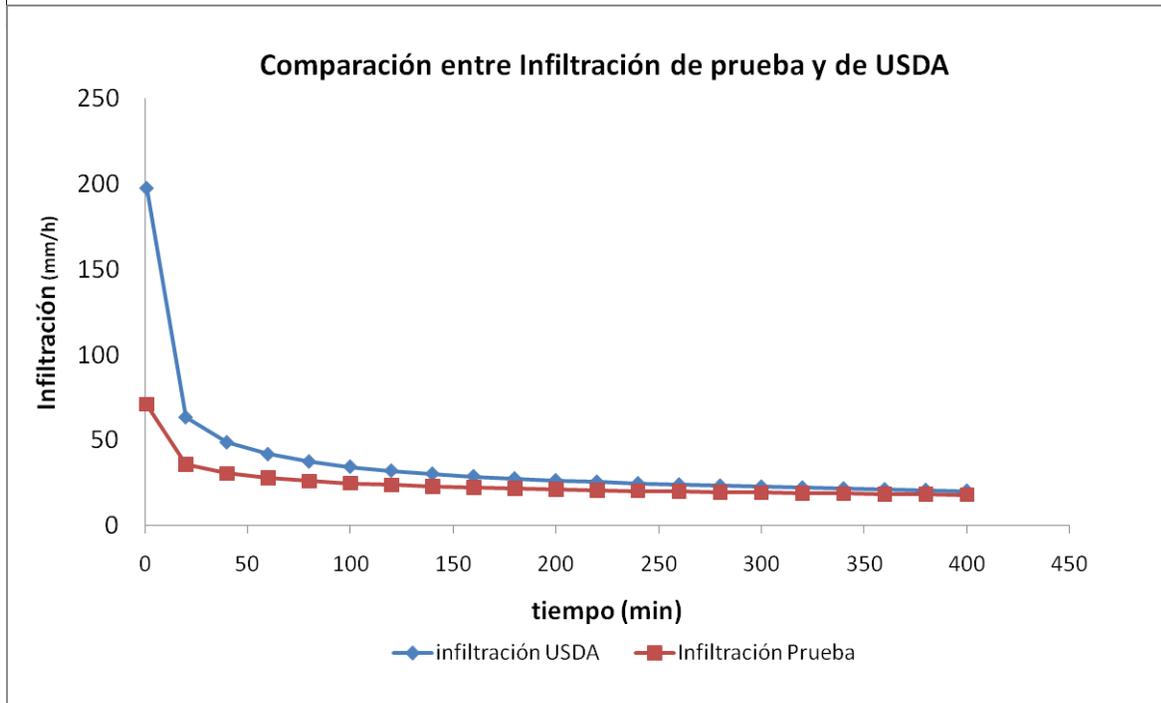
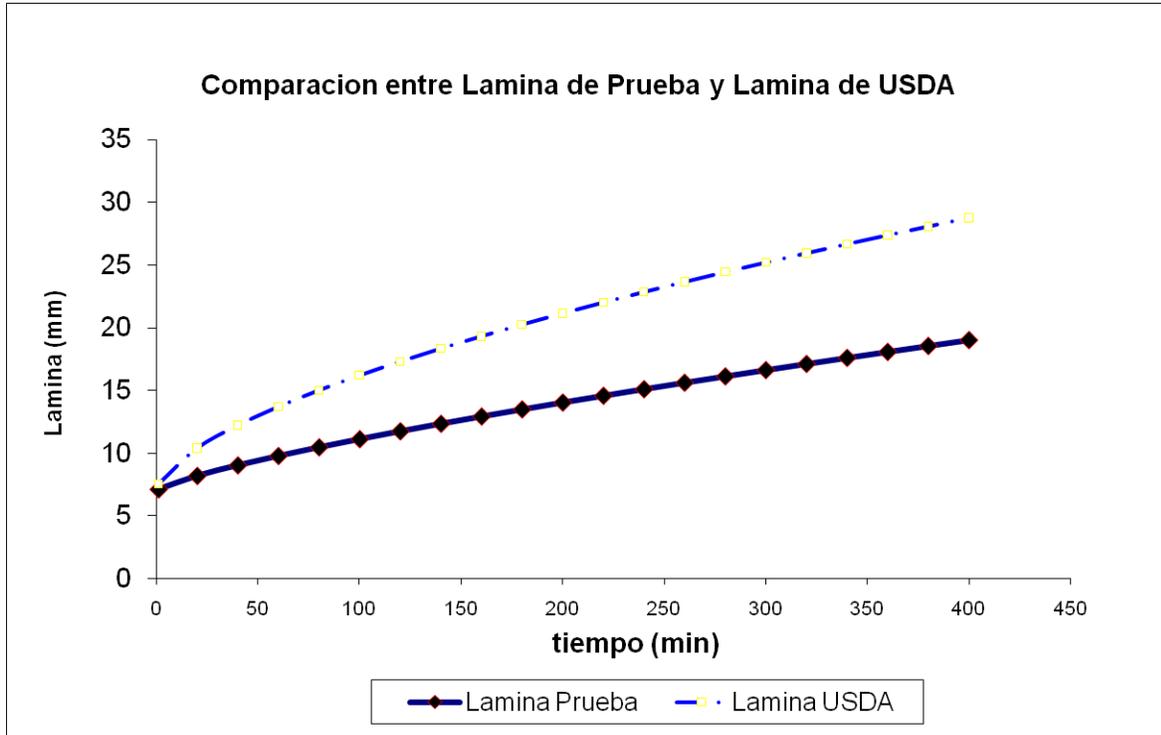
RETORNAR

FAMILIA DE INFILTRACION  
COEFICIENTES  
DE USDA

GRAFICO  
PRUEBA VRS USDA

Coeficientes de la prueba			Coeficientes de USDA**		
C=	0.12	D = C T <sup>m</sup> +7	C=	0.53	Familia de
m=	0.77		m=	0.62	infiltracion
K=	7.10	I = K T <sup>n</sup>	k	19.78	(mm/h)
n=	-0.23		n	-0.38	1.87

Tiempo acumulado minutos	Velocidad Infiltracion mm/h	% Variación en infiltración (Inf n) e (Inf n-1)	Lamina acumulada (mm)		Infiltracion USDA mm/h
			Prueba	USDA	
1	70.98	---	7.12	7.53	197.80
20	35.77	49.61	8.19	10.40	63.36
40	30.52	14.66	9.03	12.22	48.69
60	27.82	8.86	9.78	13.71	41.74
80	26.05	6.37	10.47	15.02	37.42
100	24.75	4.98	11.12	16.21	34.37
120	23.74	4.09	11.75	17.31	32.07
140	22.92	3.47	12.35	18.35	30.25
160	22.23	3.01	12.93	19.33	28.75
180	21.64	2.66	13.49	20.26	27.49
200	21.12	2.38	14.04	21.16	26.41
220	20.66	2.16	14.58	22.02	25.47
240	20.26	1.97	15.10	22.85	24.65
260	19.89	1.81	15.62	23.66	23.91
280	19.56	1.68	16.13	24.44	23.24
300	19.25	1.57	16.62	25.20	22.64
320	18.97	1.47	17.12	25.94	22.09
340	18.71	1.38	17.60	26.67	21.59
360	18.46	1.30	18.08	27.38	21.13
380	18.24	1.23	18.55	28.07	20.70
400	18.02	1.17	19.02	28.75	20.30



## Anexo 9: Prueba de infiltración en la formación Chalatenango (Ch2)

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRONOMICAS**  
**DEPARTAMENTO DE RECURSOS NATURALES Y MEDIO AMBIENTE**

**CALCULO DE VELOCIDAD DE INFILTRACION (I) Y LAMINA ACUMULADA (D)**

POR: Inq Agr.Msc.Josè Mauricio Tejada

LUGAR: **Chalatenango Ch2**

PROYECTO

**Recarga Acuífera**FECHA: **06-dic-08**

RESPONSABLE

**Luis Alonso Alas Romero****Irvin David Caceres Cruz**

HORA	TIEMPO (min)		LECTURAS (cm)		LAMINA (cm)		INFILTRACION (cm/h)	
	Parcial	Acumulado	antes	despues	Periodo	Acumulada	Periodo	Acumulada
07:00	0	0		<b>12.90</b>		0.00		-
					1.60		19.20	
07:05	5	5	<b>14.50</b>			1.60		19.20
					1.40		16.80	
07:10	5	10	<b>15.90</b>			3.00		18.00
					0.80		9.60	
07:15	5	15	<b>16.70</b>			3.80		15.20
					0.70		8.40	
07:20	5	20	<b>17.40</b>			4.50		13.50
					1.40		8.40	
07:30	10	30	<b>18.80</b>			5.90		11.80
					1.40		8.40	
07:40	10	40	<b>20.20</b>			7.30		10.95
					0.80		4.80	
07:50	10	50	<b>21.00</b>			8.10		9.72
					0.50		3.00	
08:00	10	60	<b>21.50</b>			8.60		8.60
					0.90		2.70	
08:20	20	80	<b>22.40</b>			9.50		7.13
					0.90		2.70	
08:40	20	100	<b>23.30</b>			10.40		6.24

Análisis de infiltración básica (Ib )

y Coeficientes de la ecuación ( D )

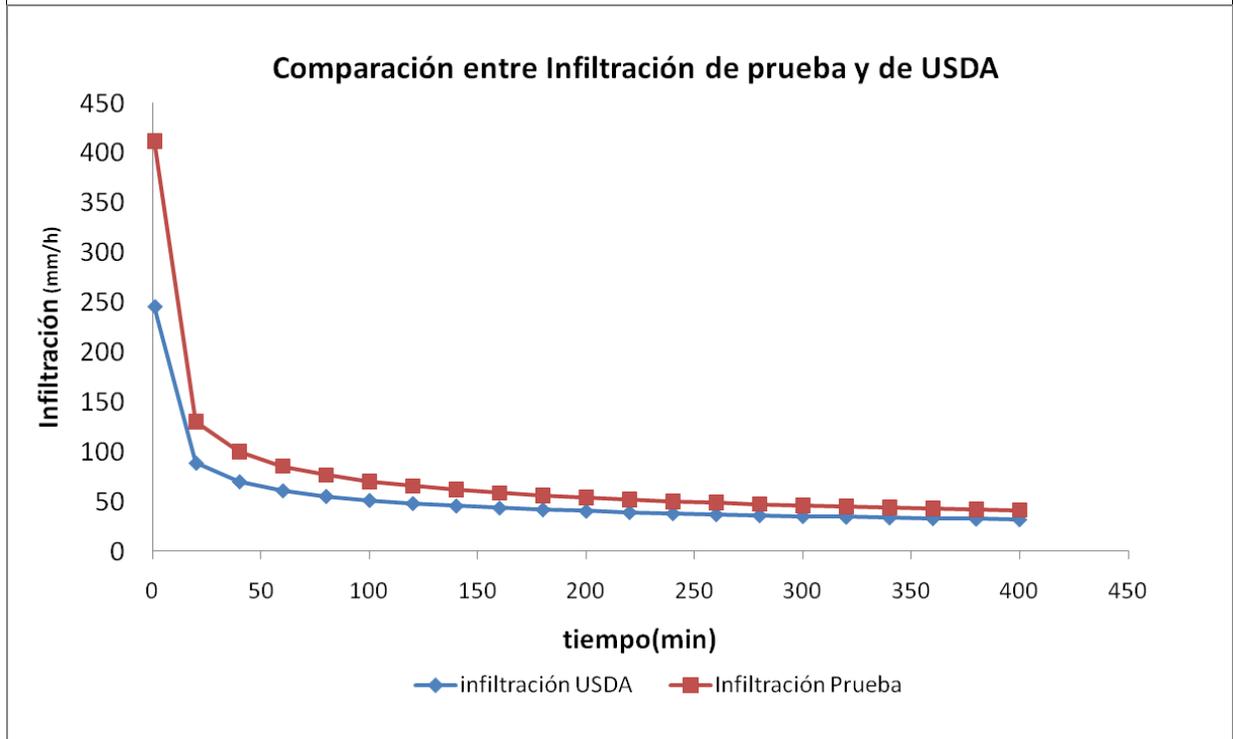
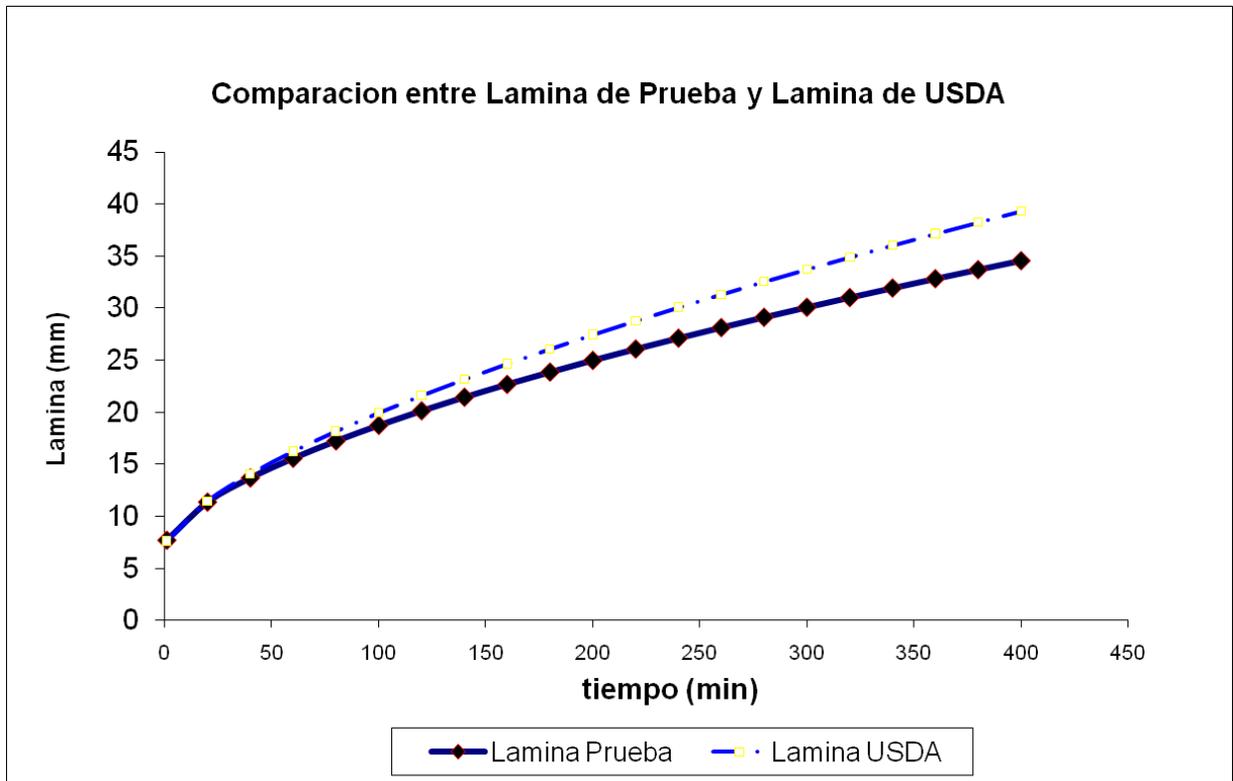
RETORNAR

FAMILIA DE INFILTRACION  
COEFICIENTES

GRAFICO

Coeficientes de la prueba		Coeficientes de USDA**		
C=	0.69	D = C T <sup>m</sup> +7	C=	0.62
m=	0.62		m=	0.62
K=	41.21	I = K T <sup>n</sup>	k	24.50
n=	-0.38		n	-0.34
				Familia de infiltración (mm/h)
				2.87

Tiempo acumulado minutos	Velocidad Infiltración mm/h	% Variación en infiltración (Inf n) e (Inf n-1)	Lamina acumulada (mm)		Infiltración USDA mm/h
			Prueba	USDA	
1	412.09	---	7.69	7.62	245.80
20	130.50	68.33	11.35	11.48	88.76
40	100.01	23.36	13.67	14.08	70.13
60	85.60	14.41	15.56	16.25	61.10
80	76.65	10.45	17.22	18.18	55.40
100	70.36	8.21	18.73	19.95	51.35
120	65.60	6.76	20.12	21.61	48.27
140	61.83	5.75	21.43	23.17	45.80
160	58.74	5.00	22.66	24.66	43.77
180	56.15	4.42	23.84	26.09	42.05
200	53.92	3.96	24.97	27.47	40.57
220	51.98	3.59	26.06	28.80	39.28
240	50.28	3.28	27.11	30.09	38.13
260	48.75	3.03	28.13	31.34	37.11
280	47.39	2.80	29.11	32.56	36.19
300	46.15	2.61	30.07	33.75	35.35
320	45.02	2.45	31.01	34.91	34.58
340	43.98	2.30	31.92	36.05	33.87
360	43.03	2.17	32.82	37.17	33.22
380	42.15	2.05	33.69	38.26	32.62
400	41.32	1.95	34.55	39.34	32.05



## Anexo 10: Prueba de infiltración en la formación Yojoa (Yo)

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRONOMICAS**  
**DEPARTAMENTO DE RECURSOS NATURALES Y MEDIO AMBIENTE**

**CALCULO DE VELOCIDAD DE INFILTRACION (I) Y LAMINA ACUMULADA (D)**

POR: Ing Agr.Msc.Josè Mauricio Tejada

LUGAR: **Yojoa Yo**

PROYECTO

**Recarga Acuífera**

FECHA: **06-dic-08**

RESPONSABLE

**Luis Alonso Alas Romero**

**Irvin David Caceres Cruz**

HORA	TIEMPO (min)		LECTURAS (cm)		LAMINA (cm)		INFILTRACION (cm/h)	
	Parcial	Acumulado	antes	despues	Periodo	Acumulada	Periodo	Acumulada
<b>11:02</b>	0	0		<b>45.00</b>		0.00		-
					20.00		600.00	
<b>11:04</b>	2	2	<b>25.00</b>			20.00		600.00
					1.00		30.00	
<b>11:06</b>	2	4	<b>24.00</b>			21.00		315.00
					1.00		30.00	
<b>11:08</b>	2	6	<b>25.00</b>			22.00		220.00
					1.00		30.00	
<b>11:10</b>	2	8	<b>24.00</b>			23.00		172.50
					0.00		0.00	
<b>11:12</b>	2	10	<b>24.00</b>			23.00		138.00
					0.00		0.00	
<b>11:14</b>	2	12	<b>24.00</b>			23.00		115.00
					0.00		0.00	
<b>11:16</b>	2	14	<b>24.00</b>			23.00		98.57
					0.00		0.00	
<b>11:18</b>	2	16	<b>24.00</b>			23.00		86.25
					0.00		0.00	
<b>11:20</b>	2	18	<b>24.00</b>			23.00		76.67
					0.00		0.00	
<b>11:22</b>	2	20	<b>24.00</b>			23.00		69.00

Análisis de infiltración básica ( I<sub>b</sub> )  
y Coeficientes de la ecuación ( D )

RETORNAR

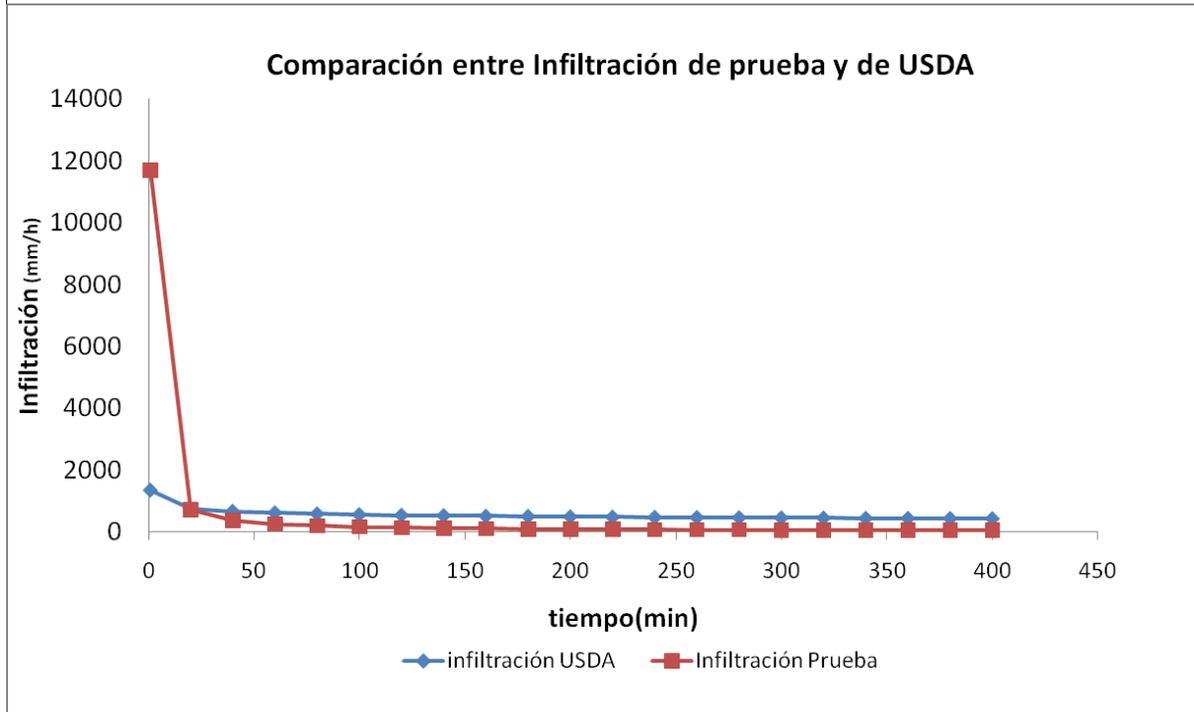
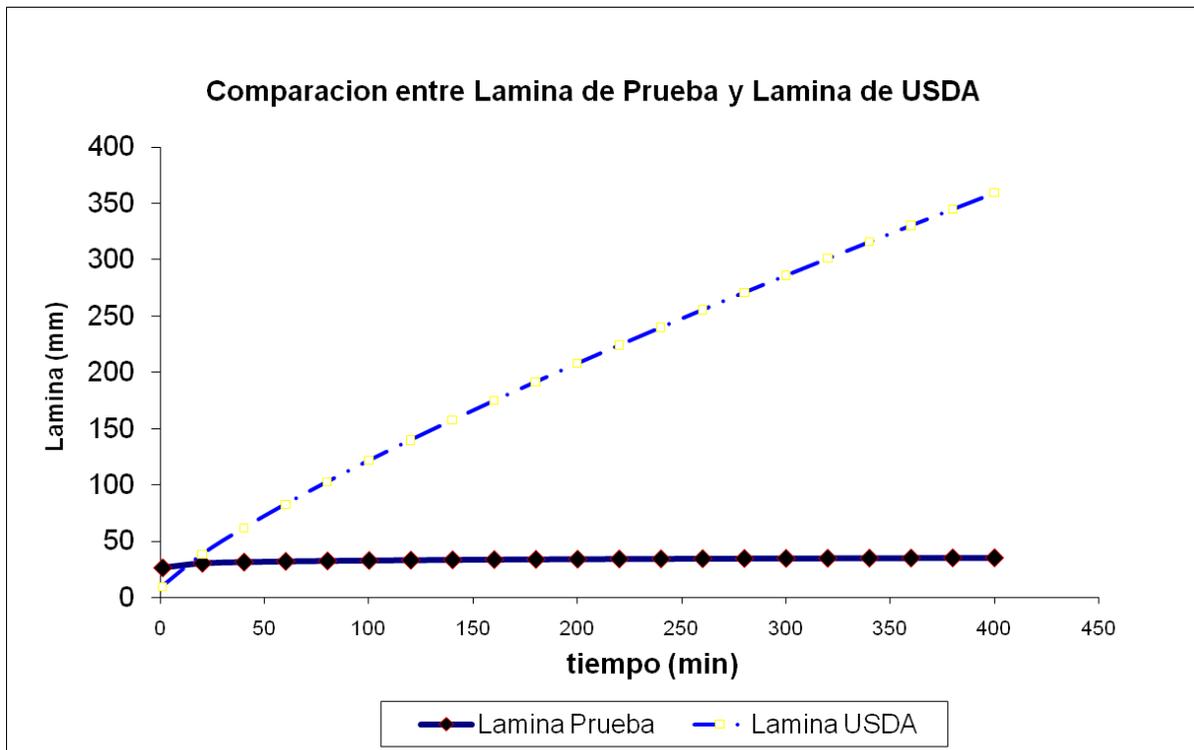
FAMILIA DE INFILTRACION  
COEFICIENTES

GRAFICO

Coeficientes de la prueba		Coeficientes de USDA**			Familia de infiltracion (mm/h)
C=	19.48	D = C T <sup>n</sup> +7	C=	2.75	
m=	0.06		m=	0.01	
K=	1169.00	I = K T <sup>n</sup>	k	133.47	
n=	-0.94		n	-0.19	59.8

Tiempo acumulado minutos	Velocidad Infiltracion mm/h	% Variación en infiltración (Inf n) e (Inf n-1)	Lamina acumulada (mm)		Infiltracion USDA mm/h
			Prueba	USDA	
1	11690.02	---	26.48	9.75	1334.70
20	705.52	93.96	30.52	38.13	755.42
40	368.46	47.77	31.56	61.58	662.20
60	251.97	31.61	32.20	82.79	613.11
80	192.43	23.63	32.66	102.68	580.49
100	156.11	18.87	33.02	121.64	556.40
120	131.59	15.71	33.32	139.88	537.45
140	113.89	13.45	33.57	157.56	521.94
160	100.49	11.76	33.80	174.75	508.86
180	89.99	10.45	34.00	191.55	497.60
200	81.53	9.40	34.18	207.99	487.74
220	74.56	8.55	34.34	224.12	478.99
240	68.72	7.83	34.49	239.97	471.13
260	63.76	7.23	34.63	255.58	464.02
280	59.48	6.71	34.76	270.96	457.53
300	55.76	6.26	34.88	286.13	451.58
320	52.48	5.87	34.99	301.11	446.07
340	49.58	5.52	35.10	315.91	440.96
360	47.00	5.22	35.20	330.55	436.20
380	44.68	4.94	35.29	345.03	431.74
400	42.58	4.69	35.39	359.37	427.56



## Anexo 11: Prueba de infiltración en la formación Morazán-Chalatenango (I)

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRONOMICAS**  
**DEPARTAMENTO DE RECURSOS NATURALES Y MEDIO AMBIENTE**

**CALCULO DE VELOCIDAD DE INFILTRACION (I) Y LAMINA ACUMULADA (D)**

POR: Ing Agr.Msc.Josè Mauricio Tejada

LUGAR: **Morazan-Chalatenango I** PROYECTO

**Recarga Acuifera**

FECHA: **06-dic-08**

RESPONSABLE

**Luis Alonso Alas Romero**

**Irvin David Caceres Cruz**

HORA	TIEMPO (min)		LECTURAS (cm)		LAMINA (cm)		INFILTRACION (cm/h)	
	Parcial	Acumulado	antes	despues	Periodo	Acumulada	Periodo	Acumulada
11:00	0	0		<b>60.00</b>		0.00		-
					36.00		1080.00	
11:02	2	2	<b>24.00</b>			36.00		1080.00
					9.00		270.00	
11:04	2	4	<b>33.00</b>			45.00		675.00
					8.00		240.00	
11:06	2	6	<b>41.00</b>			53.00		530.00
					4.00		120.00	
11:08	2	8	<b>45.00</b>			57.00		427.50
					4.00		120.00	
11:10	2	10	<b>49.00</b>			61.00		366.00
					2.00		60.00	
11:12	2	12	<b>51.00</b>			63.00		315.00
					2.00		60.00	
11:14	2	14	<b>53.00</b>			65.00		278.57
					2.00		60.00	
11:16	2	16	<b>55.00</b>			67.00		251.25
					1.00		30.00	
11:18	2	18	<b>56.00</b>			68.00		226.67
					2.00		60.00	
11:20	2	20	<b>58.00</b>			70.00		210.00

**Analisis de infiltracion básica ( I<sub>b</sub> )**  
**y Coeficientes de la ecuacion ( D )**

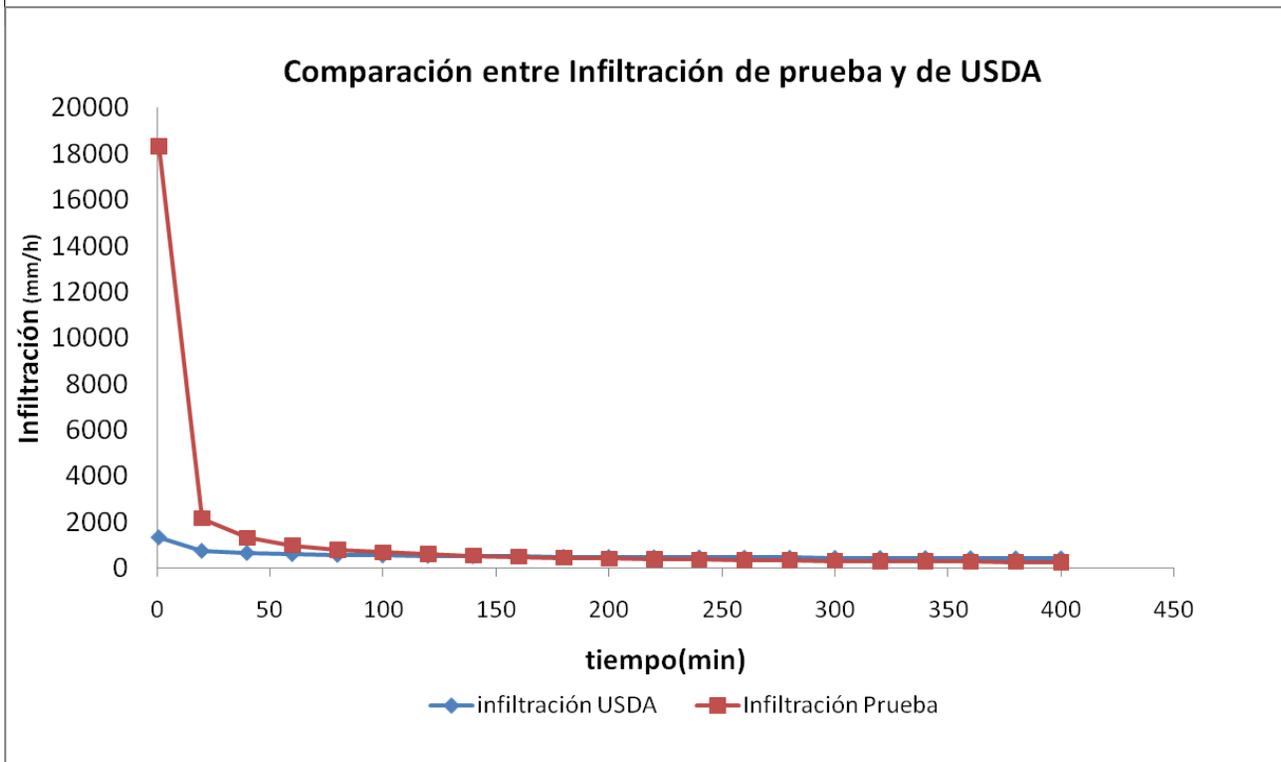
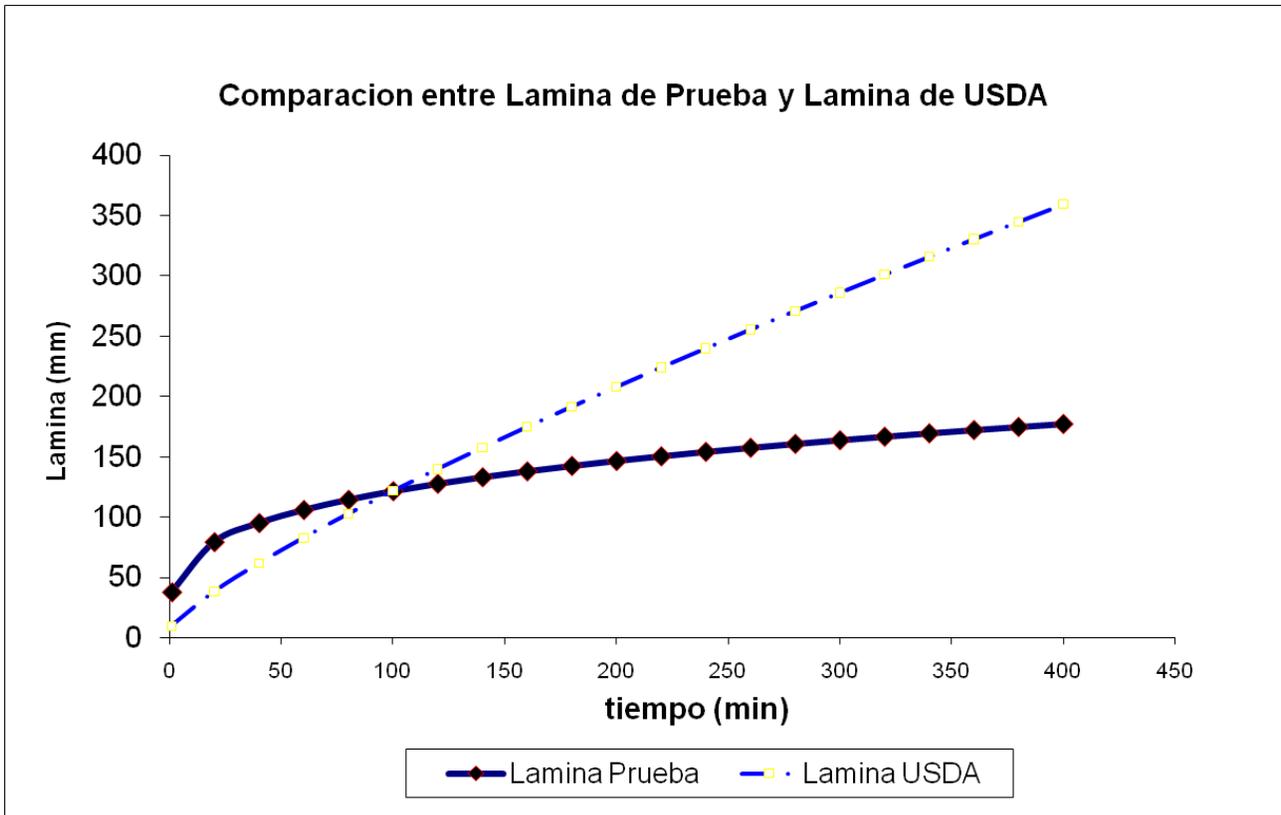
RETORNAR

FAMILIA DE INFILTRACION  
COEFICIENTES  
DE USDA

GRAFICO  
PRUEBA VRS USDA

Coeficientes de la prueba			Coeficientes de USDA**		
C=	30.55	D = C T <sup>m</sup> +7	C=	2.75	Familia de
m=	0.29		m=	0.81	infiltracion
K=	1832.80	I = K T <sup>n</sup>	k	133.47	(mm/h)
n=	-0.71		n	-0.19	50.8

Tiempo acumulado minutos	Velocidad Infiltracion mm/h	% Variación en infiltración (Inf n) e (Inf n-1)	Lamina acumulada (mm)		Infiltracion USDA mm/h
			Prueba	USDA	
1	18327.98	---	37.55	9.75	1334.70
20	2161.52	88.21	79.05	38.13	755.42
40	1318.13	39.02	94.88	61.58	662.20
60	986.98	25.12	105.70	82.79	613.11
80	803.81	18.56	114.18	102.68	580.49
100	685.50	14.72	121.25	121.64	556.40
120	601.87	12.20	127.37	139.88	537.45
140	539.18	10.42	132.81	157.56	521.94
160	490.18	9.09	137.71	174.75	508.86
180	450.67	8.06	142.20	191.55	497.60
200	418.03	7.24	146.34	207.99	487.74
220	390.54	6.57	150.20	224.12	478.99
240	367.03	6.02	153.81	239.97	471.13
260	346.66	5.55	157.22	255.58	464.02
280	328.80	5.15	160.44	270.96	457.53
300	313.01	4.80	163.50	286.13	451.58
320	298.92	4.50	166.42	301.11	446.07
340	286.26	4.23	169.22	315.91	440.96
360	274.82	4.00	171.89	330.55	436.20
380	264.42	3.78	174.47	345.03	431.74
400	254.92	3.59	176.95	359.37	427.56



## Anexo 12: Prueba de infiltración en la formación Valle de los Ángeles (Va)

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRONOMICAS**  
**DEPARTAMENTO DE RECURSOS NATURALES Y MEDIO AMBIENTE**

**CALCULO DE VELOCIDAD DE INFILTRACION (I) Y LAMINA ACUMULADA (D)**

POR: Ing Agr.Msc.Josè Mauricio Tejada

LUGAR: **Valle de los angeles** PROYECTO **Recarga Acuífera**  
 FECHA: **06-dic-08** RESPONSABLE **Luis Alonso Alas Romero**  
**Irvin David Caceres Cruz**

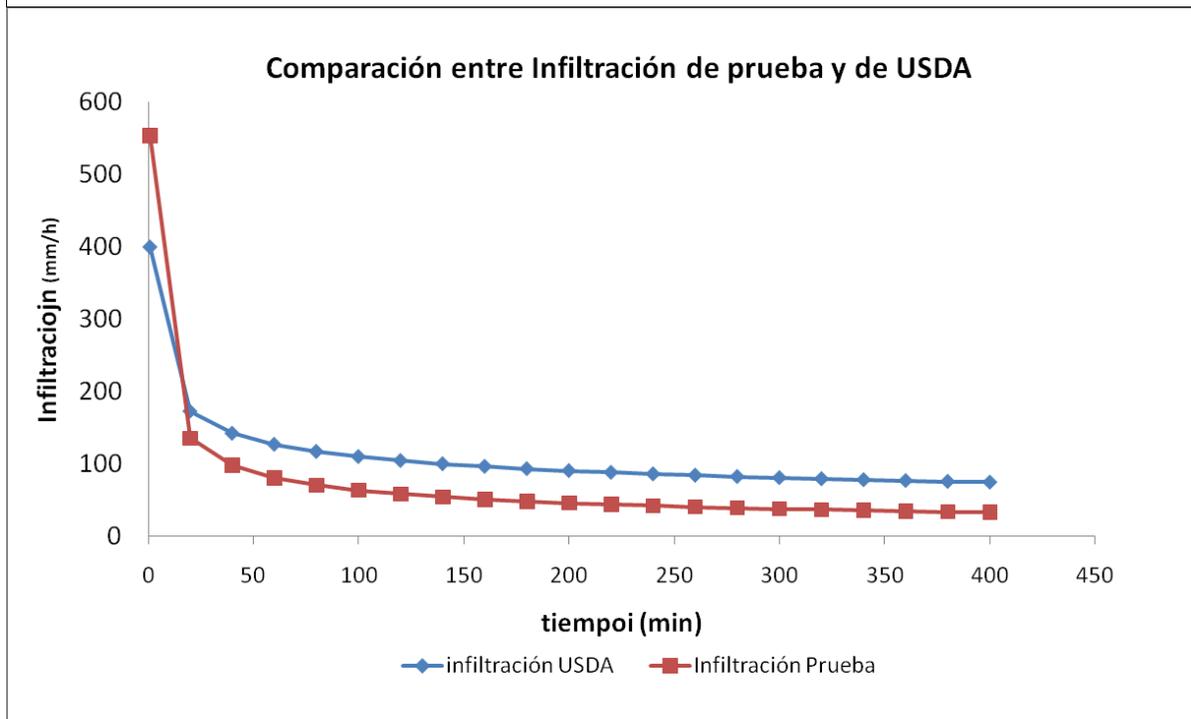
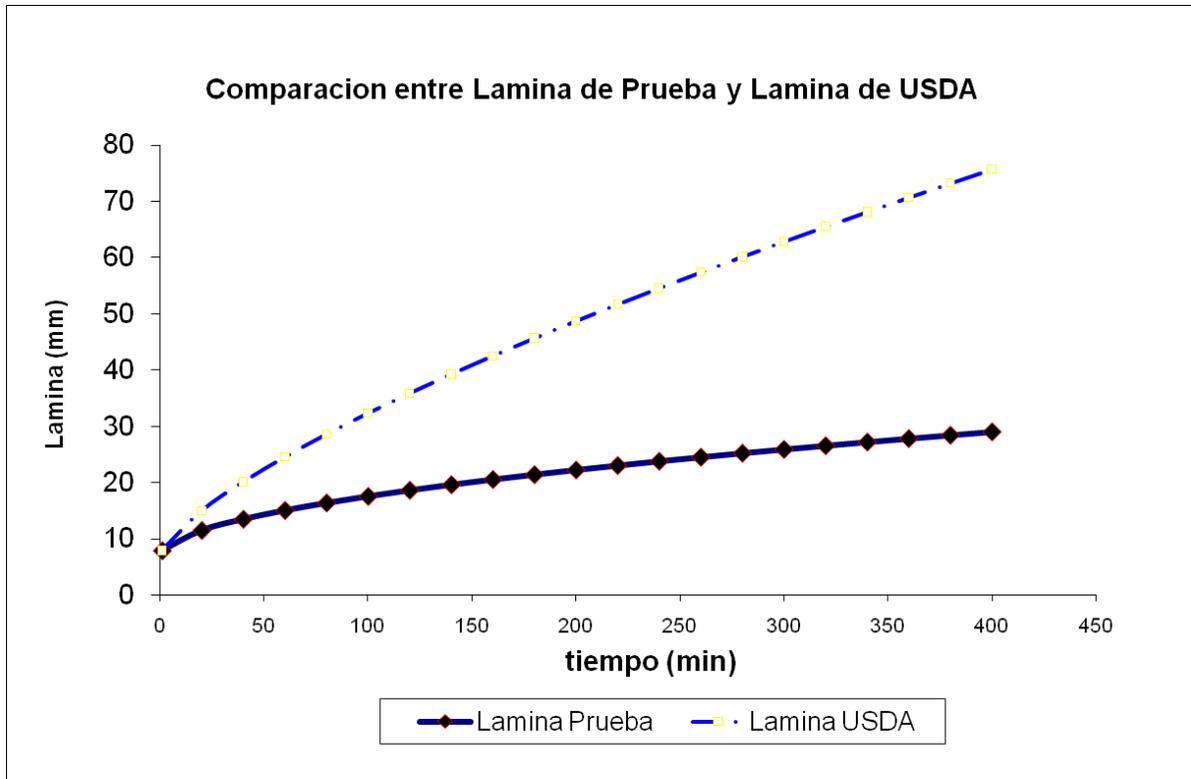
HORA	TIEMPO (min)		LECTURAS (cm)		LAMINA (cm)		INFILTRACION (cm/h)	
	Parcial	Acumulado	antes	despues	Periodo	Acumulada	Periodo	Acumulada
07:00	0	0		27.00		0.00		-
					1.00		30.00	
07:02	2	2	28.00			1.00		30.00
					1.00		30.00	
07:04	2	4	29.00			2.00		30.00
					0.50		15.00	
07:06	2	6	29.50			2.50		25.00
					1.10		16.50	
07:10	4	10	30.60			3.60		21.60
					2.30		13.80	
07:20	10	20	32.90			5.90		17.70
					0.50		3.00	
07:30	10	30	33.40			6.40		12.80
					0.70		2.80	
07:45	15	45	34.10			7.10		9.47
					0.50		1.50	
08:05	20	65	34.60	44.90		7.60		7.02
					0.70		2.10	
08:25	20	85	45.60			8.30		5.86
					1.50		4.50	
08:45	20	105	47.10			9.80		5.60

Análisis de infiltración básica ( I<sub>b</sub> )  
 y Coeficientes de la ecuación ( D )

<b>RETORNAR</b>	<b>FAMILIA DE INFILTRACION COEFICIENTES</b>	<b>GRAFICO</b>
-----------------	---	----------------

Coeficientes de la prueba		Coeficientes de USDA**		
C=	0.92	D = C T <sup>m</sup> +7	C=	0.92
m=	0.53		m=	0.72
K=	55.42	I = K T <sup>n</sup>	k	39.94
n=	-0.47		n	-0.28
				7.62

Tiempo acumulado minutos	Velocidad Infiltracion mm/h	% Variación en infiltración (Inf n) e (Inf n-1)	Lamina acumulada (mm)		Infiltracion USDA mm/h
			Prueba	USDA	
1	554.19	---	7.92	7.92	399.40
20	135.42	75.56	11.51	14.95	172.63
40	97.75	27.82	13.52	20.10	142.18
60	80.77	17.36	15.08	24.54	126.92
80	70.55	12.66	16.41	28.58	117.10
100	63.52	9.96	17.59	32.34	110.00
120	58.30	8.22	18.66	35.89	104.53
140	54.22	6.99	19.65	39.28	100.11
160	50.92	6.09	20.58	42.54	96.44
180	48.18	5.39	21.45	45.69	93.31
200	45.85	4.84	22.28	48.74	90.60
220	43.84	4.38	23.07	51.70	88.21
240	42.08	4.01	23.83	54.59	86.09
260	40.53	3.69	24.56	57.42	84.18
280	39.14	3.43	25.26	60.18	82.45
300	37.89	3.19	25.94	62.89	80.87
320	36.75	2.99	26.60	65.55	79.43
340	35.72	2.81	27.24	68.16	78.09
360	34.77	2.65	27.86	70.73	76.85
380	33.90	2.51	28.47	73.26	75.70
400	33.09	2.38	29.06	75.75	74.62



Anexo 13: Determinación de la Densidad aparente

Universidad de El Salvador

Facultad de Ciencias Agronómicas

Departamento de Recursos Naturales y Medio Ambiente

**“Identificación y Caracterización de Zonas de Recarga Acuífera en el Municipio de San Fernando, Chalatenango, El Salvador.”**

***Densidad Aparente del Suelo***



Elaborado por: **Luis Alonso Alas Romero**

**Irvin David Cáceres Cruz**

***Ciudad Universitaria, Agosto del 2009.***

### **Densidad Aparente del Suelo**

El valor de la densidad aparente de un suelo está referido a la relación entre la masa de una muestra natural y el volumen aparente, que incluye el volumen de las partículas sólidas del suelo y los espacios porosos. se expresa en g/cm. La densidad aparente se determina midiendo un volumen de suelo y su masa seca. La principal dificultad es la exactitud de medición de una muestra de suelo en su estado.

La densidad aparente de un suelo es la relación que existe entre la masa o peso seco del suelo y la unidad de volumen aparente del mismo. El volumen aparente incluye a las partículas sólidas y el espacio poroso (Montenegro y Malagón, 1990).

### **Toma de muestra de suelo.**

Se tomaron muestras de suelo en las diferentes formaciones geológicas de la zona de estudio, utilizando el método de muestreador de Uhland para extraer, con buena conformación y mayor confiabilidad para evitar una pérdida de peso de la muestras, dicha muestra se analizaron en el Laboratorio de Química Agrícola de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador. El objetivo de este tipo de análisis es contar con los datos de densidad aparente, siendo necesarios para el desarrollo del balance hídrico y para el cálculo de la recarga acuífera.

Materiales:

- Cajas de Aluminio
- Equipo Muestreador de Uhland con cilindro de volumen conocido
- Estufa
- Balanza semianalítica
- Espátula
- Lápiz graso
- Cuchillo o navaja
- Tirro
- Bolsas plásticas
- Recipiente (balde o cubeta)



Fig.1. Equipo de muestreo Uhland con cilindro de volumen conocido y cajas de aluminio para depositar muestras de suelo.

Metodología:

- Selección del lugar para extracción de muestras de acuerdo a cada formación geológica de la investigación; a la vez se georrefenció con equipo GPS para considerar su ubicación geográfica del lugar de muestreo.
- Se toma el muestreador tipo Uhland, dentro del cual se encajan anillos metálicos de un diámetro igual a 5.30 cm y una altura de 6.0 cm. El muestreador se introduce en el suelo ejerciendo una presión vertical, dejando caer el martillo de manera constante, luego se retira el aparato con el cilindro de suelo, tratando de enrasar con un cilindro el exceso de material sobrante con la ayuda de una navaja bien afilada para nivelar el suelo al ras del cilindro en ambos extremos del mismo.



***Fig.2. Procedimiento para obtención de muestra de suelo para determinar la densidad aparente del material geológico.***

- Identificar el sitio de muestreo junto con la muestra y depositar en cajas de aluminio, luego colocar en recipientes plásticos para su traslado hasta el lugar de procesamiento para su respectivo análisis de laboratorio.
- Calibrar la balanza semi-analítica para proceder a realizar los respectivos pesos de cada muestra determinarle el volumen y peso suelo húmedo.
- Cada muestra se coloca en cajas de aluminio en una estufa a 105 °C durante 24 horas para determinarle el volumen y peso seco.
- Dejar en desecador para reducir el error de absorción de humedad de las muestras por tiempo de 45 minutos, obteniendo masa de suelo seco.
- Pesar cada muestra en balanza semi-analitica y registrar los datos en hoja de cálculo, Determinar la humedad de la muestra ( $H \% = \frac{M_{sh} - M_{ss}}{M_{ss}}$ )



**Fig.3. Proceso para determinar densidad aparente en laboratorio.**

### **CÁLCULO**

**Densidad Aparente (g/cc) =  $\frac{\text{Masa de suelo seco (gr)}}{\text{Volumen del cilindro (g/cc)}}$**

**Volumen del cilindro (g/cc)**

**Volumen=  $\pi r^2 h$**

**$V = \pi(2.65\text{cm})^2 6 \text{ cm}$   $V=132.37 \text{ cc}$**

**Cuadro No. 1 Densidad Aparente de materiales geológicos del municipio San Fernando, Chalatenango. Agosto 2008.**

<b>Formación Geológica</b>	<b>Peso de Suelo Húmedo ( gr)</b>	<b>Peso de Suelo Seco(24 hrs) Gr</b>	<b>Peso de Caja Vacía(gr)</b>	<b>Densidad Aparente del Suelo Muestra</b>	<b>Densidad Aparente del suelo</b>	<b>Textura del Suelo</b>
<b>M3 Ch1</b>	313,1	260	120	1,05764146		
<b>M4 Ch1</b>	368,1	317,1	128,5	1,424794138	<b>1.23</b>	<b>Arcilloso</b>
<b>M7 Ch2</b>	340	293.4	122.5	1.291078039		
<b>M13 Ch2</b>	374.8	304.1	128.7	1.325073657	<b>1.30</b>	<b>Franco Arcilloso</b>
<b>M11 Va</b>	347.1	314.5	119.1	1.483719876		
<b>M12 Va</b>	364,7	318,7	118,2	1,514693662	<b>1.49</b>	<b>Franco</b>
<b>M8 Yo</b>	316,5	276,5	120,2	1,180781144		
<b>M17 Yo</b>	350,4	300,1	119,1	1,367379316	<b>1.27</b>	<b>Arcilloso Arenoso</b>
<b>M10 I</b>		310	120,1	1,434615094		
<b>M20 I</b>	370,9	321,3	120,6	1,516204578	<b>1.47</b>	<b>Franco Arenoso</b>

### Referencias bibliográficas

MONTENEGRO, H. y D. MALAGON. 1990. Propiedades físicas de los suelos. Bogotá, Col. IGAC. 813 p.

Técnicas de Evaluación de Compactación de Suelos. 1998. Consultado 5 de junio de 2009. Disponible en <http://www.ceniap.gov.ve/pbd/Monografias/compa/compac.html>

## Anexo 14: Capacidad de Campo y Punto Marchites Permanente

Universidad de El Salvador

Facultad de Ciencias Agronómicas

Departamento de Recursos Naturales y Medio Ambiente

### **“Identificación y Caracterización de Zonas de Recarga Acuífera en el Municipio de San Fernando, Chalatenango, El Salvador.”**

Elaborado por:

**Luis Alonso Alas Romero**

**Irvin David Cáceres Cruz**

#### ***Determinación de Humedad del Suelo a través de pruebas de Capacidad de Campo y Punto de Marchitez Permanente***

Capacidad de Campo (CC) es la cantidad de agua que un suelo puede retener frente a la acción de la gravedad. Esta generalmente ocurre a una tensión 1/10 atmósfera para suelos ligeros a 1/13 atmósfera para suelo pesados. La velocidad lenta de circulación del agua ocurre cuando el potencial matricial esta alrededor de 33 KPa (1/3 de atmósfera). En esta etapa se dice que el suelo está en Capacidad de Campo.

El punto de marchitez permanente (PMP) es el contenido de humedad en el suelo cuando las plantas se marchitan y no recobran su turgencia, este estado ocurre entre 10 a 20 atmósferas de tensión. Grado de humedad en el que el suelo ha perdido su agua de gravedad, pero le permite a la planta usar el agua.

A la diferencia entre la Capacidad de Campo y el Punto de Marchitez Permanente se llama Agua Útil (Agua Disponible), la cual es la que puede ser aprovechada por las plantas y la cual puede ser transpirada. El contenido total de esta agua útil constituye la Reserva de Agua del suelo.

**Materiales:**

- ✓ Equipo de ollas de presión
- ✓ Compresor 2 HP
- ✓ Hules
- ✓ Cajas de aluminio con tapaderas
- ✓ Platos de cerámica de 3 y 15 bar
- ✓ Barreno
- ✓ Estufa
- ✓ Balanza semianalítica
- ✓ Espátula
- ✓ Lápiz graso
- ✓ Cuchillo o navaja
- ✓ Cucharas plásticas
- ✓ Tirro
- ✓ Bolsas plásticas
- ✓ Recipiente (balde o cubeta)

**Porcentaje por peso de suelo seco**

<b>Textura del Suelo</b>	<b>PMP %</b>	<b>CC %</b>	<b>Densidad Aparente (g/cc)</b>
<b>Arenoso</b>	2-6	6-12	1,55-1,80
<b>Franco-arenoso</b>	4-8	10-18	1,40-1,60
<b>Franco</b>	8-12	18-26	1,35-1,50
<b>Franco- arcilloso</b>	11-15	23-31	1,30-1,40
<b>Arcillo-arenoso</b>	13-17	27-31	1,25-1,35
<b>Arcilloso</b>	15-19	31-39	1,20-1,30

Punto de marchitez permanente y capacidad de campo en porcentaje por peso de suelo seco de diferentes texturas de suelos (Grassi, 1976).

**Metodología:**

- Selección del lugar para extracción de muestras de acuerdo a cada formación geológica de la investigación; a la vez se georreferenció con equipo GPS para considerar su ubicación geográfica del lugar de muestreo.
- Extracción de muestra a 30 y 60 cm de profundidad con barreno, luego depositar en bolsas plásticas con su respectiva identificación del lugar.
- Dejar en reposo saturando las muestras en agua clasificando por lugar de muestreo y en recipientes separados dejar los platos de cerámica durante 24 horas.
- Limpiar y clasificar las cajas de aluminio junto con los hules, realizando cuatro repeticiones de cada lugar de muestreo.

- Depositar con la ayuda de cucharas plásticas el contenido del material geológico en cada hule sobre los platos de cerámica e inmediatamente depositar en cada olla de presión de capacidad de campo y punto de marchitez permanente.
- Calibrar el compresor manteniendo la presión constante durante el proceso de análisis por 24 horas y en cada una de las válvulas

### **Referencias bibliográficas**

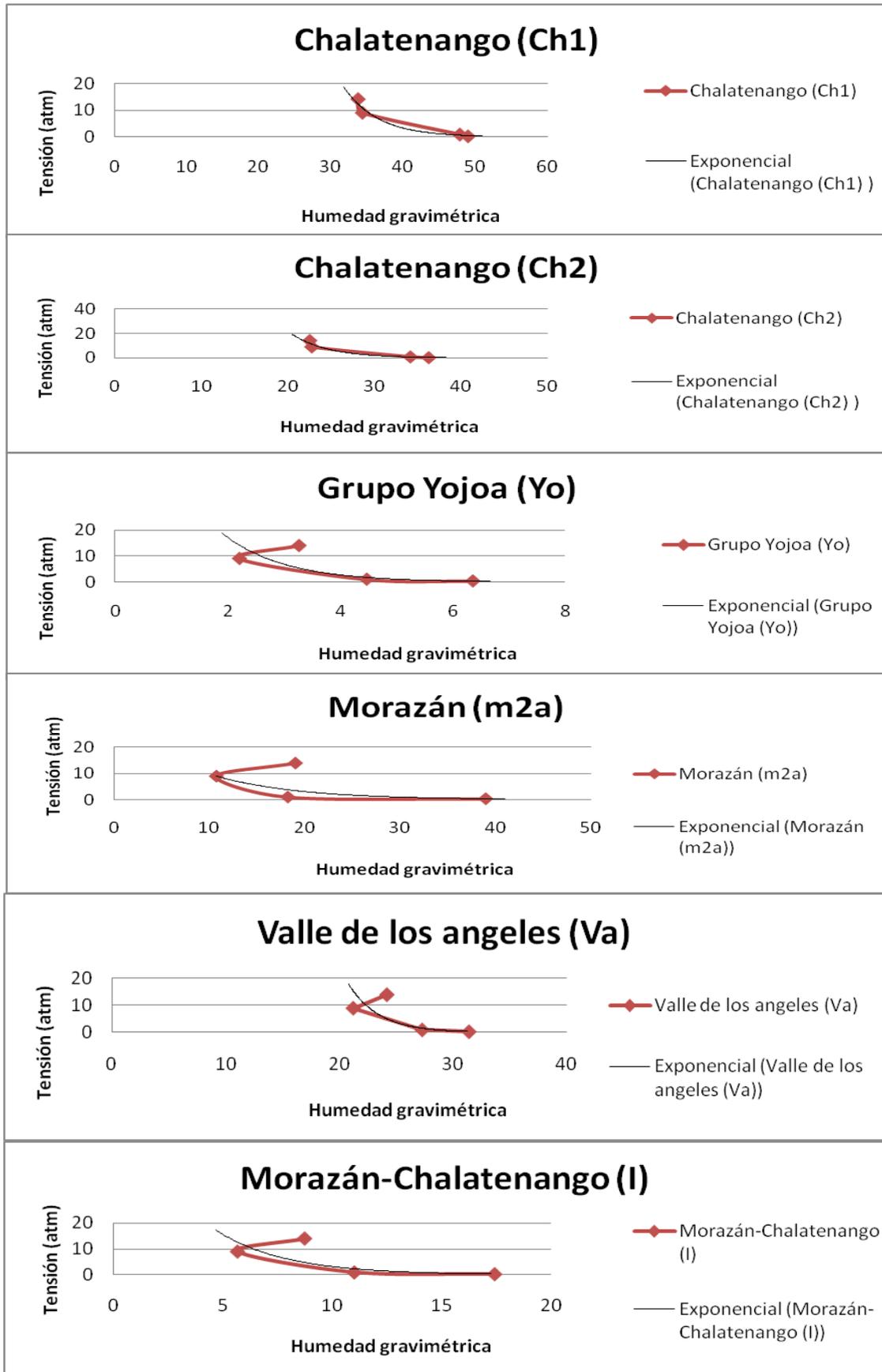
GRASSI, C. 1976. Manual de drenaje. Mérida, Ven. CIDIAT. 346 p.

PLA, I. 1977. Metodología para caracterización física con fines de diagnóstico de problemas de manejo y conservación de suelos en condiciones tropicales. Maracay, Ven. UCV-FAGRO. 112 p.

PLA, I. 1976. Conservación de aguas y tierras. Relaciones suelo-agua. Mérida, Ven. CIDIAT. 25 p.

## Anexo 15: Pruebas de Humedad gravimétrica en cada formación geológica.

Presion	Caja Vacía (gr)	Caja + Sh (gr)	Caja +Ss (gr)	%Hum Gravimétrica	Prom	Código	Muestra	Presion	Caja Vacía (gr)	Caja + Sh (gr)	Caja +Ss (gr)	%Hum Gravimétrica	Prom
0.33	36.43	62.8	54.12	49.07		A1	Chalatenango (Ch1)	1	34.49	67.11	56.45	48.54	
0.33	33.05	60.16	51.96	43.36		A2	Chalatenango (Ch1)	1	33.48	61.62	52.48	48.11	
0.33	31.74	55.5	47.57	50.09		A3	Chalatenango (Ch1)	1	37.1	63.95	55.3	47.53	
0.33	32.18	57.07	49	47.98	49.05	A4	Chalatenango (Ch1)	1	32.52	57.13	49.21	47.45	47.91
14	32.21	57.29	50.96	33.76		A5	Chalatenango (Ch1)	9	31.5	52.51	47.15	34.25	
14	32.77	58.31	51.79	34.28		A6	Chalatenango (Ch1)	9	32.05	51.46	46.52	34.14	
14	33.4	56.68	50.8	33.79		A7	Chalatenango (Ch1)	9	34.6	58.24	52.09	35.16	
14	32.11	56.07	50.07	33.41	33.81	A8	Chalatenango (Ch1)	9	32.51	61.23	53.93	34.08	34.41
0.33	33.22	57.91	51.14	37.78		B1	Chalatenango (Ch2)	1	38.69	59.43	54.08	34.76	
0.33	35.85	66.12	58.09	36.11		B2	Chalatenango (Ch2)	1	38.31	62.48	56.21	35.03	
0.33	32.85	63.25	55.19	36.08		B3	Chalatenango (Ch2)	1	31.65	53.11	47.62	34.38	
0.33	35.53	63.82	56.47	35.10	36.27	B4	Chalatenango (Ch2)	1	32.69	52.44	47.61	32.37	34.14
14	32.04	60.33	55.24	21.94		B5	Chalatenango (Ch2)	9	36.71	55.96	52.32	23.32	
14	35.84	65.13	59.76	22.45		B6	Chalatenango (Ch2)	9	33.13	59.59	54.65	22.96	
14	31.53	61.44	55.88	22.83		B7	Chalatenango (Ch2)	9	32	56.81	52.13	23.25	
14	31.41	55.11	50.71	22.80	22.51	B8	Chalatenango (Ch2)	9	32.64	54.51	50.65	21.43	22.74
0.33	36	65.85	64.07	6.34		C1	Yojoa (Yo)	1	33.53	71.96	70.2	4.80	
0.33	33.2	67.16	65.02	6.73		C2	Yojoa (Yo)	1	32.25	62.82	61.53	4.41	
0.33	33.25	61.93	60.24	6.26		C3	Yojoa (Yo)	1	31.4	63.94	62.55	4.46	
0.33	36.22	74.69	72.47	6.12	6.36	C4	Yojoa (Yo)	1	35.96	64.34	63.19	4.22	4.47
14	36.12	74.97	73.66	3.49		C5	Yojoa (Yo)	9	36.17	74.06	73.23	2.24	
14	36.94	74.01	72.86	3.20		C6	Yojoa (Yo)	9	32.19	63.72	62.99	2.37	
14	34.46	70.76	69.7	3.01		C7	Yojoa (Yo)	9	36.12	68.91	68.23	2.12	
14	33.9	67.69	66.59	3.36	3.27	C8	Yojoa (Yo)	9	36.59	63.39	62.84	2.10	2.21
0.33	35.86	67.95	60.2	31.84		D1	Valle de los angeles	1	35.18	72.85	65.01	26.28	
0.33	35.14	69.45	61.5	30.16		D2	Valle de los angeles	1	35.67	68.82	62.06	25.62	
0.33	33.78	72.32	63	31.90		D3	Valle de los angeles	1	32.54	59.19	53.28	28.50	
0.33	35.44	71.69	62.97	31.67	31.39	D4	Valle de los angeles	1	35.98	68.33	61.11	28.73	27.28
14	32.81	71.27	63.6	24.91		D5	Valle de los angeles	9	31.81	61.87	56.45	22.00	
14	33.16	70.8	63.51	24.02		D6	Valle de los angeles	9	34.84	67.05	61.28	21.82	
14	38.15	74.11	67.01	24.60		D7	Valle de los angeles	9	32.75	59.45	54.85	20.81	
14	35.62	67.42	61.44	23.16	24.17	D8	Valle de los angeles	9	36.26	68.37	62.96	20.26	21.22
0.33	35.64	61.92	54.35	40.46		E1	Morazán	1	35.62	64.92	60.36	18.43	
0.33	35.3	61.08	53.9	38.60		E2	Morazán	1	36.58	63.23	59.1	18.34	
0.33	34.55	62.13	54.5	38.25		E3	Morazán	1	36.96	66.7	62.14	18.11	
0.33	31.75	63.3	54.5	38.68	39.00	E4	Morazán	1	32.11	61.25	56.82	17.93	18.20
14	33.32	61.65	58.76	11.36		E5	Morazán	9	32.2	59.6	56.65	12.07	
14	37.08	66.83	59.66	31.75		E6	Morazán	9	35.87	60.37	58.24	9.52	
14	36.04	63.48	58.73	20.93		E7	Morazán	9	35.73	62.52	60.4	8.59	
14	32.9	60.94	57.95	11.94	19.00	E8	Morazán	9	33.16	57.5	54.78	12.58	10.69
0.33	32.86	66.12	61.16	17.53		F1	Grupo Yojoa	1	33.72	76.3	70.45	15.93	
0.33	33.77	68.94	64.05	16.15		F2	Grupo Yojoa	1	34.56	71.07	65.75	17.06	
0.33	32.76	66.83	61.74	17.56		F3	Grupo Yojoa	1	35.39	73.55	67.95	17.20	
0.33	32.29	64.57	59.48	18.72	17.49	F4	Grupo Yojoa	1	32.17	74.46	68.42	16.66	16.71
14	35.79	69.24	65.47	12.70		F5	Grupo Yojoa	9	34.09	64.25	61.32	10.76	
14	32.72	67.62	63.9	11.93		F6	Grupo Yojoa	9	37.84	62.59	60.28	10.29	
14	38.56	78.21	74.01	11.85		F7	Grupo Yojoa	9	32.48	61.12	58.42	10.41	
14	34.39	65.56	61.8	13.72	12.55	F8	Grupo Yojoa	9	36.13	66.1	63.27	10.43	10.47
0.33	35.74	63.15	58.81	18.81		G1	Morazán-Chalatenango	1	33.01	68.38	65.07	10.32	
0.33	33.03	61.02	56.57	18.90		G2	Morazán-Chalatenango	1	32.55	66.09	62.53	11.87	
0.33	36.18	72.77	67.74	15.94		G3	Morazán-Chalatenango	1	37.4	71.57	68.26	10.73	
0.33	36.24	69.32	64.74	16.07	17.43	G4	Morazán-Chalatenango	1	31.61	57.47	54.88	11.13	11.01
14	32.96	63.62	61.33	8.07		G5	Morazán-Chalatenango	9	31.87	57.77	56.48	5.24	
14	34.51	64.98	62.79	7.74		G6	Morazán-Chalatenango	9	34.79	64.88	63.43	5.06	
14	32.52	61.75	59.16	9.72		G7	Morazán-Chalatenango	9	36.36	66.22	64.35	6.68	
14	37.56	63.08	60.88	9.43	8.74	G8	Morazán-Chalatenango	9	36.03	64.84	63.28	5.72	5.68



Anexo 16: Método del Permeámetro de Guelph

Universidad de El Salvador

Facultad de Ciencias Agronómicas

Departamento de Recursos Naturales y Medio Ambiente

**“Identificación y Caracterización de Zonas de Recarga Acuífera en el Municipio de San Fernando, Chalatenango, El Salvador.”**

**Determinación de la conductividad Hidráulica en terreno con el Permeámetro de Guelph**



**POR:**

**Luis Alonso Alas Romero**

**Irvin David Cáceres Cruz**

CIUDAD UNIVERSITARIA, ABRIL DE 2009

## MEDICION DE LA CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA CON EL METODO DEL PERMEÁMETRO DE GUELPH.



Figura 3. Realizando pruebas de infiltración con el Permeámetro de Guelph

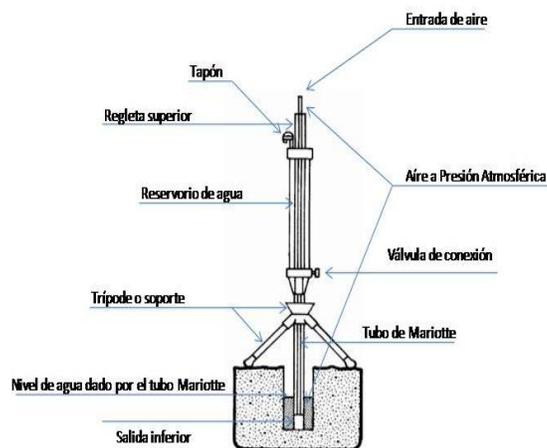
### Principios del Permeámetro Guelph

- ✓ Mantiene carga constante en el Pozo
- ✓ Tubo de Marriotte permite salida de burbujas solamente
- ✓ Las burbujas mantiene el nivel de agua en el agujero
- ✓ En régimen permite las únicas bajas por infiltración de agua

### Partes del Permeámetro Guelph

- ✓ 2 reservorios con válvula de conexión
- ✓ Tubo de Mariotte
- ✓ Salida inferior

### Partes del Permeámetro Guelph



- ✓ Regla superior
- ✓ Sello de vacío
- ✓ Trípode o soporte

## MATERIALES Y EQUIPO

- ✓ Permeámetro Guelph
- ✓ Perforadores Cilíndricos
- ✓ Cepillo
- ✓ Bidón con capacidad de 5 litros
- ✓ Cronómetro
- ✓ Trípode
- ✓ Soporte
- ✓ Tapón
- ✓ Estuche del Permeámetro
- ✓ Cinta métrica



## PROCEDIMIENTO DE CAMPO.

### Instalación y Llenado

Paso 1. Hacer un agujero de 6 cms de diámetro y 40-70 cms de Profundidad



Paso 2. Instalar el tubo principal a través del trípode apoyando el soporte en él hasta el fondo del pozo.



Paso 3. Con el bidón llenar los reservorios, cerciorándose de tener la válvula abierta y el tubo de Mariotte abajo



Paso 4. Cerrar los sellos de vacío. Levantar lentamente el tubo de Mariotte hasta el nivel deseado (que se bajo 10cms o 5 cms)



Paso 5. Cuando la carga en el pozo se haya estabilizado empezar a medir los niveles de los reservorios a través del tiempo. Si la baja del nivel se hace imperceptible en 2 minutos, cerrar la válvula de conexión entre los reservorios.

### **PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN.**

La conductividad Hidráulica es una medida de la habilidad de un medio poroso para

Transmitir agua, y es un parámetro esencial para solucionar problemas agrícolas, hidrológicos y ambientales relacionados con el movimiento del agua a través de suelo y estratos; sus superficiales. Es una propiedad muy variable y dependiente de la estructura del suelo, de la textura, y de las características del sistema poroso (diámetro y tortuosidad)

Con el registro de campo se procede a realizar los siguientes cálculos:

1- Se calculo Área

$$A = 0.785 \cdot d^2 \text{ (cm}^2\text{)}$$

2- Caudal

$$Q = V/t \text{ (cm}^3\text{/hrs)}$$

3- Calculo de Conductividad Hidráulica "K"

$$K = \{ Q * L / A * h \}$$

Donde:

Q = caudal (L<sup>3</sup> T<sup>-1</sup>)

K = conductividad Hidráulica (LT<sup>-1</sup>)

A = Área de la sección transversal del flujo (L<sup>2</sup>)

h= Altura de la columna de agua (L)

L= Altura de la columna del suelo (L)

Anexo 17: Hoja de cálculo del Balance Hídrico, El Cálculo de la Evapotranspiración para en el municipio de San Fernando, por el método de Hargreaves EL SALVADOR.

### CUADRO RESUMEN CLIMATOLOGICO MENSUAL

INFORMACION:													
Nombre	Las Pilas												
Codigo	G13												
Ubicación	San Ignacio												
Latitud	14° 22'N												
Longitud	89° 05'W												
Altitud (msnm)	1960 m.s.n.m.												

BASE DE DATOS

CALCULO DE ETP

AGROCLIMA TOGRAMA

SALIR

Elemento climatico	MESES											
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC
Precipitacion (mm)	5	2	13	25	157	276	230	201	358	198	33	6
Temp. Max (°C)	21	22	24	25	24	23	24	24	24	22	21	21
Temp med (°C)	15	15	17	18	18	18	18	18	18	17	16	16
Temp min (°C)	12	13	14	15	16	16	16	16	16	15	14	13
Temp. Humeda (°C)	79	74	73	71	78	82	78	79	82	82	81	79
Veloc de viento (m/s)	1.5	1.4	1.4	1.2	1	0.8	0.9	0.8	0.7	0.8	0.9	1.1
Humedad Relativa (%)	60	60	64	64	79	81	80	81	84	81	74	68
Rad. Solar (cal/(cm2*dia))												
Radiacion extraterr. (mm)	14.41	13.62	14.89	15.65	15.83	15.7	15.72	15.65	15.14	14.12	13.25	12.47
Brillo solar "n" (h/d)	9.8	9.8	9.5	7.9	6	6.3	7.8	7.9	6.4	7.4	9.1	9.6
Fotoperiodo "N" (h/d)	11.4	11.3	12	12.5	12.8	13	12.8	12.6	12.1	11.8	11.4	11.3
Presion Atm. (mm Hg)												
Evap. de tanque (mm/d)	7.33	6.58	8.08	6.95	6.5	6.2	6.5	6.8	6.4	6.7	5.79	7.62
Coef. de thornthwaite "K"	0.98	0.91	1.03	1.04	1.1	1.07	1.11	1.08	1.02	1.01	0.97	0.96
Coef. "P" de Blaney C.	0.26	0.26	0.27	0.28	0.29	0.29	0.29	0.28	0.28	0.27	0.26	0.25
Coeficiente de tanque "Kp"	0.7	0.7	0.7	0.7	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.7
Coef. "a" de Blaney C.	-2.15	-2.15	-1.8	-1.8	-1.45	-1.45	-1.8	-1.8	-1.45	-1.8	-1.8	-2.15
Coef. "b" de Blaney C.	1.14	1.14	0.97	0.97	0.8	0.8	0.97	0.97	0.8	0.97	0.97	1.14

### CALCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL "ETP" MENSUAL

#### EMPLEANDO DIFERENTES FORMULAS

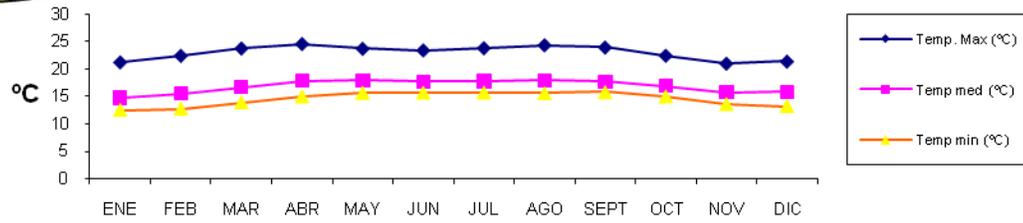
INFORMACION CLIMATICA

BALANCE HIDRICO

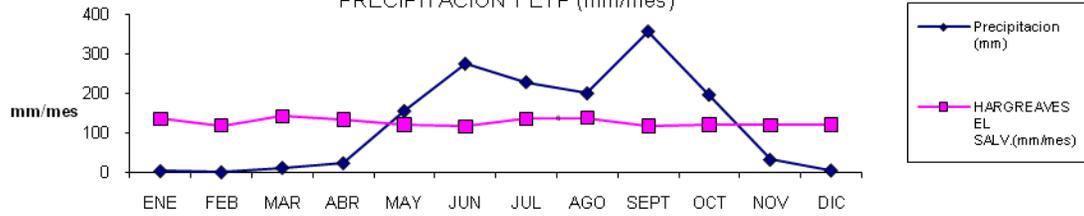
FORMULA	MESES												AÑO
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC	
TANQUE EVAPORIMETRO (mm/d)	5.1	4.6	5.7	4.9	5.2	5.0	5.2	5.4	5.1	5.4	4.6	5.3	
TANQUE EVAPORIMETRO (mm/mes)	159.1	129.0	175.3	146.0	161.2	148.8	161.2	168.6	153.6	166.2	139.0	165.4	1873
Blaney Cridle (mm/d)	2.6	2.7	2.6	2.9	2.5	2.5	3.0	2.9	2.4	2.6	2.3	2.4	
Blaney Cridle (mm/mes)	79.3	74.4	80.47	86.4	78.6	75.6	94.4	89.9	72.5	80.1	67.68	75.43	955
HARGREAVES (mm/d)	3.4	3.4	3.9	4.2	3.9	3.7	3.8	4.0	3.7	3.2	2.9	2.9	
HARGREAVES (mm/mes)	105.4	96.5	121.8	125.0	119.4	112.0	119.2	124.2	111.8	100.0	87.2	89.1	1311
HARGREAVES EL SALV.(mm/d)	4.4	4.3	4.6	4.5	3.9	3.9	4.4	4.5	4.0	3.9	4.0	3.9	
HARGREAVES EL SALV.(mm/mes)	136	120	143	135	121	118	137	139	119	122	121	121	1530
THORNTWAITE (cm/mes)	5.4	5.5	7.1	8.1	8.6	8.2	8.6	8.5	7.8	7.1	6.0	6.0	
THORNTWAITE (mm/m)	53.8	54.8	70.8	81.3	86.4	81.9	85.5	84.7	78.4	71.5	60.4	60.3	869.7

INFORMACION

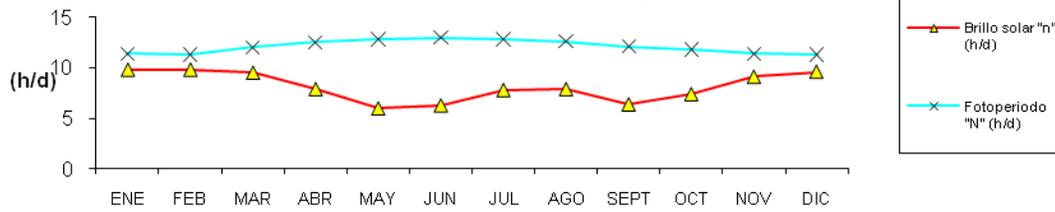
TEMPERATURAS MEDIAS MENSUALES (°C)



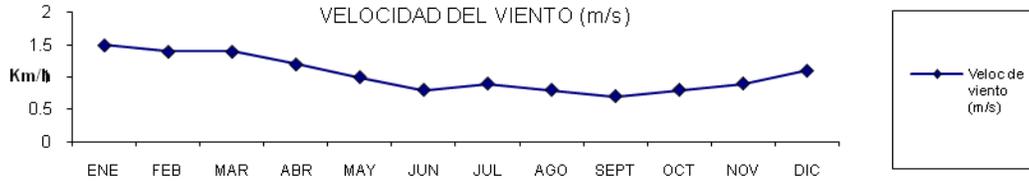
PRECIPITACION Y ETP (mm/mes)



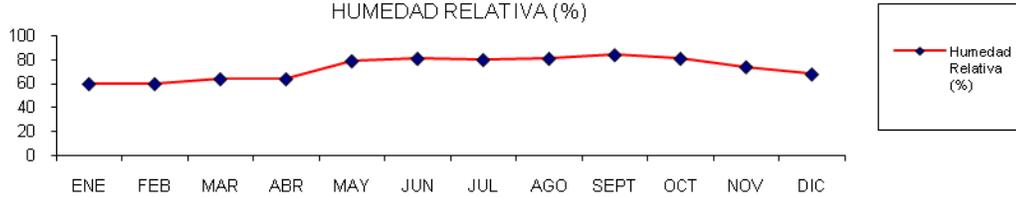
BRILLO SOLAR Y FOTOPERIODO (h/d)



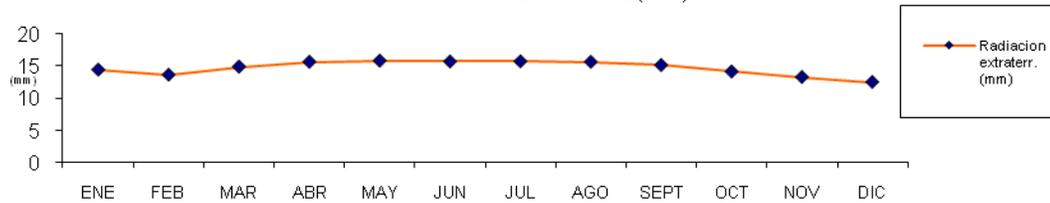
VELOCIDAD DEL VIENTO (m/s)



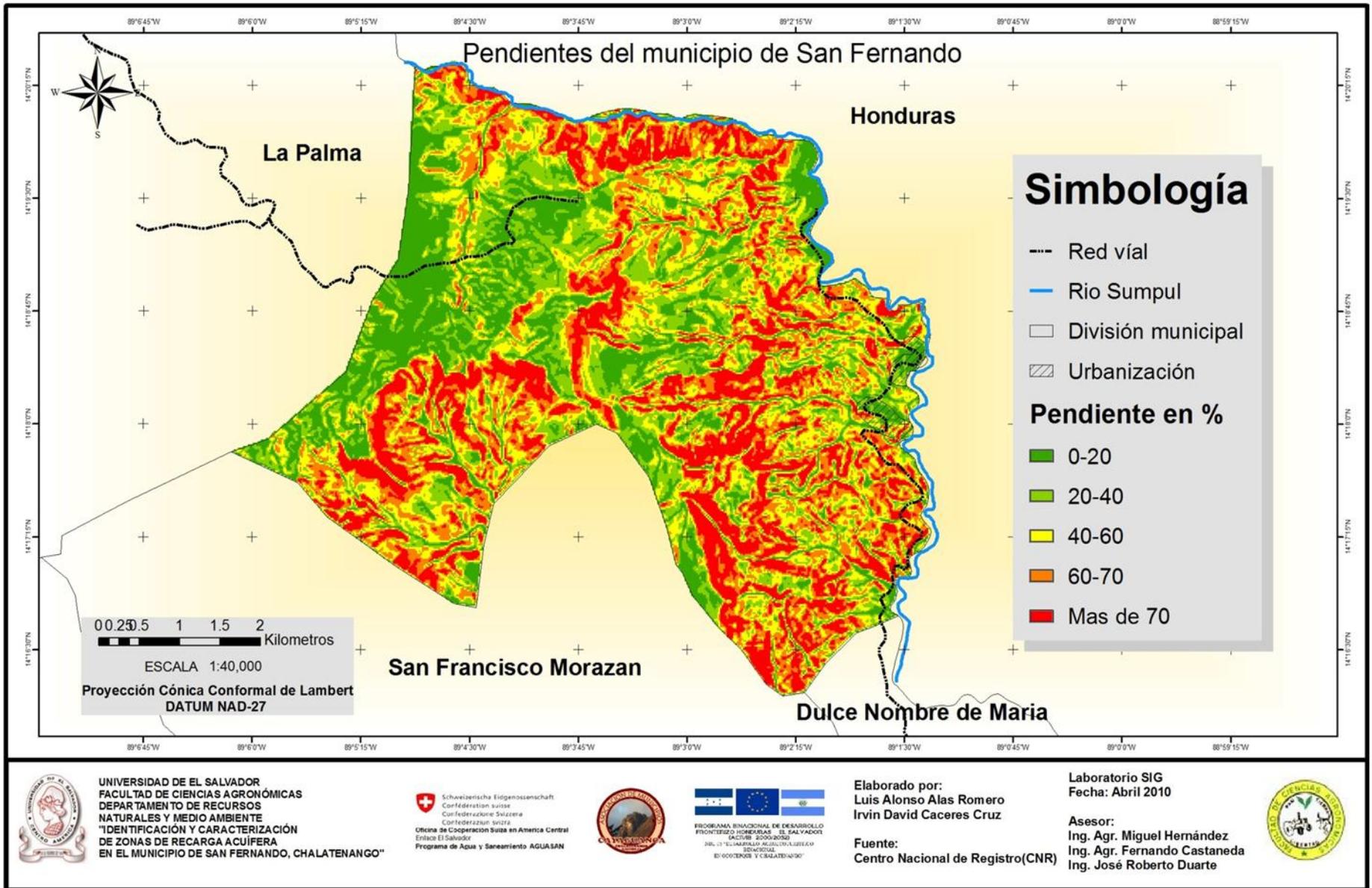
HUMEDAD RELATIVA (%)



RADIACION EXTRATERRESTRE (mm)



Anexo 18: Mapa de pendiente de San Fernando



Anexo 19. Tablas de formaciones geológicas con datos del balance hídrico de suelos, de la zona de recarga "Jocotán" del municipio de San Fernando, Chalatenango, 2009.

### BALANCE HIDRICO DE SUELOS Gunther Schosinsky

Zona de Estudio: JOCOTAN 1

Fecha:

Textura de Suelo: Arcillosa-Arenosa

Simbología

fc: Capacidad de Infiltración.

I: Infiltración.

CC: Capacidad de Campo.

PM: Punto de Marchitez.

PR: Profundidad de Raíces.

(CC-PM): Rango de Agua Disponible.

DS: Densidad de Suelo.

C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR

C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR

Kp: Factor por pendiente ( ver léame)

Kv: Factor por vegetación ( ver léame)

Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración

P: Precipitación Media Mensual.

Pi: Precipitación que infiltra.

ESC: Escorrentía Superficial

ETP: Evapotranspiración Potencial.

ETR: Evapotranspiración Real.

HSi: Humedad de Suelo Inicial.

HD: Humedad Disponible

HSf: Humedad de Suelo Final.

DCC: Déficit de Capacidad de Campo.

Rp: Recarga Potencial

NR: Necesidad de Riego.

Ret: Retención de Lluvia

fc [mm/d]

991.68

Kp [0.01%]

0.04

Kv [0.01%]

0.20

Kfc [0.01%]

0.96642

I [0.01%]

1

DS (g/cm<sup>3</sup>):

1.30

PR (mm)

3000.00

HSi (mm)

1414.53

Nº de mes con que inicia HSi; 1,2,3...12?

11

Lluvia retenida [0.01%]: Bosques=0.2, otros=0.12

0.20

por peso

(%) (mm)

CC 36.27 1414.53

PM 22.51 877.89

(CC-PM) 13.76 536.64

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	5.00	2.00	13.00	25.00	157.00	276.00	230.00	201.00	357.91	197.55	33.00	6.00	1503.46
Ret [mm]	5.00	2.00	5.00	5.00	31.40	55.20	46.00	40.20	71.58	39.51	6.60	5.00	312.49
Pi (mm)	0.00	0.00	8.00	20.00	125.60	220.80	184.00	160.80	286.33	158.04	26.40	1.00	1190.97
ESC (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ETP (mm)	137.50	117.90	144.60	135.20	121.70	118.80	137.80	139.20	119.70	122.10	121.50	121.90	1537.90
HSi (mm)	1239.92	1159.04	1104.06	1057.46	1033.52	1102.57	1235.67	1298.90	1332.70	1414.53	1414.53	1330.20	
C1	0.67	0.52	0.44	0.37	0.52	0.83	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.84	
C2	0.50	0.41	0.32	0.28	0.41	0.65	0.75	0.82	1.00	1.00	0.82	0.65	
HD (mm)	362.03	281.15	234.17	199.57	281.23	445.48	541.78	581.81	741.13	694.68	563.04	453.31	
ETR (mm)	80.88	54.98	54.60	43.95	56.55	87.70	120.77	127.00	119.70	122.10	110.73	91.28	1070.23
HSf (mm)	1159.04	1104.06	1057.46	1033.52	1102.57	1235.67	1298.90	1332.70	1414.53	1414.53	1330.20	1239.92	
DCC (mm)	255.49	310.47	357.07	381.01	311.96	178.86	115.63	81.83	0.00	0.00	84.33	174.61	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	84.79	35.94	0.00	0.00	120.73
NR (mm)	312.11	373.39	447.07	472.27	377.11	209.96	132.66	94.03	0.00	0.00	95.10	205.23	2718.93

final de mes

inicio de mes

final de mes antes de ETR

final de mes despues de ETR

final de mes antes de ETR

final de mes

final de mes

final de mes

final de mes

Anexo 20. Tablas de formaciones geológicas con datos del balance hídrico de suelos, de la zona de recarga "Jocotán" del municipio de San Fernando, Chalatenango, 2009.

**BALANCE HIDRICO DE SUELOS**  
**Gunther Schosinsky**

Zona de Estudio: JOCOTAN 2

Fecha:

Textura de Suelo: Arcillosa

Simbología

fc: Capacidad de Infiltración.

I: Infiltración.

CC: Capacidad de Campo.

PM: Punto de Marchitez.

PR: Profundidad de Raíces.

(CC-PM): Rango de Agua Disponible.

DS: Densidad de Suelo.

C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR

C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR

Kp: Factor por pendiente ( ver léame)

Kv: Factor por vegetación ( ver léame)

Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración

P: Precipitación Media Mensual.

Pi: Precipitación que infiltra.

ESC: Escorrentía Superficial

ETP: Evapotranspiración Potencial.

ETR: Evapotranspiración Real.

HSi: Humedad de Suelo Inicial.

HD: Humedad Disponible

HSf: Humedad de Suelo Final.

DCC: Déficit de Capacidad de Campo.

Rp: Recarga Potencial

NR: Necesidad de Riego.

Ret: Retención de lluvia

fc [mm/d]

288.00

Kp [0.01%]

0.04

Kv [0.01%]

0.20

Kfc [0.01%]

0.74466

I [0.01%]

0.98466

DS (g/cm<sup>3</sup>):

1.25

PR (mm)

2000.00

HSi (mm)

975.00

Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?

11

Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12

0.20

por peso

(%)

(mm)

CC 39.00 975.00

PM 19.00 475.00

(CC-PM) 20.00 500.00

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	5.00	2.00	13.00	25.00	157.00	276.00	230.00	201.00	357.91	197.55	33.00	6.00	1503.46
Ret [mm]	5.00	2.00	5.00	5.00	31.40	55.20	46.00	40.20	71.58	39.51	6.60	5.00	312.49
Pi (mm)	0.00	0.00	7.88	19.69	123.67	217.41	181.18	158.33	281.94	155.62	25.99	0.98	1172.70
ESC (mm)	0.00	0.00	0.12	0.31	1.93	3.39	2.82	2.47	4.39	2.42	0.41	0.02	18.27
ETP (mm)	137.50	117.90	144.60	135.20	121.70	118.80	137.80	139.20	119.70	122.10	121.50	121.90	1537.90
HSi (mm)	802.79	725.05	673.04	629.97	608.82	677.45	806.95	867.51	898.94	975.00	975.00	891.10	
C1	0.66	0.50	0.41	0.35	0.51	0.84	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.83	
C2	0.48	0.38	0.29	0.25	0.39	0.64	0.75	0.82	1.00	1.00	0.81	0.63	
HD (mm)	327.79	250.05	205.91	174.67	257.50	419.86	513.13	550.84	705.88	655.62	525.99	417.08	
ETR (mm)	77.75	52.01	50.94	40.84	55.05	87.91	120.62	126.90	119.70	122.10	109.90	89.29	1053.00
HSf (mm)	725.05	673.04	629.97	608.82	677.45	806.95	867.51	898.94	975.00	975.00	891.10	802.79	
DCC (mm)	249.95	301.96	345.03	366.18	297.55	168.05	107.49	76.06	0.00	0.00	83.90	172.21	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	86.18	33.52	0.00	0.00	119.69
NR (mm)	309.71	367.85	438.69	460.53	364.20	198.94	124.67	88.36	0.00	0.00	95.51	204.82	2653.27

final de mes

inicio de mes

final de mes antes de ETR

final de mes despues de ETR

final de mes antes de ETR

final de mes

final de mes

final de mes

final de mes

Anexo 21. Tablas de formaciones geológicas con datos del balance hídrico de suelos, de la zona de recarga "Jocotán" del municipio de San Fernando, Chalatenango, 2009

**BALANCE HIDRICO DE SUELOS**  
**Gunther Schosinsky**

Zona de Estudio: JOCOTAN 3

Fecha:

Textura de Suelo: Arcillosa

Simbología

fc: Capacidad de Infiltración.

I: Infiltración.

CC: Capacidad de Campo.

PM: Punto de Marchitez.

PR: Profundidad de Raíces.

(CC-PM): Rango de Agua Disponible.

DS: Densidad de Suelo.

C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR

C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR

Kp: Factor por pendiente ( ver léame)

Kv: Factor por vegetación ( ver léame)

Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración

P: Precipitación Media Mensual.

Pi: Precipitación que infiltra.

ESC: Escorrentía Superficial

ETP: Evapotranspiración Potencial.

ETR: Evapotranspiración Real.

HSi: Humedad de Suelo Inicial.

HD: Humedad Disponible

HSf: Humedad de Suelo Final.

DCC: Déficit de Capacidad de Campo.

Rp: Recarga Potencial

NR: Necesidad de Riego.

Ret: Retención de lluvia

fc [mm/d]

432.48

Kp [0.01%]

0.04

Kv [0.01%]

0.20

Kfc [0.01%]

0.83096

I [0.01%]

1

DS (g/cm<sup>3</sup>):

1.23

PR (mm)

2000.00

HSi (mm)

1206.63

Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?

11

Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12

0.20

por peso

(%)

(mm)

CC 49.05 1206.63

PM 33.81 831.73

(CC-PM) 15.24 374.90

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	5.00	2.00	13.00	25.00	157.00	276.00	230.00	201.00	357.91	197.55	33.00	6.00	1503.46
Ret [mm]	5.00	2.00	5.00	5.00	31.40	55.20	46.00	40.20	71.58	39.51	6.60	5.00	312.49
Pi (mm)	0.00	0.00	8.00	20.00	125.60	220.80	184.00	160.80	286.33	158.04	26.40	1.00	1190.97
ESC (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ETP (mm)	137.50	117.90	144.60	135.20	121.70	118.80	137.80	139.20	119.70	122.10	121.50	121.90	1537.90
HSi (mm)	1047.28	982.72	942.70	913.66	903.53	975.45	1099.04	1156.52	1183.42	1206.63	1206.63	1126.94	
C1	0.57	0.40	0.32	0.27	0.53	0.97	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.79	
C2	0.36	0.28	0.19	0.17	0.36	0.66	0.84	0.92	1.00	1.00	0.75	0.53	
HD (mm)	215.56	151.00	118.98	101.94	197.41	364.53	451.32	485.60	638.02	532.94	401.30	296.21	
ETR (mm)	64.56	40.02	37.04	30.13	53.68	97.21	126.52	133.91	119.70	122.10	106.09	80.66	1011.61
HSf (mm)	982.72	942.70	913.66	903.53	975.45	1099.04	1156.52	1183.42	1206.63	1206.63	1126.94	1047.28	
DCC (mm)	223.91	263.93	292.97	303.10	231.18	107.59	50.11	23.21	0.00	0.00	79.69	159.35	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	143.41	35.94	0.00	0.00	179.35
NR (mm)	296.85	341.81	400.53	408.17	299.20	129.18	61.39	28.51	0.00	0.00	95.10	200.59	2261.30

final de mes

inicio de mes

final de mes antes de ETR

final de mes despues de ETR

final de mes antes de ETR

final de mes

Anexo 22. Tablas de formaciones geológicas con datos del balance hídrico de suelos, de la zona de recarga “Los Llanitos” del municipio de San Fernando, Chalatenango, 2009.

**BALANCE HIDRICO DE SUELOS**  
**Gunther Schosinsky**

Zona de Estudio: **LOS LLANITOS 1**

Fecha:

Textura de Suelo: **Arcillosa-Arenosa**

Simbología

- fc: Capacidad de Infiltración.
- I: Infiltración.
- CC: Capacidad de Campo.
- PM: Punto de Marchitez.
- PR: Profundidad de Raíces.
- (CC-PM): Rango de Agua Disponible.
- DS: Densidad de Suelo.
- C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR
- C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR
- Kp: Factor por pendiente ( ver léame)
- Kv: Factor por vegetación ( ver léame)
- Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración
- P: Precipitación Media Mensual.
- Pi: Precipitación que infiltra.
- ESC: Escorrentía Superficial
- ETP: Evapotranspiración Potencial.
- ETR: Evapotranspiración Real.
- HSi: Humedad de Suelo Inicial.
- HD: Humedad Disponible
- HSf: Humedad de Suelo Final.
- DCC: Déficit de Capacidad de Campo.
- Rp: Recarga Potencial
- NR: Necesidad de Riego.
- Ret: Retención de Lluvia

fc [mm/d]	991.68	
Kp [0.01%]	0.27	
Kv [0.01%]	0.21	
Kfc [0.01%]	0.96642	
I [0.01%]	1	
DS (g/cm <sup>3</sup> ):	1.30	
PR (mm)	3000.00	
HSi (mm)	707.00	
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	11	
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12	0.12	
		por peso
		(%) (mm)
CC	36.27	1414.53
PM	22.51	877.89
(CC-PM)	13.76	536.64

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	5.00	2.00	13.00	25.00	157.00	276.00	230.00	201.00	357.91	197.55	33.00	6.00	1503.46
Ret [mm]	5.00	2.00	5.00	5.00	18.84	33.12	27.60	24.12	42.95	23.71	5.00	5.00	197.34
Pi (mm)	0.00	0.00	8.00	20.00	138.16	242.88	202.40	176.88	314.96	173.84	28.00	1.00	1306.12
ESC (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ETP (mm)	137.50	117.90	144.60	135.20	121.70	118.80	137.80	139.20	119.70	122.10	121.50	121.90	1537.90
HSi (mm)	878.69	878.51	878.39	884.41	898.57	1004.79	1174.87	1265.50	1317.62	1414.53	707.00	877.89	
C1	0.00	0.00	0.02	0.05	0.30	0.69	0.93	1.00	1.00	1.00	-0.27	0.00	
C2	0.00	0.00	0.01	0.04	0.23	0.54	0.69	0.79	1.00	1.00	0.00	0.00	
HD (mm)	0.80	0.62	8.50	26.52	158.84	369.78	499.38	564.49	754.69	710.48	-142.89	1.00	
ETR (mm)	0.18	0.12	1.98	5.84	31.94	72.80	111.77	124.76	119.70	122.10	-142.89	0.20	448.50
HSf (mm)	878.51	878.39	884.41	898.57	1004.79	1174.87	1265.50	1317.62	1414.53	1414.53	877.89	878.69	
DCC (mm)	536.02	536.14	530.12	515.96	409.74	239.66	149.03	96.91	0.00	0.00	536.64	535.84	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	98.35	51.74	0.00	0.00	150.10
NR (mm)	673.34	653.92	672.74	645.32	499.50	285.66	175.06	111.35	0.00	0.00	801.03	657.54	5175.46

final de mes  
inicio de mes  
final de mes a  
final de mes d  
final de mes a  
final de mes  
final de mes  
final de mes  
final de mes

Anexo 23. Tablas de formaciones geológicas con datos del balance hídrico de suelos, de la zona de recarga “Los Llanitos” del municipio de San Fernando, Chalatenango, 2009.

**BALANCE HIDRICO DE SUELOS**  
**Gunther Schosinsky**

Zona de Estudio: **LOS LLANITOS 2**

Fecha:

Textura de Suelo: **Arcillosa**

Simbología

- |  |                                     |
|--|-------------------------------------|
| fc: Capacidad de Infiltración.                                   | P: Precipitación Media Mensual.     |
| I: Infiltración.   | Pi: Precipitación que infiltra.     |
| CC: Capacidad de Campo.  | ESC: Escorrentía Superficial        |
| PM: Punto de Marchitez.  | ETP: Evapotranspiración Potencial.  |
| PR: Profundidad de Raíces.                                       | ETR: Evapotranspiración Real.       |
| (CC-PM): Rango de Agua Disponible.                               | HSi: Humedad de Suelo Inicial.      |
| DS: Densidad de Suelo.   | HD: Humedad Disponible              |
| C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR   | HSf: Humedad de Suelo Final.        |
| C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR | DCC: Déficit de Capacidad de Campo. |
| Kp: Factor por pendiente ( ver léame)                            | Rp: Recarga Potencial               |
| Kv: Factor por vegetación ( ver léame)                           | NR: Necesidad de Riego.             |
| Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración        | Ret: Retención de Iluvia            |

fc [mm/d]	432.48		
Kp [0.01%]	0.04		
Kv [0.01%]	0.21		
Kfc [0.01%]	0.83096		
I [0.01%]	1		
DS (g/cm <sup>3</sup> ):	1.23		
PR (mm)	3000.00		
HSi (mm)	1809.00		
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	11		
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12	0.12		
		por peso (%)	(mm)
		CC	49.05 1809.95
		PM	33.81 1247.59
		(CC-PM)	15.24 562.36

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	5.00	2.00	13.00	25.00	157.00	276.00	230.00	201.00	357.91	197.55	33.00	6.00	1503.46
Ret [mm]	5.00	2.00	5.00	5.00	18.84	33.12	27.60	24.12	42.95	23.71	5.00	5.00	197.34
Pi (mm)	0.00	0.00	8.00	20.00	138.16	242.88	202.40	176.88	314.96	173.84	28.00	1.00	1306.12
ESC (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ETP (mm)	137.50	117.90	144.60	135.20	121.70	118.80	137.80	139.20	119.70	122.10	121.50	121.90	1537.90
HSi (mm)	1634.10	1551.15	1494.18	1445.13	1419.12	1497.51	1647.28	1723.90	1767.56	1809.95	1809.00	1725.70	
C1	0.69	0.54	0.45	0.39	0.55	0.88	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.85	
C2	0.52	0.43	0.34	0.29	0.43	0.69	0.83	0.91	1.00	1.00	0.83	0.67	
HD (mm)	386.51	303.56	254.59	217.54	309.69	492.80	602.09	653.19	834.93	736.20	589.41	479.11	
ETR (mm)	82.95	56.97	57.05	46.01	59.77	93.11	125.79	133.21	119.70	122.10	111.30	92.60	1100.56
HSf (mm)	1551.15	1494.18	1445.13	1419.12	1497.51	1647.28	1723.90	1767.56	1809.95	1809.95	1725.70	1634.10	
DCC (mm)	258.79	315.77	364.81	390.83	312.43	162.66	86.05	42.38	0.00	0.00	84.24	175.84	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	152.88	51.74	0.00	0.00	204.62
NR (mm)	313.34	376.69	452.37	480.01	374.37	188.35	98.06	48.37	0.00	0.00	94.45	205.14	2631.16

final de mes  
inicio de mes  
final de mes a  
final de mes d  
final de mes a  
final de mes  
final de mes  
final de mes  
final de mes

Anexo 24 Tablas de formaciones geológicas con datos del balance hídrico de suelos, de la zona de recarga “Valla de Jesús” del municipio de San Fernando, Chalatenango, 2009.

**BALANCE HIDRICO DE SUELOS**  
**Gunther Schosinsky**

Zona de Estudio: VALLE DE JESUS 1

Fecha:

Textura de Suelo: Franca

Simbología

- fc: Capacidad de Infiltración.
- I: Infiltración.
- CC: Capacidad de Campo.
- PM: Punto de Marchitez.
- PR: Profundidad de Raíces.
- (CC-PM): Rango de Agua Disponible.
- DS: Densidad de Suelo.
- C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR
- C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR
- Kp: Factor por pendiente ( ver léame)
- Kv: Factor por vegetación ( ver léame)
- Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración
- P: Precipitación Media Mensual.
- Pi: Precipitación que infiltra.
- ESC: Escorrentía Superficial
- ETP: Evapotranspiración Potencial.
- ETR: Evapotranspiración Real.
- HSi: Humedad de Suelo Inicial.
- HD: Humedad Disponible
- HSf: Humedad de Suelo Final.
- DCC: Déficit de Capacidad de Campo.
- Rp: Recarga Potencial
- NR: Necesidad de Riego.
- Ret: Retención de lluvia

fc [mm/d]	794.16	
Kp [0.01%]	0.10	
Kv [0.01%]	0.20	
Kfc [0.01%]	0.93753	
I [0.01%]	1	
DS (g/cm <sup>3</sup> ):	1.43	
PR (mm)	3000.00	
HSi (mm)	1346.63	
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	11	
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12	0.20	
	por peso (%)	(mm)
CC	31.39	1346.63
PM	24.17	1036.89
(CC-PM)	7.22	309.74

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	5.00	2.00	13.00	25.00	157.00	276.00	230.00	201.00	357.91	197.55	33.00	6.00	1503.46
Ret [mm]	5.00	2.00	5.00	5.00	31.40	55.20	46.00	40.20	71.58	39.51	6.60	5.00	312.49
Pi (mm)	0.00	0.00	8.00	20.00	125.60	220.80	184.00	160.80	286.33	158.04	26.40	1.00	1190.97
ESC (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ETP (mm)	137.50	117.90	144.60	135.20	121.70	118.80	137.80	139.20	119.70	122.10	121.50	121.90	1537.90
HSi (mm)	1197.12	1141.78	1109.45	1088.62	1084.15	1155.17	1274.33	1326.33	1346.63	1346.63	1346.63	1270.18	
C1	0.52	0.34	0.26	0.23	0.56	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.76
C2	0.29	0.21	0.14	0.13	0.34	0.71	0.92	1.00	1.00	1.00	0.69	0.46	
HD (mm)	160.23	104.89	80.56	71.73	172.85	339.08	421.44	450.24	596.07	467.78	336.14	234.29	
ETR (mm)	55.34	32.33	28.83	24.48	54.57	101.64	131.99	139.20	119.70	122.10	102.85	74.06	987.10
HSf (mm)	1141.78	1109.45	1088.62	1084.15	1155.17	1274.33	1326.33	1346.63	1346.63	1346.63	1270.18	1197.12	
DCC (mm)	204.85	237.18	258.01	262.48	191.46	72.30	20.30	0.00	0.00	0.00	76.45	149.51	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.30	166.63	35.94	0.00	0.00	203.87
NR (mm)	287.01	322.75	373.78	373.21	258.58	89.46	26.10	0.00	0.00	0.00	95.10	197.35	2023.34

final de mes  
inicio de mes  
final de mes antes de ETR  
final de mes despues de ETR  
final de mes antes de ETR  
final de mes  
final de mes  
final de mes  
final de mes

Anexo 25. Tablas de formaciones geológicas con datos del balance hídrico de suelos, de la zona de recarga “Valla de Jesús” del municipio de San Fernando, Chalatenango, 2009.

**BALANCE HIDRICO DE SUELOS**  
**Gunther Schosinsky**

Zona de Estudio: VALLE DE JESUS 2

Fecha:

Textura de Suelo: Arcillosa

Simbología

- fc: Capacidad de Infiltración.
- I: Infiltración.
- CC: Capacidad de Campo.
- PM: Punto de Marchitez.
- PR: Profundidad de Raíces.
- (CC-PM): Rango de Agua Disponible.
- DS: Densidad de Suelo.
- C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR
- C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR
- Kp: Factor por pendiente ( ver léame)
- Kv: Factor por vegetación ( ver léame)
- Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración
- P: Precipitación Media Mensual.
- Pi: Precipitación que infiltra.
- ESC: Escorrentía Superficial
- ETP: Evapotranspiración Potencial.
- ETR: Evapotranspiración Real.
- HSi: Humedad de Suelo Inicial.
- HD: Humedad Disponible
- HSf: Humedad de Suelo Final.
- DCC: Déficit de Capacidad de Campo.
- Rp: Recarga Potencial
- NR: Necesidad de Riego.
- Ret: Retención de Iluvia

fc [mm/d]	432.48
Kp [0.01%]	0.04
Kv [0.01%]	0.10
Kfc [0.01%]	0.83096
I [0.01%]	0.97096
DS (g/cm <sup>3</sup> ):	1.23
PR (mm)	3000.00
HSi (mm)	422.32
Nº de mes con que inicia HSi:1,2,3...12?	11
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12	0.12

	por peso (%)	(mm)
CC	49.05	1809.95
PM	33.81	1247.59
(CC-PM)	15.24	562.36

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	5.00	2.00	13.00	25.00	157.00	276.00	230.00	201.00	357.91	197.55	33.00	6.00	1503.46
Ret [mm]	5.00	2.00	5.00	5.00	18.84	33.12	27.60	24.12	42.95	23.71	5.00	5.00	197.34
Pi (mm)	0.00	0.00	7.77	19.42	134.15	235.83	196.52	171.74	305.82	168.80	27.19	0.97	1268.20
ESC (mm)	0.00	0.00	0.23	0.58	4.01	7.05	5.88	5.14	9.15	5.05	0.81	0.03	37.92
ETP (mm)	137.50	117.90	144.60	135.20	121.70	118.80	137.80	139.20	119.70	122.10	121.50	121.90	1537.90
HSi (mm)	1248.37	1248.20	1248.09	1254.00	1267.96	1372.29	1540.00	1631.39	1682.64	1809.95	422.32	1247.59	
C1	0.00	0.00	0.01	0.05	0.27	0.64	0.87	0.99	1.00	1.00	-1.42	0.00	
C2	0.00	0.00	0.01	0.03	0.22	0.51	0.66	0.74	1.00	1.00	0.00	0.00	
HD (mm)	0.78	0.62	8.27	25.83	154.52	360.52	488.93	555.55	740.87	731.15	-798.08	0.97	
ETR (mm)	0.17	0.12	1.85	5.46	29.82	68.12	105.13	120.49	119.70	122.10	-798.08	0.19	-224.93
HSf (mm)	1248.20	1248.09	1254.00	1267.96	1372.29	1540.00	1631.39	1682.64	1809.95	1809.95	1247.59	1248.37	
DCC (mm)	561.74	561.86	555.94	541.99	437.66	269.95	178.55	127.31	0.00	0.00	562.36	561.57	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	58.81	46.70	0.00	0.00	105.51
NR (mm)	699.07	679.64	698.69	671.72	529.54	320.63	211.23	146.01	0.00	0.00	1481.94	683.29	6121.75

final de mes  
inicio de mes  
final de mes antes de ETR  
final de mes despues de ETR  
final de mes antes de ETR  
final de mes  
final de mes  
final de mes  
final de mes

Anexo 26. Tablas de formaciones geológicas con datos del balance hídrico de suelos, de la zona de recarga "Sumpul" del municipio de San Fernando, Chalatenango, 2009

**BALANCE HIDRICO DE SUELOS**  
**Gunther Schosinsky**

Zona de Estudio: **SUMPUL 1**

Fecha:

Textura de Suelo: **Franca**

Simbología

- fc: Capacidad de Infiltración.
- I: Infiltración.
- CC: Capacidad de Campo.
- PM: Punto de Marchitez.
- PR: Profundidad de Raíces.
- (CC-PM): Rango de Agua Disponible.
- DS: Densidad de Suelo.
- C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR
- C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR
- Kp: Factor por pendiente ( ver léame)
- Kv: Factor por vegetación ( ver léame)
- Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración

- P: Precipitación Media Mensual.
- Pi: Precipitación que infiltra.
- ESC: Escorrentía Superficial
- ETP: Evapotranspiración Potencial.
- ETR: Evapotranspiración Real.
- HSi: Humedad de Suelo Inicial.
- HD: Humedad Disponible
- HSf: Humedad de Suelo Final.
- DCC: Déficit de Capacidad de Campo.
- Rp: Recarga Potencial
- NR: Necesidad de Riego.
- Ret: Retención de Lluvia

fc [mm/d]	794.16
Kp [0.01%]	0.27
Kv [0.01%]	0.20
Kfc [0.01%]	0.93753
I [0.01%]	1
DS (g/cm <sup>3</sup> ):	1.43
PR (mm)	3000.00
HSi (mm)	1346.63
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	11
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12	0.20

	por peso (%)	(mm)
CC	31.39	1346.63
PM	24.17	1036.89
(CC-PM)	7.22	309.74

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	5.00	2.00	13.00	25.00	157.00	276.00	230.00	201.00	357.91	197.55	33.00	6.00	1503.46
Ret [mm]	5.00	2.00	5.00	5.00	31.40	55.20	46.00	40.20	71.58	39.51	6.60	5.00	312.49
Pi (mm)	0.00	0.00	8.00	20.00	125.60	220.80	184.00	160.80	286.33	158.04	26.40	1.00	1190.97
ESC (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ETP (mm)	137.50	117.90	144.60	135.20	121.70	118.80	137.80	139.20	119.70	122.10	121.50	121.90	1537.90
HSi (mm)	1197.12	1141.78	1109.45	1088.62	1084.15	1155.17	1274.33	1326.33	1346.63	1346.63	1346.63	1270.18	
C1	0.52	0.34	0.26	0.23	0.56	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.76	
C2	0.29	0.21	0.14	0.13	0.34	0.71	0.92	1.00	1.00	1.00	0.69	0.46	
HD (mm)	160.23	104.89	80.56	71.73	172.85	339.08	421.44	450.24	596.07	467.78	336.14	234.29	
ETR (mm)	55.34	32.33	28.83	24.48	54.57	101.64	131.99	139.20	119.70	122.10	102.85	74.06	987.10
HSf (mm)	1141.78	1109.45	1088.62	1084.15	1155.17	1274.33	1326.33	1346.63	1346.63	1346.63	1270.18	1197.12	
DCC (mm)	204.85	237.18	258.01	262.48	191.46	72.30	20.30	0.00	0.00	0.00	76.45	149.51	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.30	166.63	35.94	0.00	0.00	203.87
NR (mm)	287.01	322.75	373.78	373.21	258.58	89.46	26.10	0.00	0.00	0.00	95.10	197.35	2023.34

final de mes  
 final de mes  
 final de mes  
 final de mes  
 inicio de mes  
 final de mes antes de ETR  
 final de mes despues de ETR  
 final de mes antes de ETR  
 final de mes  
 final de mes  
 final de mes  
 final de mes  
 final de mes

Anexo 27. Tablas de formaciones geológicas con datos del balance hídrico de suelos, de la zona de recarga "Sumpul" del municipio de San Fernando, Chalatenango, 2009

**BALANCE HIDRICO DE SUELOS**  
**Gunther Schosinsky**

Zona de Estudio: **SUMPUL 2**

Fecha:

Textura de Suelo: **Franca-Arenosa**

Simbología

fc: Capacidad de Infiltración.

I: Infiltración.

CC: Capacidad de Campo.

PM: Punto de Marchitez.

PR: Profundidad de Raíces.

(CC-PM): Rango de Agua Disponible.

DS: Densidad de Suelo.

C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR

C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR

Kp: Factor por pendiente ( ver léame)

Kv: Factor por vegetación ( ver léame)

Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración

P: Precipitación Media Mensual.

Pi: Precipitación que infiltra.

ESC: Escorrentía Superficial

ETP: Evapotranspiración Potencial.

ETR: Evapotranspiración Real.

HSi: Humedad de Suelo Inicial.

HD: Humedad Disponible

HSf: Humedad de Suelo Final.

DCC: Déficit de Capacidad de Campo.

Rp: Recarga Potencial

NR: Necesidad de Riego.

Ret: Retención de lluvia

fc [mm/d]

Kp [0.01%]

Kv [0.01%]

Kfc [0.01%]

I [0.01%]

DS (g/cm<sup>3</sup>):

PR (mm)

HSi (mm)

Nº de mes con que inicia HSi:1,2,3...12?

Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12

1800.00
0.27
0.18
1
1
1.40
4000.00
979.44
11
0.12

por peso

(%) (mm)

CC	17.49	979.44
PM	12.55	702.80
(CC-PM)	4.94	276.64

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	5.00	2.00	13.00	25.00	157.00	276.00	230.00	201.00	357.91	197.55	33.00	6.00	1503.46
Ret [mm]	5.00	2.00	5.00	5.00	18.84	33.12	27.60	24.12	42.95	23.71	5.00	5.00	197.34
Pi (mm)	0.00	0.00	8.00	20.00	138.16	242.88	202.40	176.88	314.96	173.84	28.00	1.00	1306.12
ESC (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ETP (mm)	137.50	117.90	144.60	135.20	121.70	118.80	137.80	139.20	119.70	122.10	121.50	121.90	1537.90
HSi (mm)	837.16	786.97	758.74	742.06	740.17	818.10	950.18	979.44	979.44	979.44	979.44	906.47	
C1	0.49	0.30	0.23	0.21	0.63	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.74	
C2	0.24	0.17	0.11	0.11	0.36	0.87	1.00	1.00	1.00	1.00	0.66	0.41	
HD (mm)	134.36	84.17	63.94	59.26	175.53	358.18	449.78	453.52	591.60	450.48	304.64	204.67	
ETR (mm)	50.18	28.23	24.69	21.88	60.24	110.80	137.80	139.20	119.70	122.10	100.97	70.32	986.10
HSf (mm)	786.97	758.74	742.06	740.17	818.10	950.18	979.44	979.44	979.44	979.44	906.47	837.16	
DCC (mm)	192.47	220.70	237.38	239.27	161.34	29.26	0.00	0.00	0.00	0.00	72.97	142.28	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	35.34	37.68	195.26	51.74	0.00	0.00	320.02
NR (mm)	279.78	310.37	357.30	352.58	222.81	37.26	0.00	0.00	0.00	0.00	93.50	193.87	1847.47

final de mes  
inicio de mes  
final de mes antes de ETR  
final de mes despues de ETR  
final de mes antes de ETR  
final de mes  
final de mes  
final de mes  
final de mes  
final de mes

Anexo 28. Tablas de formaciones geológicas con datos del balance hídrico de suelos, de la zona de recarga "Sumpul" del municipio de San Fernando, Chalatenango, 2009

**BALANCE HIDRICO DE SUELOS**  
**Gunther Schosinsky**

Zona de Estudio: SUMPUL 3

Fecha:

Textura de Suelo: Franca-Arcillosa

Simbología

- |  |                                     |
|--|-------------------------------------|
| fc: Capacidad de Infiltración.                                   | P: Precipitación Media Mensual.     |
| I: Infiltración.   | Pi: Precipitación que infiltra.     |
| CC: Capacidad de Campo.  | ESC: Escorrentía Superficial        |
| PM: Punto de Marchitez.  | ETP: Evapotranspiración Potencial.  |
| PR: Profundidad de Raíces.                                       | ETR: Evapotranspiración Real.       |
| (CC-PM): Rango de Agua Disponible.                               | HSi: Humedad de Suelo Inicial.      |
| DS: Densidad de Suelo.   | HD: Humedad Disponible              |
| C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR   | HSf: Humedad de Suelo Final.        |
| C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR | DCC: Déficit de Capacidad de Campo. |
| Kp: Factor por pendiente ( ver léame)                            | Rp: Recarga Potencial               |
| Kv: Factor por vegetación ( ver léame)                           | NR: Necesidad de Riego.             |
| Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración        | Ret: Retención de lluvia            |

fc [mm/d]	1021.92
Kp [0.01%]	0.04
Kv [0.01%]	0.20
Kfc [0.01%]	0.96978
I [0.01%]	1
DS (g/cm <sup>3</sup> ):	1.37
PR (mm)	4000.00
HSi (mm)	958.45
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	11
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12	0.20

	por peso (%)	(mm)
CC	17.49	958.45
PM	12.55	687.74
(CC-PM)	4.94	270.71

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	5.00	2.00	13.00	25.00	157.00	276.00	230.00	201.00	357.91	197.55	33.00	6.00	1503.46
Ret [mm]	5.00	2.00	5.00	5.00	31.40	55.20	46.00	40.20	71.58	39.51	6.60	5.00	312.49
Pi (mm)	0.00	0.00	8.00	20.00	125.60	220.80	184.00	160.80	286.33	158.04	26.40	1.00	1190.97
ESC (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ETP (mm)	137.50	117.90	144.60	135.20	121.70	118.80	137.80	139.20	119.70	122.10	121.50	121.90	1537.90
HSi (mm)	816.62	767.79	740.52	724.72	723.37	792.78	908.75	955.84	958.45	958.45	958.45	884.69	
C1	0.48	0.30	0.22	0.21	0.60	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.73	
C2	0.23	0.17	0.10	0.11	0.33	0.76	0.99	1.00	1.00	1.00	0.65	0.40	
HD (mm)	128.88	80.05	60.78	56.98	161.23	325.84	405.01	428.90	557.04	428.75	297.11	197.95	
ETR (mm)	48.84	27.27	23.79	21.35	56.19	104.83	136.91	139.20	119.70	122.10	100.16	69.07	969.41
HSf (mm)	767.79	740.52	724.72	723.37	792.78	908.75	955.84	958.45	958.45	958.45	884.69	816.62	
DCC (mm)	190.67	217.94	233.73	235.08	165.67	49.70	2.61	0.00	0.00	0.00	73.76	141.83	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	18.99	166.63	35.94	0.00	0.00	221.56
NR (mm)	279.33	308.57	354.54	348.93	231.18	63.67	3.50	0.00	0.00	0.00	95.10	194.66	1879.47

final de mes  
inicio de mes  
final de mes antes de ETR  
final de mes despues de ETF  
final de mes antes de ETR  
final de mes  
final de mes  
final de mes  
final de mes

Anexo 29. Tablas de formaciones geológicas con datos del balance hídrico de suelos, de la zona de recarga "Sumpul" del municipio de San Fernando, Chalatenango, 2009

**BALANCE HIDRICO DE SUELOS**  
**Gunther Schosinsky**

Zona de Estudio: SUMPUL 4

Fecha:

Textura de Suelo: Franca

Simbología

fc: Capacidad de Infiltración.

I: Infiltración.

CC: Capacidad de Campo.

PM: Punto de Marchitez.

PR: Profundidad de Raíces.

(CC-PM): Rango de Agua Disponible.

DS: Densidad de Suelo.

C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR

C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR

Kp: Factor por pendiente ( ver léame)

Kv: Factor por vegetación ( ver léame)

Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración

P: Precipitación Media Mensual.

Pi: Precipitación que infiltra.

ESC: Escorrentía Superficial

ETP: Evapotranspiración Potencial.

ETR: Evapotranspiración Real.

HSi: Humedad de Suelo Inicial.

HD: Humedad Disponible

HSf: Humedad de Suelo Final.

DCC: Déficit de Capacidad de Campo.

Rp: Recarga Potencial

NR: Necesidad de Riego.

Ret: Retención de lluvia

fc [mm/d]

794.16

Kp [0.01%]

0.27

Kv [0.01%]

0.21

Kfc [0.01%]

0.93753

I [0.01%]

1

DS (g/cm<sup>3</sup>):

1.43

PR (mm)

4000.00

HSi (mm)

1571.00

Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?

11

Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12

0.20

por peso

(%) (mm)

CC 31.39 1795.51

PM 24.17 1382.52

(CC-PM) 7.22 412.98

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	5.00	2.00	13.00	25.00	157.00	276.00	230.00	201.00	357.91	197.55	33.00	6.00	1503.46
Ret [mm]	5.00	2.00	5.00	5.00	31.40	55.20	46.00	40.20	71.58	39.51	6.60	5.00	312.49
Pi (mm)	0.00	0.00	8.00	20.00	125.60	220.80	184.00	160.80	286.33	158.04	26.40	1.00	1190.97
ESC (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ETP (mm)	137.50	117.90	144.60	135.20	121.70	118.80	137.80	139.20	119.70	122.10	121.50	121.90	1537.90
HSi (mm)	1503.73	1470.10	1448.66	1435.25	1435.34	1516.11	1649.63	1712.46	1744.41	1795.51	1571.00	1543.48	
C1	0.29	0.21	0.18	0.18	0.43	0.86	1.00	1.00	1.00	1.00	0.52	0.39	
C2	0.20	0.15	0.12	0.12	0.30	0.61	0.76	0.85	1.00	1.00	0.37	0.28	
HD (mm)	121.21	87.57	74.14	72.73	178.41	354.38	451.10	490.73	648.22	571.02	214.88	161.96	
ETR (mm)	33.64	21.43	21.41	19.91	44.83	87.28	121.17	128.84	119.70	122.10	53.92	40.75	814.99
HSf (mm)	1470.10	1448.66	1435.25	1435.34	1516.11	1649.63	1712.46	1744.41	1795.51	1795.51	1543.48	1503.73	
DCC (mm)	325.41	346.84	360.26	360.17	279.40	145.88	83.05	51.09	0.00	0.00	252.03	291.78	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	115.53	35.94	0.00	0.00	151.47
NR (mm)	429.28	443.31	483.44	475.46	356.27	177.40	99.68	61.45	0.00	0.00	319.61	372.93	3218.82

final de mes

inicio de mes

final de mes antes de ETR

final de mes despues de ETR

final de mes antes de ETR

final de mes

Anexo 30. Tablas de formaciones geológicas con datos del balance hídrico de suelos, de la zona de recarga “Sumpul” del municipio de San Fernando, Chalatenango, 2009.

**BALANCE HIDRICO DE SUELOS**  
**Gunther Schosinsky**

Zona de Estudio: **SUMPUL 5**

Fecha:

Textura de Suelo: **Arcillosa**

Simbología

- |  |                                     |
|--|-------------------------------------|
| fc: Capacidad de Infiltración.                                   | P: Precipitación Media Mensual.     |
| I: Infiltración.   | Pi: Precipitación que infiltra.     |
| CC: Capacidad de Campo.  | ESC: Escorrentía Superficial        |
| PM: Punto de Marchitez.  | ETP: Evapotranspiración Potencial.  |
| PR: Profundidad de Raíces.                                       | ETR: Evapotranspiración Real.       |
| (CC-PM): Rango de Agua Disponible.                               | HSi: Humedad de Suelo Inicial.      |
| DS: Densidad de Suelo.   | HD: Humedad Disponible              |
| C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR   | HSf: Humedad de Suelo Final.        |
| C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR | DCC: Déficit de Capacidad de Campo. |
| Kp: Factor por pendiente ( ver léame)                            | Rp: Recarga Potencial               |
| Kv: Factor por vegetación ( ver léame)                           | NR: Necesidad de Riego.             |
| Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración        | Ret: Retención de lluvia            |

fc [mm/d]	<b>432.48</b>	
Kp [0.01%]	<b>0.04</b>	
Kv [0.01%]	<b>0.21</b>	
Kfc [0.01%]	0.83096	
I [0.01%]	1	
DS (g/cm <sup>3</sup> ):	<b>1.23</b>	
PR (mm)	<b>3000.00</b>	
HSi (mm)	<b>1809.00</b>	
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	<b>11</b>	
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12	<b>0.20</b>	
		por peso (%) (mm)
		CC <b>49.05</b> 1809.95
		PM <b>33.81</b> 1247.59
		(CC-PM) 15.24 562.36

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	5.00	2.00	13.00	25.00	157.00	276.00	230.00	201.00	357.91	197.55	33.00	6.00	1503.46
Ret [mm]	5.00	2.00	5.00	5.00	31.40	55.20	46.00	40.20	71.58	39.51	6.60	5.00	312.49
Pi (mm)	0.00	0.00	8.00	20.00	125.60	220.80	184.00	160.80	286.33	158.04	26.40	1.00	1190.97
ESC (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ETP (mm)	137.50	117.90	144.60	135.20	121.70	118.80	137.80	139.20	119.70	122.10	121.50	121.90	1537.90
HSi (mm)	1632.95	1550.25	1493.45	1444.56	1418.67	1487.01	1620.86	1685.03	1719.42	1809.95	1809.00	1724.28	
C1	0.69	0.54	0.45	0.39	0.53	0.82	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	0.85	
C2	0.52	0.43	0.34	0.29	0.41	0.65	0.75	0.82	1.00	1.00	0.83	0.67	
HD (mm)	385.36	302.66	253.86	216.97	296.68	460.22	557.27	598.25	758.16	720.40	587.81	477.69	
ETR (mm)	82.70	56.80	56.88	45.89	57.26	86.95	119.82	126.41	119.70	122.10	111.12	92.32	1077.98
HSf (mm)	1550.25	1493.45	1444.56	1418.67	1487.01	1620.86	1685.03	1719.42	1809.95	1809.95	1724.28	1632.95	
DCC (mm)	259.70	316.50	365.38	391.28	322.93	189.09	124.91	90.52	0.00	0.00	85.67	176.99	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	76.10	35.94	0.00	0.00	112.04
NR (mm)	314.49	377.60	453.10	480.58	387.38	220.93	142.89	103.31	0.00	0.00	96.04	206.57	2782.90

final de mes  
inicio de mes  
final de mes antes de ETR  
final de mes despues de ETR  
final de mes antes de ETR  
final de mes  
final de mes  
final de mes  
final de mes  
final de mes

Anexo 31. Tablas de formaciones geológicas con datos del balance hídrico de suelos, de la zona de recarga “El Cerro” del municipio de San Fernando, Chalatenango, 2009.

**BALANCE HIDRICO DE SUELOS**  
**Gunther Schosinsky**

Zona de Estudio: EL CERRO 1

Fecha:

Textura de Suelo: Arcillosa-Arenosa

Simbología

- fc: Capacidad de Infiltración.
- I: Infiltración.
- CC: Capacidad de Campo.
- PM: Punto de Marchitez.
- PR: Profundidad de Raíces.
- (CC-PM): Rango de Agua Disponible.
- DS: Densidad de Suelo.
- C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR
- C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR
- Kp: Factor por pendiente ( ver léame)
- Kv: Factor por vegetación ( ver léame)
- Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración
- P: Precipitación Media Mensual.
- Pi: Precipitación que infiltra.
- ESC: Escorrentía Superficial
- ETP: Evapotranspiración Potencial.
- ETR: Evapotranspiración Real.
- HSi: Humedad de Suelo Inicial.
- HD: Humedad Disponible
- HSf: Humedad de Suelo Final.
- DCC: Déficit de Capacidad de Campo.
- Rp: Recarga Potencial
- NR: Necesidad de Riego.
- Ret: Retención de lluvia

fc [mm/d]	991.68	
Kp [0.01%]	0.27	
Kv [0.01%]	0.20	
Kfc [0.01%]	0.96642	
I [0.01%]	1	
DS (g/cm <sup>3</sup> ):	1.30	
PR (mm)	3000.00	
HSi (mm)	1414.53	
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	11	
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12	0.20	
		por peso (%) (mm)
CC	36.27	1414.53
PM	22.51	877.89
(CC-PM)	13.76	536.64

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	5.00	2.00	13.00	25.00	157.00	276.00	230.00	201.00	357.91	197.55	33.00	6.00	1503.46
Ret [mm]	5.00	2.00	5.00	5.00	31.40	55.20	46.00	40.20	71.58	39.51	6.60	5.00	312.49
Pi (mm)	0.00	0.00	8.00	20.00	125.60	220.80	184.00	160.80	286.33	158.04	26.40	1.00	1190.97
ESC (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ETP (mm)	137.50	117.90	144.60	135.20	121.70	118.80	137.80	139.20	119.70	122.10	121.50	121.90	1537.90
HSi (mm)	1239.92	1159.04	1104.06	1057.46	1033.52	1102.57	1235.67	1298.90	1332.70	1414.53	1414.53	1330.20	
C1	0.67	0.52	0.44	0.37	0.52	0.83	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.84	
C2	0.50	0.41	0.32	0.28	0.41	0.65	0.75	0.82	1.00	1.00	0.82	0.65	
HD (mm)	362.03	281.15	234.17	199.57	281.23	445.48	541.78	581.81	741.13	694.68	563.04	453.31	
ETR (mm)	80.88	54.98	54.60	43.95	56.55	87.70	120.77	127.00	119.70	122.10	110.73	91.28	1070.23
HSf (mm)	1159.04	1104.06	1057.46	1033.52	1102.57	1235.67	1298.90	1332.70	1414.53	1414.53	1330.20	1239.92	
DCC (mm)	255.49	310.47	357.07	381.01	311.96	178.86	115.63	81.83	0.00	0.00	84.33	174.61	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	84.79	35.94	0.00	0.00	120.73
NR (mm)	312.11	373.39	447.07	472.27	377.11	209.96	132.66	94.03	0.00	0.00	95.10	205.23	2718.93

final de mes  
final de mes  
final de mes  
final de mes  
inicio de mes  
final de mes a  
final de mes d  
final de mes a  
final de mes  
final de mes  
final de mes  
final de mes

Anexo 32. Tablas de formaciones geológicas con datos del balance hídrico de suelos, de la zona de recarga “El Cerro” del municipio de San Fernando, Chalatenango, 2009.

**BALANCE HIDRICO DE SUELOS**  
**Gunther Schosinsky**

Zona de Estudio: EL CERRO 2  
Fecha:

Textura de Suelo: Arcillosa

Simbología

- |  |                                     |
|--|-------------------------------------|
| fc: Capacidad de Infiltración.                                   | P: Precipitación Media Mensual.     |
| I: Infiltración.   | Pi: Precipitación que infiltra.     |
| CC: Capacidad de Campo.  | ESC: Escorrentía Superficial        |
| PM: Punto de Marchitez.  | ETP: Evapotranspiración Potencial.  |
| PR: Profundidad de Raíces.                                       | ETR: Evapotranspiración Real.       |
| (CC-PM): Rango de Agua Disponible.                               | HSi: Humedad de Suelo Inicial.      |
| DS: Densidad de Suelo.   | HD: Humedad Disponible              |
| C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR   | HSf: Humedad de Suelo Final.        |
| C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR | DCC: Déficit de Capacidad de Campo. |
| Kp: Factor por pendiente ( ver léame)                            | Rp: Recarga Potencial               |
| Kv: Factor por vegetación ( ver léame)                           | NR: Necesidad de Riego.             |
| Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración        | Ret: Retención de lluvia            |

fc [mm/d]	432.48		
Kp [0.01%]	0.04		
Kv [0.01%]	0.20		
Kfc [0.01%]	0.83096		
I [0.01%]	1		
DS (g/cm <sup>3</sup> ):	1.23		
PR (mm)	3000.00		
HSi (mm)	1809.00		
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	11		
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12	0.20		
		por peso	
		(%)	(mm)
CC	49.05		1809.95
PM	33.81		1247.59
(CC-PM)	15.24		562.36

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	5.00	2.00	13.00	25.00	157.00	276.00	230.00	201.00	357.91	197.55	33.00	6.00	1503.46
Ret [mm]	5.00	2.00	5.00	5.00	31.40	55.20	46.00	40.20	71.58	39.51	6.60	5.00	312.49
Pi (mm)	0.00	0.00	8.00	20.00	125.60	220.80	184.00	160.80	286.33	158.04	26.40	1.00	1190.97
ESC (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ETP (mm)	137.50	117.90	144.60	135.20	121.70	118.80	137.80	139.20	119.70	122.10	121.50	121.90	1537.90
HSi (mm)	1632.95	1550.25	1493.45	1444.56	1418.67	1487.01	1620.86	1685.03	1719.42	1809.95	1809.00	1724.28	
C1	0.69	0.54	0.45	0.39	0.53	0.82	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	0.85	
C2	0.52	0.43	0.34	0.29	0.41	0.65	0.75	0.82	1.00	1.00	0.83	0.67	
HD (mm)	385.36	302.66	253.86	216.97	296.68	460.22	557.27	598.25	758.16	720.40	587.81	477.69	
ETR (mm)	82.70	56.80	56.88	45.89	57.26	86.95	119.82	126.41	119.70	122.10	111.12	92.32	1077.98
HSf (mm)	1550.25	1493.45	1444.56	1418.67	1487.01	1620.86	1685.03	1719.42	1809.95	1809.95	1724.28	1632.95	
DCC (mm)	259.70	316.50	365.38	391.28	322.93	189.09	124.91	90.52	0.00	0.00	85.67	176.99	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	76.10	35.94	0.00	0.00	112.04
NR (mm)	314.49	377.60	453.10	480.58	387.38	220.93	142.89	103.31	0.00	0.00	96.04	206.57	2782.90

final de mes  
inicio de mes  
final de mes antes de ETR  
final de mes despues de ETR  
final de mes antes de ETR  
final de mes  
final de mes  
final de mes  
final de mes

Anexo 33. Tablas de formaciones geológicas con datos del balance hídrico de suelos, de la zona de recarga “Los Mataras” del municipio de San Fernando, Chalatenango, 2009.

**BALANCE HIDRICO DE SUELOS**  
**Gunther Schosinsky**

Zona de Estudio: **LOS MATARAS 1**  
Fecha:

Textura de Suelo: **Arcillosa-Arenosa**

Simbología

- |  |                                     |
|--|-------------------------------------|
| fc: Capacidad de Infiltración.                                   | P: Precipitación Media Mensual.     |
| I: Infiltración.   | Pi: Precipitación que infiltra.     |
| CC: Capacidad de Campo.  | ESC: Escorrentía Superficial        |
| PM: Punto de Marchitez.  | ETP: Evapotranspiración Potencial.  |
| PR: Profundidad de Raíces.                                       | ETR: Evapotranspiración Real.       |
| (CC-PM): Rango de Agua Disponible.                               | HSi: Humedad de Suelo Inicial.      |
| DS: Densidad de Suelo.   | HD: Humedad Disponible              |
| C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR   | HSf: Humedad de Suelo Final.        |
| C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR | DCC: Déficit de Capacidad de Campo. |
| Kp: Factor por pendiente ( ver léame)                            | Rp: Recarga Potencial               |
| Kv: Factor por vegetación ( ver léame)                           | NR: Necesidad de Riego.             |
| Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración        | Ret: Retención de Lluvia            |

fc [mm/d]	<b>991.68</b>	
Kp [0.01%]	<b>0.04</b>	
Kv [0.01%]	<b>0.20</b>	
Kfc [0.01%]	0.96642	
I [0.01%]	1	
DS (g/cm <sup>3</sup> ):	<b>1.30</b>	
PR (mm)	<b>3000.00</b>	
HSi (mm)	<b>1414.53</b>	
Nº de mes con que inicia HSi:1,2,3...12?	<b>11</b>	
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12	<b>0.20</b>	

	por peso	(%)	(mm)
CC	<b>36.27</b>		1414.53
PM	<b>22.51</b>		877.89
(CC-PM)	13.76		536.64

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	5.00	2.00	13.00	25.00	157.00	276.00	230.00	201.00	357.91	197.55	33.00	6.00	1503.46
Ret [mm]	5.00	2.00	5.00	5.00	31.40	55.20	46.00	40.20	71.58	39.51	6.60	5.00	312.49
Pi (mm)	0.00	0.00	8.00	20.00	125.60	220.80	184.00	160.80	286.33	158.04	26.40	1.00	1190.97
ESC (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ETP (mm)	137.50	117.90	144.60	135.20	121.70	118.80	137.80	139.20	119.70	122.10	121.50	121.90	1537.90
HSi (mm)	1239.92	1159.04	1104.06	1057.46	1033.52	1102.57	1235.67	1298.90	1332.70	1414.53	1414.53	1330.20	
C1	0.67	0.52	0.44	0.37	0.52	0.83	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.84	
C2	0.50	0.41	0.32	0.28	0.41	0.65	0.75	0.82	1.00	1.00	0.82	0.65	
HD (mm)	362.03	281.15	234.17	199.57	281.23	445.48	541.78	581.81	741.13	694.68	563.04	453.31	
ETR (mm)	80.88	54.98	54.60	43.95	56.55	87.70	120.77	127.00	119.70	122.10	110.73	91.28	1070.23
HSf (mm)	1159.04	1104.06	1057.46	1033.52	1102.57	1235.67	1298.90	1332.70	1414.53	1414.53	1330.20	1239.92	
DCC (mm)	255.49	310.47	357.07	381.01	311.96	178.86	115.63	81.83	0.00	0.00	84.33	174.61	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	84.79	35.94	0.00	0.00	120.73
NR (mm)	312.11	373.39	447.07	472.27	377.11	209.96	132.66	94.03	0.00	0.00	95.10	205.23	2718.93

final de mes  
inicio de mes  
final de mes antes de ETR  
final de mes despues de ETR  
final de mes antes de ETR  
final de mes  
final de mes  
final de mes  
final de mes

Anexo 34. Tablas de formaciones geológicas con datos del balance hídrico de suelos, de la zona de recarga "Los Mataras" del municipio de San Fernando, Chalatenango, 2009.

**BALANCE HIDRICO DE SUELOS**  
**Gunther Schosinsky**

Zona de Estudio: **LOS MATARAS 2**

Fecha:

Textura de Suelo: **Arcillosa**

Simbología

fc: Capacidad de Infiltración.

I: Infiltración.

CC: Capacidad de Campo.

PM: Punto de Marchitez.

PR: Profundidad de Raíces.

(CC-PM): Rango de Agua Disponible.

DS: Densidad de Suelo.

C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR

C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR

Kp: Factor por pendiente ( ver léame)

Kv: Factor por vegetación ( ver léame)

Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración

P: Precipitación Media Mensual.

Pi: Precipitación que infiltra.

ESC: Escorrentía Superficial

ETP: Evapotranspiración Potencial.

ETR: Evapotranspiración Real.

HSi: Humedad de Suelo Inicial.

HD: Humedad Disponible

HSf: Humedad de Suelo Final.

DCC: Déficit de Capacidad de Campo.

Rp: Recarga Potencial

NR: Necesidad de Riego.

Ret: Retención de Lluvia

fc [mm/d]

432.48

Kp [0.01%]

0.04

Kv [0.01%]

0.20

Kfc [0.01%]

0.83096

I [0.01%]

1

DS (g/cm<sup>3</sup>):

1.23

PR (mm)

3000.00

HSi (mm)

1809.00

Nº de mes con que inicia HSi:1,2,3...12?

11

Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12

0.20

por peso

(%) (mm)

CC 49.05 1809.95

PM 33.81 1247.59

(CC-PM) 15.24 562.36

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	5.00	2.00	13.00	25.00	157.00	276.00	230.00	201.00	357.91	197.55	33.00	6.00	1503.46
Ret [mm]	5.00	2.00	5.00	5.00	31.40	55.20	46.00	40.20	71.58	39.51	6.60	5.00	312.49
Pi (mm)	0.00	0.00	8.00	20.00	125.60	220.80	184.00	160.80	286.33	158.04	26.40	1.00	1190.97
ESC (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ETP (mm)	137.50	117.90	144.60	135.20	121.70	118.80	137.80	139.20	119.70	122.10	121.50	121.90	1537.90
HSi (mm)	1632.95	1550.25	1493.45	1444.56	1418.67	1487.01	1620.86	1685.03	1719.42	1809.95	1809.00	1724.28	
C1	0.69	0.54	0.45	0.39	0.53	0.82	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	0.85	
C2	0.52	0.43	0.34	0.29	0.41	0.65	0.75	0.82	1.00	1.00	0.83	0.67	
HD (mm)	385.36	302.66	253.86	216.97	296.68	460.22	557.27	598.25	758.16	720.40	587.81	477.69	
ETR (mm)	82.70	56.80	56.88	45.89	57.26	86.95	119.82	126.41	119.70	122.10	111.12	92.32	1077.98
HSf (mm)	1550.25	1493.45	1444.56	1418.67	1487.01	1620.86	1685.03	1719.42	1809.95	1809.95	1724.28	1632.95	
DCC (mm)	259.70	316.50	365.38	391.28	322.93	189.09	124.91	90.52	0.00	0.00	85.67	176.99	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	76.10	35.94	0.00	0.00	112.04
NR (mm)	314.49	377.60	453.10	480.58	387.38	220.93	142.89	103.31	0.00	0.00	96.04	206.57	2782.90

final de mes

inicio de mes

final de mes antes de ETR

final de mes despues de ETR

final de mes antes de ETR

final de mes

.Anexo 35. Tablas de formaciones geológicas con datos del balance hídrico de suelos, de la zona de recarga "El Cerro" del municipio de San Fernando, Chalatenango, 2009

### BALANCE HIDRICO DE SUELOS Gunther Schosinsky

Zona de Estudio: EL CERRO #2

Fecha:

Textura de Suelo: Arcillosa

Simbología

fc: Capacidad de Infiltración.

I: Infiltración.

CC: Capacidad de Campo.

PM: Punto de Marchitez.

PR: Profundidad de Raíces.

(CC-PM): Rango de Agua Disponible.

DS: Densidad de Suelo.

C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR

C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR

Kp: Factor por pendiente ( ver léame)

Kv: Factor por vegetación ( ver léame)

Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración

P: Precipitación Media Mensual.

Pi: Precipitación que infiltra.

ESC: Escorrentía Superficial

ETP: Evapotranspiración Potencial.

ETR: Evapotranspiración Real.

HSi: Humedad de Suelo Inicial.

HD: Humedad Disponible

HSf: Humedad de Suelo Final.

DCC: Déficit de Capacidad de Campo.

Rp: Recarga Potencial

NR: Necesidad de Riego.

Ret: Retención de lluvia

fc [mm/d]

432.48

Kp [0.01%]

0.27

Kv [0.01%]

0.21

Kfc [0.01%]

0.83096

I [0.01%]

1

DS (g/cm<sup>3</sup>):

1.23

PR (mm)

3000.00

HSi (mm)

1809.00

Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?

11

Lluvia retenida [0.01%]: Bosques=0.2, otros=0.12

0.12

por peso

(%) (mm)

CC 49.05 1809.95

PM 33.81 1247.59

(CC-PM) 15.24 562.36

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	5.00	2.00	13.00	25.00	157.00	276.00	230.00	201.00	357.91	197.55	33.00	6.00	1503.46
Ret [mm]	5.00	2.00	5.00	5.00	18.84	33.12	27.60	24.12	42.95	23.71	5.00	5.00	197.34
Pi (mm)	0.00	0.00	8.00	20.00	138.16	242.88	202.40	176.88	314.96	173.84	28.00	1.00	1306.12
ESC (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ETP (mm)	137.50	117.90	144.60	135.20	121.70	118.80	137.80	139.20	119.70	122.10	121.50	121.90	1537.90
HSi (mm)	1634.10	1551.15	1494.18	1445.13	1419.12	1497.51	1647.28	1723.90	1767.56	1809.95	1809.00	1725.70	
C1	0.69	0.54	0.45	0.39	0.55	0.88	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.85	
C2	0.52	0.43	0.34	0.29	0.43	0.69	0.83	0.91	1.00	1.00	0.83	0.67	
HD (mm)	386.51	303.56	254.59	217.54	309.69	492.80	602.09	653.19	834.93	736.20	589.41	479.11	
ETR (mm)	82.95	56.97	57.05	46.01	59.77	93.11	125.79	133.21	119.70	122.10	111.30	92.60	1100.56
HSf (mm)	1551.15	1494.18	1445.13	1419.12	1497.51	1647.28	1723.90	1767.56	1809.95	1809.95	1725.70	1634.10	
DCC (mm)	258.79	315.77	364.81	390.83	312.43	162.66	86.05	42.38	0.00	0.00	84.24	175.84	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	152.88	51.74	0.00	0.00	204.62
NR (mm)	313.34	376.69	452.37	480.01	374.37	188.35	98.06	48.37	0.00	0.00	94.45	205.14	2631.16

final de mes

inicio de mes

final de mes antes de ETR

final de mes despues de ETF

final de mes antes de ETR

final de mes

final de mes

final de mes

final de mes

Anexo 36. Tablas de formaciones geológicas con datos del balance hídrico de suelos, de la zona de recarga “San Juan de la Cruz” del municipio de San Fernando, Chalatenango, 2009.

**BALANCE HIDRICO DE SUELOS**  
**Gunther Schosinsky**

Zona de Estudio: **SAN JUAN DE LA CRUZ 1**  
Fecha:

Textura de Suelo: **Arcillosa**

Simbología

- |  |                                     |
|--|-------------------------------------|
| fc: Capacidad de Infiltración.                                   | P: Precipitación Media Mensual.     |
| I: Infiltración.   | Pi: Precipitación que infiltra.     |
| CC: Capacidad de Campo.  | ESC: Escorrentía Superficial        |
| PM: Punto de Marchitez.  | ETP: Evapotranspiración Potencial.  |
| PR: Profundidad de Raíces.                                       | ETR: Evapotranspiración Real.       |
| (CC-PM): Rango de Agua Disponible.                               | HSi: Humedad de Suelo Inicial.      |
| DS: Densidad de Suelo.   | HD: Humedad Disponible              |
| C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR   | HSf: Humedad de Suelo Final.        |
| C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR | DCC: Déficit de Capacidad de Campo. |
| Kp: Factor por pendiente ( ver léame)                            | Rp: Recarga Potencial               |
| Kv: Factor por vegetación ( ver léame)                           | NR: Necesidad de Riego.             |
| Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración        | Ret: Retención de lluvia            |

fc [mm/d]	991.68
Kp [0.01%]	0.27
Kv [0.01%]	0.21
Kfc [0.01%]	0.96642
I [0.01%]	1
DS (g/cm <sup>3</sup> ):	1.30
PR (mm)	3000.00
HSi (mm)	1414.53
Nº de mes con que inicia HSi:1,2,3...12?	11
Lluvia retenida [0.01%]: Bosques=0.2, otros=0.12	0.12

	por peso	(%)	(mm)
CC	36.27		1414.53
PM	22.51		877.89
(CC-PM)	13.76		536.64

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	5.00	2.00	13.00	25.00	157.00	276.00	230.00	201.00	357.91	197.55	33.00	6.00	1503.46
Ret [mm]	5.00	2.00	5.00	5.00	18.84	33.12	27.60	24.12	42.95	23.71	5.00	5.00	197.34
Pi (mm)	0.00	0.00	8.00	20.00	138.16	242.88	202.40	176.88	314.96	173.84	28.00	1.00	1306.12
ESC (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ETP (mm)	137.50	117.90	144.60	135.20	121.70	118.80	137.80	139.20	119.70	122.10	121.50	121.90	1537.90
HSi (mm)	1241.05	1159.92	1104.77	1058.01	1033.94	1112.94	1261.73	1337.66	1380.42	1414.53	1414.53	1331.61	
C1	0.68	0.53	0.44	0.37	0.55	0.89	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.85	
C2	0.50	0.41	0.32	0.28	0.42	0.69	0.84	0.93	1.00	1.00	0.83	0.65	
HD (mm)	363.16	282.03	234.88	200.12	294.21	477.93	586.24	636.65	817.49	710.48	564.64	454.72	
ETR (mm)	81.13	55.16	54.76	44.07	59.16	94.09	126.48	134.12	119.70	122.10	110.92	91.56	1093.23
HSf (mm)	1159.92	1104.77	1058.01	1033.94	1112.94	1261.73	1337.66	1380.42	1414.53	1414.53	1331.61	1241.05	
DCC (mm)	254.61	309.76	356.52	380.59	301.59	152.80	76.87	34.11	0.00	0.00	82.92	173.48	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	161.15	51.74	0.00	0.00	212.89
NR (mm)	310.98	372.51	446.36	471.72	364.13	177.51	88.20	39.19	0.00	0.00	93.50	203.82	2567.92

final de mes  
inicio de mes  
final de mes antes de ETR  
final de mes despues de ETF  
final de mes antes de ETR  
final de mes  
final de mes  
final de mes  
final de mes

Anexo 37. Tablas de formaciones geológicas con datos del balance hídrico de suelos, de la zona de recarga “San Juan de la Cruz” del municipio de San Fernando, Chalatenango, 2009

**BALANCE HIDRICO DE SUELOS**  
**Gunther Schosinsky**

Zona de Estudio: **SAN JUAN DE LA CRUZ 2**

Fecha:

Textura de Suelo: **Franca**

Simbología

- |  |                                     |
|--|-------------------------------------|
| fc: Capacidad de Infiltración.                                   | P: Precipitación Media Mensual.     |
| I: Infiltración.   | Pi: Precipitación que infiltra.     |
| CC: Capacidad de Campo.  | ESC: Escorrentía Superficial        |
| PM: Punto de Marchitez.  | ETP: Evapotranspiración Potencial.  |
| PR: Profundidad de Raíces.                                       | ETR: Evapotranspiración Real.       |
| (CC-PM): Rango de Agua Disponible.                               | HSi: Humedad de Suelo Inicial.      |
| DS: Densidad de Suelo.   | HD: Humedad Disponible              |
| C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR   | HSf: Humedad de Suelo Final.        |
| C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR | DCC: Déficit de Capacidad de Campo. |
| Kp: Factor por pendiente ( ver léame)                            | Rp: Recarga Potencial               |
| Kv: Factor por vegetación ( ver léame)                           | NR: Necesidad de Riego.             |
| Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración        | Ret: Retención de lluvia            |

fc [mm/d]	<b>794.16</b>	
Kp [0.01%]	<b>0.10</b>	
Kv [0.01%]	<b>0.20</b>	
Kfc [0.01%]	0.93753	
I [0.01%]	1	
DS (g/cm <sup>3</sup> ):	<b>1.43</b>	
PR (mm)	<b>3500.00</b>	
HSi (mm)	<b>1571.00</b>	
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	<b>11</b>	
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12	<b>0.20</b>	

	por peso	(%)	(mm)
CC	<b>31.39</b>		1571.07
PM	<b>24.17</b>		1209.71
(CC-PM)	7.22		361.36

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	5.00	2.00	13.00	25.00	157.00	276.00	230.00	201.00	357.91	197.55	33.00	6.00	1503.46
Ret (mm)	5.00	2.00	5.00	5.00	31.40	55.20	46.00	40.20	71.58	39.51	6.60	5.00	312.49
Pi (mm)	0.00	0.00	8.00	20.00	125.60	220.80	184.00	160.80	286.33	158.04	26.40	1.00	1190.97
ESC (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ETP (mm)	137.50	117.90	144.60	135.20	121.70	118.80	137.80	139.20	119.70	122.10	121.50	121.90	1537.90
HSi (mm)	1413.48	1350.70	1312.20	1284.83	1275.90	1347.79	1470.00	1526.66	1552.65	1571.07	1571.00	1491.90	
C1	0.56	0.39	0.31	0.26	0.53	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.78	
C2	0.35	0.26	0.18	0.16	0.35	0.67	0.85	0.94	1.00	1.00	0.74	0.52	
HD (mm)	203.77	140.99	110.49	95.12	191.79	358.88	444.29	477.75	629.27	519.40	387.69	283.19	
ETR (mm)	62.79	38.50	35.37	28.93	53.72	98.59	127.34	134.81	119.70	122.10	105.50	79.42	1006.75
HSf (mm)	1350.70	1312.20	1284.83	1275.90	1347.79	1470.00	1526.66	1552.65	1571.07	1571.07	1491.90	1413.48	
DCC (mm)	220.37	258.87	286.24	295.17	223.28	101.07	44.41	18.42	0.00	0.00	79.17	157.59	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	148.21	35.94	0.00	0.00	184.15
NR (mm)	295.09	338.27	395.47	401.44	291.27	121.28	54.87	22.81	0.00	0.00	95.17	200.07	2215.74

final de mes  
inicio de mes  
final de mes antes de ETR  
final de mes despues de ETF  
final de mes antes de ETR  
final de mes  
final de mes  
final de mes  
final de mes

Anexo 38. Tablas de formaciones geológicas con datos del balance hídrico de suelos, de la zona de recarga “San Juan de la Cruz” del municipio de San Fernando, Chalatenango, 2009.

**BALANCE HIDRICO DE SUELOS**  
**Gunther Schosinsky**

Zona de Estudio: **SAN JUAN DE LA CRUZ 3**

Fecha:

Textura de Suelo: **Arcillosa**

Simbología

- |  |                                     |
|--|-------------------------------------|
| fc: Capacidad de Infiltración.                                   | P: Precipitación Media Mensual.     |
| I: Infiltración.   | Pi: Precipitación que infiltra.     |
| CC: Capacidad de Campo.  | ESC: Escorrentía Superficial        |
| PM: Punto de Marchitez.  | ETP: Evapotranspiración Potencial.  |
| PR: Profundidad de Raíces.                                       | ETR: Evapotranspiración Real.       |
| (CC-PM): Rango de Agua Disponible.                               | HSi: Humedad de Suelo Inicial.      |
| DS: Densidad de Suelo.   | HD: Humedad Disponible              |
| C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR   | HSf: Humedad de Suelo Final.        |
| C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR | DCC: Déficit de Capacidad de Campo. |
| Kp: Factor por pendiente ( ver léame)                            | Rp: Recarga Potencial               |
| Kv: Factor por vegetación ( ver léame)                           | NR: Necesidad de Riego.             |
| Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración        | Ret: Retención de Iluvia            |

fc [mm/d]	432.48
Kp [0.01%]	0.27
Kv [0.01%]	0.20
Kfc [0.01%]	0.83096
I [0.01%]	1
DS (g/cm <sup>3</sup> ):	1.23
PR (mm)	3000.00
HSi (mm)	1809.00
Nº de mes con que inicia HSi:1,2,3...12?	11
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12	0.20

	por peso (%)	(mm)
CC	49.05	1809.95
PM	33.81	1247.59
(CC-PM)	15.24	562.36

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	5.00	2.00	13.00	25.00	157.00	276.00	230.00	201.00	357.91	197.55	33.00	6.00	1503.46
Ret [mm]	5.00	2.00	5.00	5.00	31.40	55.20	46.00	40.20	71.58	39.51	6.60	5.00	312.49
Pi (mm)	0.00	0.00	8.00	20.00	125.60	220.80	184.00	160.80	286.33	158.04	26.40	1.00	1190.97
ESC (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ETP (mm)	137.50	117.90	144.60	135.20	121.70	118.80	137.80	139.20	119.70	122.10	121.50	121.90	1537.90
HSi (mm)	1632.95	1550.25	1493.45	1444.56	1418.67	1487.01	1620.86	1685.03	1719.42	1809.95	1809.00	1724.28	
C1	0.69	0.54	0.45	0.39	0.53	0.82	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	0.85	
C2	0.52	0.43	0.34	0.29	0.41	0.65	0.75	0.82	1.00	1.00	0.83	0.67	
HD (mm)	385.36	302.66	253.86	216.97	296.68	460.22	557.27	598.25	758.16	720.40	587.81	477.69	
ETR (mm)	82.70	56.80	56.88	45.89	57.26	86.95	119.82	126.41	119.70	122.10	111.12	92.32	1077.98
HSf (mm)	1550.25	1493.45	1444.56	1418.67	1487.01	1620.86	1685.03	1719.42	1809.95	1809.95	1724.28	1632.95	
DCC (mm)	259.70	316.50	365.38	391.28	322.93	189.09	124.91	90.52	0.00	0.00	85.67	176.99	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	76.10	35.94	0.00	0.00	112.04
NR (mm)	314.49	377.60	453.10	480.58	387.38	220.93	142.89	103.31	0.00	0.00	96.04	206.57	2782.90

final de mes  
final de mes  
final de mes  
final de mes  
inicio de mes  
final de mes antes de ETR  
final de mes despues de ETF  
final de mes antes de ETR  
final de mes  
final de mes  
final de mes  
final de mes

Anexo 39. Tablas de formaciones geológicas con datos del balance hídrico de suelos, de la zona de recarga “El Jocote” del municipio de San Fernando, Chalatenango, 2009

**BALANCE HIDRICO DE SUELOS**  
**Gunther Schosinsky**

**Zona de Estudio:** EL JOCOTE 1  
**Fecha:**

**Textura de Suelo:** Arcillosa

Simbología

- fc: Capacidad de Infiltración.
- I: Infiltración.
- CC: Capacidad de Campo.
- PM: Punto de Marchitez.
- PR: Profundidad de Raíces.
- (CC-PM): Rango de Agua Disponible.
- DS: Densidad de Suelo.
- C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR
- C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR
- Kp: Factor por pendiente ( ver léame)
- Kv: Factor por vegetación ( ver léame)
- Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración
- P: Precipitación Media Mensual.
- Pi: Precipitación que infiltra.
- ESC: Escorrentía Superficial
- ETP: Evapotranspiración Potencial.
- ETR: Evapotranspiración Real.
- HSi: Humedad de Suelo Inicial.
- HD: Humedad Disponible
- HSF: Humedad de Suelo Final.
- DCC: Déficit de Capacidad de Campo.
- Rp: Recarga Potencial
- NR: Necesidad de Riego.
- Ret: Retención de Lluvia

fc [mm/d]	288.00	
Kp [0.01%]	0.10	
Kv [0.01%]	0.20	
Kfc [0.01%]	0.74466	
I [0.01%]	1	
DS (g/cm <sup>3</sup> ):	1.25	
PR (mm)	2000.00	
HSi (mm)	975.00	
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	11	
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12	0.20	
		por peso (%) (mm)
CC	39.00	975.00
PM	19.00	475.00
(CC-PM)	20.00	500.00

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	5.00	2.00	13.00	25.00	157.00	276.00	230.00	201.00	357.91	197.55	33.00	6.00	1503.46
Ret [mm]	5.00	2.00	5.00	5.00	31.40	55.20	46.00	40.20	71.58	39.51	6.60	5.00	312.49
Pi (mm)	0.00	0.00	8.00	20.00	125.60	220.80	184.00	160.80	286.33	158.04	26.40	1.00	1190.97
ESC (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ETP (mm)	137.50	117.90	144.60	135.20	121.70	118.80	137.80	139.20	119.70	122.10	121.50	121.90	1537.90
HSi (mm)	803.09	725.27	673.21	630.20	609.23	679.28	811.08	873.50	906.23	975.00	975.00	891.45	
C1	0.66	0.50	0.41	0.35	0.52	0.85	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.83	
C2	0.48	0.38	0.29	0.26	0.39	0.65	0.76	0.84	1.00	1.00	0.81	0.63	
HD (mm)	328.09	250.27	206.21	175.20	259.83	425.08	520.08	559.30	717.55	658.04	526.40	417.45	
ETR (mm)	77.82	52.06	51.01	40.97	55.55	89.00	121.58	128.08	119.70	122.10	109.95	89.37	1057.17
HSF (mm)	725.27	673.21	630.20	609.23	679.28	811.08	873.50	906.23	975.00	975.00	891.45	803.09	
DCC (mm)	249.73	301.79	344.80	365.77	295.72	163.92	101.50	68.77	0.00	0.00	83.55	171.91	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	97.85	35.94	0.00	0.00	133.79
NR (mm)	309.41	367.63	438.39	460.00	361.87	193.72	117.72	79.90	0.00	0.00	95.10	204.45	2628.18

final de mes  
 inicio de mes  
 final de mes antes de ETR  
 final de mes despues de ETR  
 final de mes antes de ETR  
 final de mes  
 final de mes  
 final de mes  
 final de mes

Anexo 40. Tablas de formaciones geológicas con datos del balance hídrico de suelos, de la zona de recarga “El Jocote” del municipio de San Fernando, Chalatenango, 2009.

**BALANCE HIDRICO DE SUELOS**  
**Gunther Schosinsky**

Zona de Estudio: EL JOCOTE

Fecha:

Textura de Suelo: Arcillosa

Simbología

- fc: Capacidad de Infiltración.
- I: Infiltración.
- CC: Capacidad de Campo.
- PM: Punto de Marchitez.
- PR: Profundidad de Raíces.
- (CC-PM): Rango de Agua Disponible.
- DS: Densidad de Suelo.
- C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR
- C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR
- Kp: Factor por pendiente ( ver léame)
- Kv: Factor por vegetación ( ver léame)
- Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración
- P: Precipitación Media Mensual.
- Pi: Precipitación que infiltra.
- ESC: Escorrentía Superficial
- ETP: Evapotranspiración Potencial.
- ETR: Evapotranspiración Real.
- HSi: Humedad de Suelo Inicial.
- HD: Humedad Disponible
- HSf: Humedad de Suelo Final.
- DCC: Déficit de Capacidad de Campo.
- Rp: Recarga Potencial
- NR: Necesidad de Riego.
- Ret: Retención de lluvia

fc [mm/d]	432.48
Kp [0.01%]	0.10
Kv [0.01%]	0.20
Kfc [0.01%]	0.83096
I [0.01%]	1
DS (g/cm <sup>3</sup> ):	1.23
PR (mm)	3000.00
HSi (mm)	1809.00
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	11
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12	0.20

por peso	
(%)	(mm)
CC	49.05 1809.95
PM	33.81 1247.59
(CC-PM)	15.24 562.36

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	5.00	2.00	13.00	25.00	157.00	276.00	230.00	201.00	357.91	197.55	33.00	6.00	1503.46
Ret [mm]	5.00	2.00	5.00	5.00	31.40	55.20	46.00	40.20	71.58	39.51	6.60	5.00	312.49
Pi (mm)	0.00	0.00	8.00	20.00	125.60	220.80	184.00	160.80	286.33	158.04	26.40	1.00	1190.97
ESC (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ETP (mm)	137.50	117.90	144.60	135.20	121.70	118.80	137.80	139.20	119.70	122.10	121.50	121.90	1537.90
HSi (mm)	1632.95	1550.25	1493.45	1444.56	1418.67	1487.01	1620.86	1685.03	1719.42	1809.95	1809.00	1724.28	
C1	0.69	0.54	0.45	0.39	0.53	0.82	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	0.85	
C2	0.52	0.43	0.34	0.29	0.41	0.65	0.75	0.82	1.00	1.00	0.83	0.67	
HD (mm)	385.36	302.66	253.86	216.97	296.68	460.22	557.27	598.25	758.16	720.40	587.81	477.69	
ETR (mm)	82.70	56.80	56.88	45.89	57.26	86.95	119.82	126.41	119.70	122.10	111.12	92.32	1077.98
HSf (mm)	1550.25	1493.45	1444.56	1418.67	1487.01	1620.86	1685.03	1719.42	1809.95	1809.95	1724.28	1632.95	
DCC (mm)	259.70	316.50	365.38	391.28	322.93	189.09	124.91	90.52	0.00	0.00	85.67	176.99	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	76.10	35.94	0.00	0.00	112.04
NR (mm)	314.49	377.60	453.10	480.58	387.38	220.93	142.89	103.31	0.00	0.00	96.04	206.57	2782.90

final de mes  
inicio de mes  
final de mes antes de ETR  
final de mes despues de ETR  
final de mes antes de ETR  
final de mes  
final de mes  
final de mes  
final de mes