

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



**“IDENTIFICACIÓN, CARACTERIZACIÓN Y LINEAMIENTOS PARA EL  
MANEJO DE ZONAS DE RECARGA HÍDRICA EN EL MUNICIPIO DE DULCE  
NOMBRE DE MARÍA, CHALATENANGO.”**

**POR:**

**JUDITH MIREYA RIVAS GONZÁLEZ  
AMANDA MERCEDES RIVAS MELARA**

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

**CIUDAD UNIVERSITARIA, ABRIL DE 2009.**

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

**RECTOR.**

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

**SECRETARIO GENERAL.**

**LIC. DOUGLAS VLADIMIR ALFARO CHÁVEZ**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS**

**Dr. ING. AGR. REYNALDO ADALBERTO LÓPEZ LANDAVERDE**  
**DECANO.**

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

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

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

**DOCENTES DIRECTORES.**

**ING. AGR. MIGUEL ÁNGEL HERNÁNDEZ**

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

## **RESUMEN**

En la presente investigación se describe la metodología que utiliza el balance hídrico específico para determinar la recarga hídrica subterránea potencial del municipio de Dulce Nombre de María, departamento de Chalatenango, ubicado en la zona norte del país a 72 kms. de San Salvador. La característica principal de dicha región es la ausencia de acuíferos regionales, por lo que, el movimiento del flujo subterráneo se realiza a través de los alineamientos de las fracturas o fallas geológicas. Esta metodología hace uso de técnicas de sensores remotos para identificar las fallas geológicas, junto con el análisis de la distribución espacial de manantiales y otras variables biofísicas, juntamente con el Sistema de Información Geográfica para elaborar una cartografía temática de las áreas de recarga acuífera utilizando escalas más detalladas, con la intención de proporcionar mejores insumos para los tomadores de decisiones para el uso sostenible de los recursos naturales, ordenamiento territorial y desarrollo local. Se fundamenta en el análisis de la infiltración del agua basándose en la asignación de coeficientes dependiendo de las coberturas del suelo, tipo de suelo y precipitación promedio. Se identificaron 12 zonas de recarga, y 3 formaciones geológicas predominantes, de las cuales la principal es Morazán la cual está compuesta por rocas extrusivas, básicas intermedias, ácidas, piroclásticas, tobas fundidas, riolitas y epiclastitas volcánicas. El número total de manantiales identificados en el municipio fue de 82 con un caudal total de 76.38 litros por segundo.

## **AGRADECIMIENTOS**

**A Dios:** todo poderoso por permitir en nuestras vidas obtener un triunfo más, y darnos la fuerza de voluntad para culminar y emprender con valor y dignidad nuestro futuro como profesionales.

**A Nuestra Familia:** por ser el apoyo moral y económico de nuestra carrera y sobre todo por su dedicación y comprensión en todo momento, los queremos mucho.

**A Nuestros Docentes Directores:** Ing. Luis Fernando Castaneda Romero, Ing. Miguel Hernández, por el aporte de conocimientos que nos brindaron para realizar nuestro trabajo de graduación y culminarlo con satisfacción.

**Agradecimiento:** Ing. Agr. Efraín Rodríguez Urrutia por su colaboración y amistad a COSUDE por financiar esta investigación, Ing. José Roberto Duarte por ofrecernos su tiempo y conocimientos, también a la alcaldía del municipio de Dulce Nombre de María y líderes comunales por proporcionarnos guía en las giras de campo, a la parroquia del municipio por el apoyo y a la familia Abrego Navas por su colaboración y amistad.

**A NUESTRA ALMA MATER:** Por brindarnos nuestra formación Profesional a lo largo de nuestra carrera y en especial a todos los docentes que año con año nos formaron para que hoy día seamos gente de provecho y podamos servir a nuestra sociedad.

**Judith Mireya Rivas González.**  
**Amanda Mercedes Rivas Melara.**

## **DEDICATORIA**

A DIOS todo poderoso por darme fortaleza y lo necesario para la vida y además brindar solución a las dificultades que se presentaron en el transcurso de la investigación.

A MIS PADRES Mario Antonio Rivas y Rosa González Marín por estar presentes durante todo el camino que implicó la realización de este, por su comprensión y apoyo incondicional.

A MIS HERMANOS: Verito, Zulma, Mayra, y Tony por su apoyo incondicional

A MIS SOBRINOS: Valeria, Fernando, Eduardo y Daniela que tanta alegría trajeron a la familia

A MIS ABUELOS: Mama nena y papa Nico.

Al Ing. Efraín Antonio Rodríguez Urrutia, por su amistad y apoyo incondicional.

A la Familia Rivas Melara por toda su colaboración y amistad.

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

**Judith Mireya Rivas González**

## **DEDICATORIA**

A DIOS, por permitirme darme fortaleza, fuerza y voluntad para seguir adelante a pesar de las dificultades

A MIS PADRES, Armando René Rivas y Mercedes Melara por estar presentes durante la realización de mi carrera, por su comprensión y apoyo incondicional.

A MIS HERMANOS René y Armando, por mostrarme su apoyo cuando les he necesitado.

A MI SOBRINO Oxtlan y a mi cuñada Lisa por brindarme su apoyo y comprensión.

A la familia Rivas González, por brindarme su apoyo y amistad.

Al Ing. Efraín Antonio Rodríguez Urrutia, por su amistad y apoyo incondicional.

A todos mis amigos y amigas, por todos esos momentos que compartimos durante toda la fase que implicó llegar a cumplir esta meta.

**Amanda Mercedes Rivas Melara.**

## INDICE GENERAL

Contenido	Pág
	.
<b>AUTORIDADES.....</b>	<b>ii</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>iv</b>
<b>AGRADECIMIENTOS.....</b>	<b>v</b>
<b>DEDICATORAS.....</b>	<b>vi</b>
<b>ÍNDICE GENERAL.....</b>	<b>viii</b>
<b>ÍNDICE DE CUADROS.....</b>	<b>ix</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>x</b>
<b>ÍNDICE DE ANEXOS.....</b>	<b>xi</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>2. REVISIÓN DE LITERATURA.....</b>	<b>4</b>
<b>2.1 Aguas subterráneas.....</b>	<b>4</b>
<b>2.1.1 Importancia de las aguas subterráneas.....</b>	<b>4</b>
<b>2.2 Recarga Acuífera.....</b>	<b>5</b>
<b>2.2.1 Para qué sirve el conocimiento de la recarga acuífera.....</b>	<b>6</b>
<b>2.3 Geología.....</b>	<b>7</b>
<b>2.3.1 Geología Local.....</b>	<b>7</b>
<b>2.3.2 Formaciones Geológicas del municipio de Dulce Nombre de María.....</b>	<b>7</b>
<b>2.4 Hidrogeología.....</b>	<b>9</b>
<b>2.4.1 Unidades hidrogeológicas.....</b>	<b>10</b>
<b>2.5 Modelo conceptual hidrogeológico de la zona.....</b>	<b>10</b>
<b>2.5.1 Acuífero.....</b>	<b>10</b>
<b>2.5.1.1 Tipos de acuíferos.....</b>	<b>10</b>
<b>2.5.2 Sistemas de fallas.....</b>	<b>12</b>
<b>2.5.3 Parámetros hidráulicos.....</b>	<b>12</b>
<b>2.6 Balance Hídrico.....</b>	<b>13</b>
<b>2.7 Dinámica hídrica subterránea.....</b>	<b>14</b>
<b>2.8 Los sensores remotos.....</b>	<b>15</b>
<b>2.9 Sistema de información geográfica y su aplicación.....</b>	<b>15</b>



2.10 Caracterización de las zonas de recarga acuífera.....	16
<b>3. METODOLOGIA.....</b>	<b>17</b>
<b>3.1 Descripción del municipio de Dulce Nombre de María.....</b>	<b>17</b>
3.1.1 Ubicación.....	17
3.1.2 Clima.....	17
3.1.3 Topografía.....	17
3.1.4 Vegetación.....	18
<b>3.2 Recopilación de información secundaria de la zona de estudio.....</b>	<b>18</b>
3.2.1 Geología.....	18
3.2.2 Topografía.....	18
3.2.3 Cobertura vegetal.....	18
3.2.4 Hidrología.....	19
3.2.5 Hidrogeología.....	19
3.2.6 Meteorología.....	19
<b>3.3 Fase de campo.....</b>	<b>19</b>
3.3.1 Visita de reconocimiento.....	20
3.3.2 Levantamiento de inventario de manantiales.....	20
3.3.3 Verificación del uso de suelo.....	22
3.3.4 Pruebas de Infiltración.....	23
3.3.5 Metodología de conductividad hidráulica.....	24
3.3.6 Cartografía digital utilizada para determinar zonas de recarga acuífera.....	25
3.3.6.1 Mapa digital de red hídrica.....	26
3.3.6.2 Mapa de fallas geológicas.....	26
3.3.6.3 Mapa digital de manantiales.....	27
3.3.7 Metodología aplicada al balance hídrico.....	27
3.3.7.1 Mapa de pendiente.....	30
3.3.7.2 Mapa de uso de suelo.....	31
3.3.7.3 Mapa geológico.....	31
3.3.7.4 Mapa hidrogeológico.....	34
<b>3.8 Calculo de la recarga.....</b>	<b>34</b>
<b>4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>35</b>
<b>4.1 Identificación de las zonas de recarga hídrica.....</b>	<b>35</b>

<b>4.2 Caracterización de las zonas de recarga hídrica.....</b>	<b>36</b>
<b>4.3 Análisis de la situación actual de las zonas de recarga hídrica.....</b>	<b>41</b>
<b>4.4 Lineamientos para un mejor manejo de las zonas de recarga hídricas.</b>	
<b>5. CONCLUSIONES.....</b>	<b>47</b>
<b>6. RECOMENDACIONES.....</b>	
<b>7. BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>50</b>
<b>8. ANEXOS.....</b>	<b>51</b>
	<b>52</b>
	<b>54</b>

## **1. INTRODUCCIÓN**

Hablar del agua implica hablar de un recurso vital en el desarrollo de todas las especies que habitan el planeta, especialmente la humana; pero a la vez, tiene características muy particulares como: ser un recurso natural, escaso, indispensable para la inmensa mayoría de las actividades humanas y económicas, irremplazable, no ampliable por la voluntad del hombre (hasta ahora), fácilmente vulnerable y susceptible.

Según la DIGESTYC, (2007), El Salvador es un país con una extensión territorial de 20,742 km<sup>2</sup> (MINEC, 2008) y con una población de 5,744,113 millones de habitantes, según el VI Censo de Población y V de vivienda; el crecimiento demográfico del país en los últimos años ha sido evidente, por lo que los gobiernos deberán ser creativos para plantearse estrategias a largo plazo para que no se deterioren los recursos naturales, especialmente el agua.

El informe de la OPS-OMS, señala que en el 2002, la principal fuente de abastecimiento de agua para la población salvadoreña, proviene de la explotación de acuíferos subterráneos. Por ejemplo actualmente, en el Área Metropolitana de San Salvador el 69.1% del agua que es abastecida por ANDA proviene de pozos. Antes de 1,992 casi el 100% provenía de fuentes subterráneas. Este mismo caso ocurre en la zona norte de Chalatenango, debido a que el 98% de los municipios, se abastecen de agua subterránea.

En el año 2005, el proyecto de Fortalecimiento de la Gestión Ambiental en El Salvador (FORGAES), realizó una investigación aplicando la metodología de Recarga Acuífera Subterránea (RAS), que permitió elaborar el mapa de recarga acuífera subterránea a una escala cartográfica nacional de 1:50,000. Fueron utilizados en esta actividad, mapas digitales con escalas entre 50,000 y 30,000, esto produjo como resultado principal el mapa de recarga de agua subterránea de El Salvador, permitiendo así identificar las capacidades de recarga que tienen las unidades territoriales (FORGAES, 2005).

Argueta, 2008, estimó la recarga acuífera subterránea potencial del municipio de La Palma, Chalatenango, 2008, la cual aportó toda una cartografía sobre esas áreas; fue utilizado en este caso el método de balance hídrico específico, utilizando un Sistema de Información Geográfica para el manejo y análisis de la información cartográfica primaria y secundaria. La realización de este trabajo señaló la falta de datos más específicos sobre algunos

índices, sobre todo relacionado a características físicas de las unidades mapeadas. Por lo que se recomendó seguir investigando la metodología incorporando la determinación de más parámetros locales.

Es importante mencionar que en ambas investigaciones no se consideraron los siguientes parámetros: pruebas de infiltración, caracterización biofísica y socioeconómica de las zonas de recarga hídrica identificadas. Por lo tanto en la presente investigación se considerarán, según recomendaciones de especialistas en este tipo de estudios.

La falta de información más específica sobre las zonas de recarga hídrica de los municipios, conlleva al desconocimiento de acciones eficaces y la acertada toma de decisiones por parte de las autoridades competentes, para garantizar la cantidad y calidad del recurso hídrico para la población.

Por esta razón es de suma importancia la identificación, y caracterización de las principales zonas de recarga hídrica de Dulce Nombre de María, municipio que pertenece a la asociación de municipios Cayaguanca, la cual no posee este tipo de información, y además es necesario el establecimiento de lineamientos técnicos apropiados para el manejo de los recursos y principalmente de las zonas de recarga acuífera, que permitan desarrollar acciones integrales del sistema hidrográfico local y satisfacer la demanda hídrica de los pobladores del municipio.

Es importante mencionar que el gobierno municipal, no cuenta con ninguna información sobre zonas de recarga acuífera.

Con este estudio se pretende identificar las zonas de recarga hídrica, generar información cartográfica y una base de datos digitalizada la cual podrá almacenarse y manejarse utilizando el Sistema de Información Municipal dirigido para uso de los actores locales.

Esta investigación consiste en la determinación de las zonas de recarga acuífera en un medio particular, como es la roca fracturada predominante en el municipio de Dulce Nombre de María (Duarte, 2008), consecuentemente, en la elaboración de una cartografía temática a escala cartográfica más detallada que supere los aportes desarrollados por otras

instituciones a escala nacional, que no permite obtener el mayor provecho de las investigaciones.

Las variables utilizadas para determinar las zonas de recarga acuífera potencial de este municipio fueron: pendiente en porcentajes, inventario de manantiales, cobertura actual del suelo, inventario de fallas geológicas y la hidrogeología del área.

También se describen las características generales del municipio como su ubicación geográfica, clima y topografía. Además se detalla la metodología empleada para la ubicación y caracterización de manantiales, identificación de las fallas geológicas locales; enriqueciendo la base de datos del mapa de fallas geológicas de El Salvador, y pruebas de infiltración realizadas con el propósito de determinar el coeficiente de infiltración de cada miembro geológico identificado en las zonas de recarga hídrica. Además se presentan la descripción de la geología e hidrogeología del municipio para determinar qué tipo de potencial hidrogeológico existe en el área de estudio. La realización de ésta investigación es importante desde dos perspectivas: a) para la integración del Mapa Hidrogeológico de El Salvador y b) como base para futuros estudios hidrogeológicos, ya que actualmente la información disponible de dicha zona es escasa y poco detallada.

Con el levantamiento de toda la información antes mencionada se formulo una propuesta de lineamientos para el manejo de las zonas de recarga identificadas, cuyo fin principal es contribuir al aprovechamiento y manejo sostenible de las zonas de recarga hídrica del municipio de Dulce Nombre de María.

## **2. REVISIÓN DE LITERATURA.**

### **2.1 Aguas Subterráneas.**

Cada gota de agua que cae de la lluvia al suelo se mueve o transfiere. Muchas gotas corren en una pendiente hacia abajo y la escorrentía forma parte de quebradas y ríos. Las aguas que llenan una depresión con suelo impermeable forman cuerpos de agua como lagos y lagunas. Algunas gotas no quedan mucho tiempo en la fase líquida. Se evaporan en forma de gas (evaporación y transpiración) otra vez al cielo, para formar nubes. Otra parte de aguas pluviales alcanza a penetrar en el subsuelo y se infiltran hacia abajo. Primero pasando la zona no saturada del subsuelo; la capa donde están las raíces de las plantas y los poros del suelo lleno de aire. Cuando el agua infiltrada llega a la zona saturada, forma parte del agua subterránea. Este proceso se le llama la recarga acuífera. (FORGAES, 2005)

Por agua subterránea se entiende el agua que ocupa todos los vacíos dentro del estrato geológico, comprende toda el agua que se encuentra por debajo del nivel freático. (CATIE, 2006).

#### **2.1.1. Importancia de las aguas subterráneas.**

Según Gil, (2000), en la actualidad, las cuatro quintas partes del agua consumida por la población, proviene de los ríos y lagos. Aún así, la importancia económica que supone el aprovechamiento del agua subterránea en el mundo es enorme, pues el agua subterránea es preferida generalmente al agua superficial por las siguientes razones:

- 1 El agua subterránea no posee organismos patógenos y por ello no necesita ser tratada previamente, con el consiguiente menor costo al no pasar por depuradoras. Su temperatura es constante, lo cual es una gran ventaja si se ha de utilizar para intercambios térmicos o como termorregulador.
- 2 No posee ni turbidez ni color.
- 3 Su composición química es generalmente constante.
- 4 Los volúmenes de agua subterránea almacenada son por lo general mayores que los volúmenes almacenados en superficie, por lo que el abastecimiento a partir de aguas subterráneas no suele verse afectado por las sequías prolongadas.
- 5 La contaminación de la mayor parte de las aguas subterráneas es difícil, por actuar de filtro las mismas rocas del subsuelo.
- 6 El agua subterránea, acumulada durante largas series de años de recarga, constituye

el único recurso en muchas regiones donde no es posible asegurar su abastecimiento a partir de la explotación de las aguas superficiales.

Dos grandes inconvenientes suelen impedir la utilización más intensiva de las aguas subterráneas:

- 1) El hecho de que muchas regiones están emplazadas sobre un subsuelo rocoso cuya porosidad o permeabilidad son insuficientes para proporcionar grandes caudales de agua en las captaciones.
- 2) El costo de explotación mediante pozos de bombeo es generalmente mayor que el costo de explotación de las aguas superficiales de los ríos próximos a las zonas de consumo; sobre todo en regiones de pluviometría elevada o moderada. (Gil, 2000).

Generalmente el agua subterránea está protegida de la contaminación directa debido a su cobertura y está libre de sustancias que perjudican la salud. Por eso se debería dar prioridad al suministro del agua potable, a través del agua subterránea, ante todos los demás recursos hídricos. La protección del agua subterránea es de gran importancia, de manera que también cuando existen diferentes demandas de uso que compiten entre ellas, por principio se debe dar prioridad al suministro de agua potable. A una mayor densidad poblacional de las zonas de captación del agua y a una mayor intensidad del aprovechamiento, mayores son los riesgos y perjuicios para el agua subterránea. En este marco se ve como una necesidad establecer medidas que rigen la protección de las aguas subterráneas con el fin de asegurar el suministro público de agua y mantener la calidad del abastecimiento. (FORGAES, 2005)

## **2.2 Recarga Acuífera.**

La recarga hídrica o acuífera, es la infiltración del agua superficial que pasa de la zona no saturada del suelo y llega a la zona saturada que forma parte del agua del acuífero. Un acuífero es un sistema abierto donde el agua subterránea fluye en la dirección del potencial más bajo, que en la mayoría de casos es el mar. Los criterios más importantes que influyen sobre la recarga acuífera son los siguientes: precipitación, evaporación/transpiración,

geología, sub-suelo, vegetación, uso de suelo, topografía y profundidad del acuífero (CATIE, 2006).

El agua del suelo se renueva en general por procesos activos de recarga desde la superficie. La renovación se produce lentamente cuando se compara con la de los depósitos superficiales, como los lagos, y los cursos de agua. La recarga natural de los acuíferos procede básicamente del agua de lluvia que a través del terreno pasa por infiltración a los acuíferos. En el proceso para identificación de zonas de recarga hídrica, es importante iniciar con un análisis de las condiciones y características de la cuenca o la región (CATIE 2006).

El segundo análisis que se puede considerar 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. El tercer análisis corresponde al balance hidrogeológico, en el cual se evalúan todas las entradas y salidas de agua, incluyendo los aportes externos (de otras cuencas) y los aportes profundos (aguas juveniles). Esta posibilidad tiene dos expresiones: i) Cuando se manifiesta en la escorrentía superficial de los cauces de los ríos, y ii) Cuando el acuífero es alimentado por infiltración del agua de una cuenca vecina, pero no se manifiesta en la escorrentía. (CATIE 2006).

Según Schosinsky, (2000), la fórmula para calcular la recarga acuífera de una zona es:  $R=BC*C$ ; donde: R=recarga acuífera, BC=balance climático, C=coeficiente de infiltración. Donde  $C=K_p+K_v+K_{FC}$ ; donde  $K_p$ = fracción que infiltra por efecto de la pendiente del terreno,  $K_v$ = fracción que infiltra por efecto de la cobertura vegetal,  $K_{FC}$ = fracción que infiltra por efecto de la textura del suelo.

### **2.2.1 Para qué sirve el conocimiento de la recarga acuífera.**

La teoría de la sostenibilidad del manejo de un acuífero indica, que no se debe extraer mas agua subterránea que la que se recupera a través de la recarga acuífera en un año. Con la información de la recarga acuífera se puede determinar: Áreas de protección del acuífero, zonas de recuperación (“cosecha de agua subterránea”), apoyar al ordenamiento territorial, dar recomendaciones en gestión de riesgos, identificar zonas de descontaminación, delimitar zonas de protección alrededor de pozos, etc. (Hernández, 2007).



## **2.3 Geología.**

La geología es la ciencia que estudia la tierra, su composición, su estructura, los fenómenos de toda índole que en ella tienen lugar, y su pasado, mediante los documentos que de él han quedado en las rocas (Meléndez y Fuster 1973).

Según Escobar (2003), la geología es la ciencia que estudia el planeta Tierra en su conjunto, describe los materiales que la forman para averiguar su historia y su evolución e intenta comprender la causa de los fenómenos endógenos y exógenos. La unidad de tiempo en geología es el millón de años. En el cálculo de la recarga acuífera la conjunción de miembros geológicos con el fallamiento de la zona nos permite asociar fuentes de agua y también delimitar posibles zonas de recarga potencial.

### **2.3.1 Geología local**

En la zona de estudio el 75% está constituida por rocas de origen volcánico. Las formaciones presentes en el municipio son: Valle de Ángeles, Morazán, Chalatenango, San Salvador, Cuscatlán y Morazán-Chalatenango. (Duarte 2008).

### **2.3.2 Formaciones geológicas del municipio de Dulce Nombre de María.**

Según el léxico estratigráfico de El Salvador de Baxter, (1984), se definen las siguientes formaciones geológicas del municipio de Dulce Nombre de María:

#### **Formación Chalatenango.**

Sección de espesor superior a los 500 m, constituida por rocas volcánicas, de tipo riolítico-dacítico, los cuales probablemente constituyen la fase extrusiva de las intrusiones graníticas-dioríticas, o menos contemporáneas.

Esta formación se describe como una secuencia de rocas volcánicas ácidas piroclásticas, ignimbritas y epiclastitas, eventualmente en transición a la Formación Cuscatlán. En el municipio de Dulce Nombre de María se encuentran los miembros ch1 y ch2.

**Miembro ch1:** Se define como rocas piroclásticas ácidas, epiclastitas volcánicas, ignimbritas y rocas efusivas intercaladas, localmente silicificadas.

**Miembro ch2:** Constituida por rocas efusivas ácidas de tipo riolítico, eventualmente en transición al miembro c2 de la Formación Cuscatlán y por piroclásticas subordinadas.

### **Formación Morazán.**

La Formación Morazán está compuesta por rocas extrusivas, básicas intermedias, ácidas, piroclásticas, tobas fundidas, riolitas y epiclastitas volcánicas. El término Formación Morazán fue introducido por Wiesemann (1975:561), citado por Baxter (1984), posteriormente Wiesemann et al (1978) lo redefinen subdividiéndolo en cuatro miembros, los cuales son: m1'a, m1'b, m2'a y m2'b. En el área de estudio se encuentra presente los miembros m2a y m1b.

**Miembro m2'a:** La sección está constituida por rocas efusivas intermedia hasta intermedia-ácidas y piroclásticas subordinadas, en parte silicificadas, con metamorfismo de contacto o con alteración hidrotermal.

**Miembro m1b:** Wiesemann et al (1978), citado por Baxter 1984 introduce el termino, y corresponde a la parte superior del miembro m1 reportado previamente por el mismo autor (1975: 562). La describe como una secuencia de rocas efusivas acidas e ignimbritas, localmente piroclásticas.

### **Formación San Salvador.**

Se describe como piroclásticas y efusivas ácidas-básicas intercaladas.

Entre los miembros geológicos pertenecientes a la Formación San Salvador y que se han ubicado en el área de análisis, se tienen:

**Miembro Q'f:** Está compuesto por sedimentos aluviales con ciertas intercalaciones de rocas piroclásticas, constituidos por arenas, gravas y limos; los cuales han sido depositados en el cauce de ríos o en algunas depresiones, luego de haberse transportado por medio de corrientes de agua.

### **Formación Morazán-Chalatenango**

La unidad está constituida por granito, Granodiorita, la cual corresponde a rocas acidas intrusivas.

**Miembro I:** características similares a miembro ch1 y m2a, de baja permeabilidad.

### **Formación Valle de Ángeles**

La Formación Valle de Ángeles fue introducida por Carpenter (1954, 1970,: 15) y elevada al status de Grupo por Mills et al (1967, 1969: 14-15), Weber (1979: 49) lo describe en Metapán como una secuencia de depósitos terrestres y rocas volcánicas entre el grupo Yojoa y las rocas volcánicas del Terciario, cuya composición sugiere una canibalización de las unidades inferiores, (Horne et al, 1957: 185), Equivalen en parte a las Series de los Conglomerados Superiores descritas por Dürr & Stober (1956: 48) y a las areniscas, conglomerados y rocas volcánicas pliocénicas de Stirton & Gealey (1949: 1740) (Baxter,1984).

### **Formación Cuscatlán**

Se describe como una secuencia volcano-sedimentaria del Plio-Pleistoceno, el cual se divide en tres miembros: c1, c2 y c3. La sección volcánica está constituida por tobas ácidas en la base, seguido por lavas ácidas-intermedias y andesitas-basaltos en la parte superior. Los miembros de la Formación Cuscatlán se encuentran ubicados, en su mayor parte, a lo largo de una depresión de rumbo oeste-noroeste. Limita al norte con estructuras de rumbo este-oeste que pone en contacto con unidades más antiguas.

Entre los miembros geológicos pertenecientes a la Formación Cuscatlán y que se ha ubicado en el área de análisis, se tienen:

**Miembro c1:** Es el miembro inferior de la Formación Cuscatlán, y está constituido por unidades, tanto sedimentarias como volcánicas, las primeras son sedimentos de ríos y lagos que se ubican en cuencas intermontañas. (Baxter, 1984).

### **2.4. Hidrogeología.**

Ciencias que estudia el almacenamiento, circulación y distribución de las aguas terrestres en las zonas saturada y no saturada de las formaciones geológicas, teniendo en cuenta sus propiedades físicas y químicas, sus interacciones con el medio físico y biológico y sus reacciones a la acción del hombre. (Wikipedia, 2007).

Según Mijailov, (1985), la información hidrogeológica consiste en describir el movimiento de las aguas subterráneas dentro de las diferentes unidades hidrogeológicas de la zona de estudio, para ello es necesario estudiar la presencia de manantiales, su caudal y asociación con las fallas geológicas presentes.

### 2.4.1 Unidades hidrogeológicas.

Es la correlación de los distintos materiales que constituyen a las formaciones geológicas, en donde las propiedades hidráulicas con llevan a la conjunción de la misma en el agrupamiento respectivo (Theis, 1935).

Según Duarte, (1998), 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.

### 2.5 Modelo conceptual hidrogeológico de las zonas de recarga hídrica.

#### 2.5.1 Acuífero.

Un acuífero es una formación geológica en el subsuelo donde el agua subterránea llena en su totalidad un medio permeable. El agua subterránea se mueve a través de la gravedad en la dirección de un nivel más bajo. Así, un acuífero es un sistema dinámico, donde puede entrar agua de infiltración por arriba y flujos horizontales desde la zona de recarga. (FORGAES, 2005).

##### 2.5.1.1 Tipos de acuíferos.

Los acuíferos se clasifican según su geometría e hidráulica en cuatro tipos:

- Acuífero No Confinados (libres): su porción superior cubierto con material permeable.
- Acuíferos Colgados: una lente menos permeable sustenta una bolsa de agua que en muchos casos es espacialmente limitado. Este acuífero no tiene un flujo horizontal de agua subterránea y se recarga solo por la infiltración en épocas lluviosas de zonas muy cercanas.

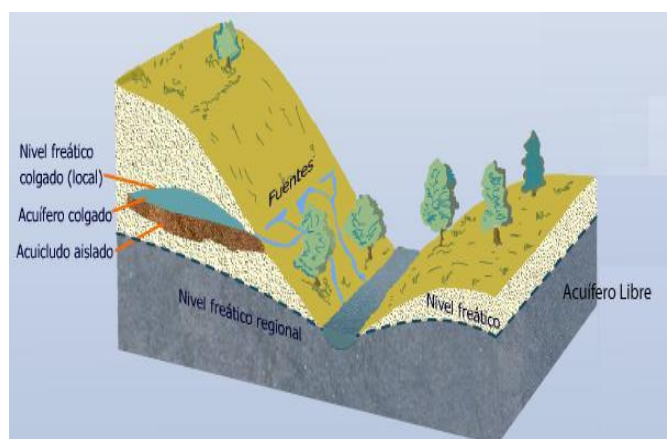


Fig. 1 Acuífero libre y colgado. Martin, 2008

- Acuífero Confinado: presentan una capa de menor permeabilidad encima del acuífero, que somete las aguas a una presión superior a la atmosférica.



Fig. 2 Acuífero confinado. Martin, 2008

- Acuífero Semi Confinado: se encuentran en una situación intermedia entre los dos anteriores.

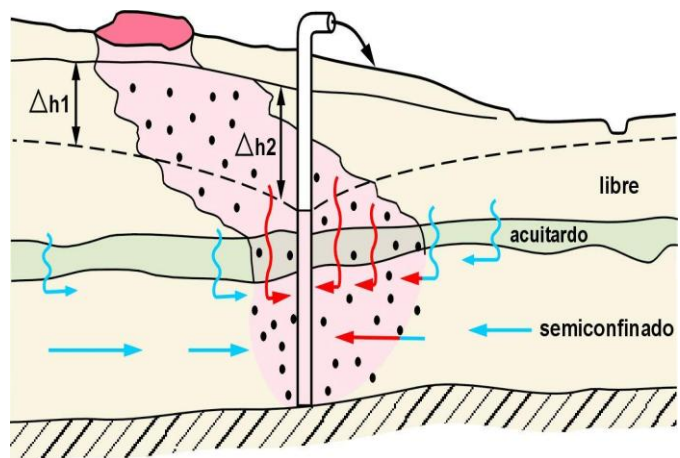


Fig. 3 Acuífero semiconfinado. Auge, 2008.

- **Acuífero Fisurado:** Estos son los que están conformados por el conjunto de rocas intensamente fracturadas en superficie (metamórficas, sedimentarias, intrusivas, volcánicas, etc.) y por las fallas que permiten el flujo lento del agua subterránea. (Fig.4)(FORGAES, 2005).

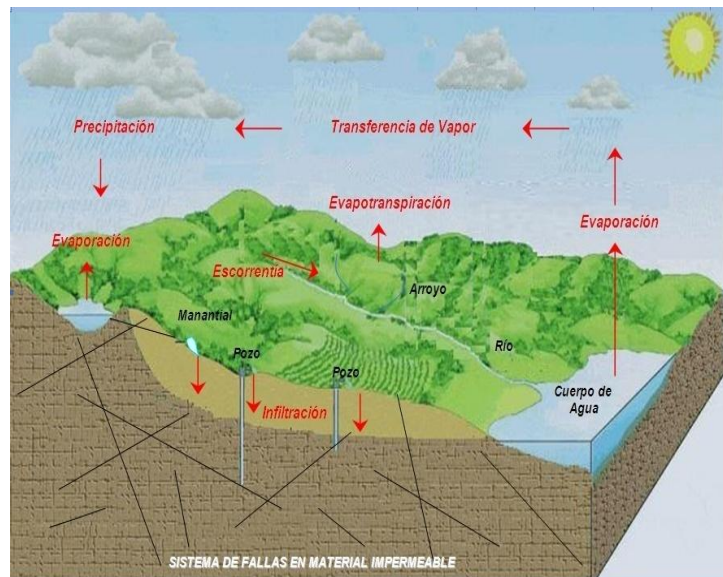


Fig 4 Ciclo del agua en un medio de roca fracturada. Duarte. 1998

### 2.5.2. Sistema de fallas

Una falla, en geología, es una discontinuidad que se forma en las rocas superficiales de la Tierra (hasta unos 200 km de profundidad) por fractura, cuando las fuerzas tectónicas superan la resistencia de las rocas. La zona de ruptura tiene una superficie generalmente bien definida denominada plano de falla y su formación va acompañada de un deslizamiento de las rocas tangencial a este plano. (Duarte, 1998).

### 2.5.3 Parámetros hidráulicos

**Transmisividad:** la transmisividad o transmisibilidad de un sistema acuífero, mide la cantidad de agua, por unidad de ancho, que puede ser transmitida horizontalmente a través del espesor saturado de un acuífero con un gradiente hidráulico igual a 1 (unitario). (Duarte, 1998).

**Coefficiente de Almacenamiento:** El coeficiente de almacenamiento,  $S$ , es el volumen de agua, por unidad de área y cambio en altura de agua, que una unidad permeable absorberá o liberará desde almacenamiento. De acuerdo a esta definición esta cantidad es adimensional. (Espinosa, 2004).

## **2.6 Balance Hídrico**

El balance hídrico es una representación teórica de los intercambios de agua entre las plantas, el suelo y la atmósfera, este nos permite cuantificar los recursos hídricos a diferente escala como parcela, finca, cuenca, región y las modificaciones del mismo por influencia de las técnicas de manejo de la agricultura y de las actividades del hombre en general (Jiménez, 2006).

La finalidad de determinar el balance hídrico es la de establecer y analizar las entradas, salidas y cambios de humedad del suelo dentro de un área determinada. 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 permanente) y de la profundidad de raíces de las plantas, considerada como la profundidad donde suceden los cambios de humedad.

En el balance hídrico se considera a la velocidad de infiltración del suelo (capacidad de infiltración) como el factor principal que condiciona la cantidad de precipitación pluvial que puede infiltrarse; ya que depende básicamente de las características físicas del suelo, como lo son la textura, estructura, compactación y contenido de humedad. (Duarte, 1998)

### **Precipitación efectiva.**

La precipitación efectiva se considera como la porción de la precipitación pluvial que logra infiltrarse en el suelo y que se encuentra disponible para ser utilizada por las raíces de las plantas o para recargar al acuífero. Existen varios factores que intervienen en la determinación de la precipitación efectiva, entre los que se mencionan a los siguientes: intensidad de la precipitación, la velocidad de intensidad de infiltración en el suelo, la cobertura vegetal y la topografía. A partir de estos factores existen diversos métodos, basados en fórmulas, para calcular la precipitación efectiva. (Duarte, 1998).

### **Evapotranspiración.**

Es un proceso que resulta del efecto combinado de la evaporación del agua de un suelo húmedo y la transpiración correspondiente de las plantas. La transpiración es la pérdida de agua por la planta, fundamentalmente a través del sistema foliar. El agua es captada del suelo a través del sistema radicular y circula por la estructura de la planta hasta salir al

exterior. No se debe confundir con el agua que cae al follaje por interceptación y vuelve a la atmósfera por evaporación (Vásquez y Chang, 1992).

La evaporación es una etapa permanente del ciclo hidrológico. Hay evaporación en todo momento y en toda superficie húmeda. Considerada un fenómeno puramente físico, la evaporación es el paso del agua del estado líquido al estado gaseoso (Villón, 2004).

### **Evapotranspiración potencial.**

Es la cantidad máxima de agua capaz de ser perdida por una capa continua de vegetación que cubra todo el terreno cuando es ilimitada la cantidad de agua suministrada al suelo.

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. (Duarte, 1998).

### **Contenido de humedad del suelo**

Este término se refiere a la cantidad de agua que se encuentra retenida en el suelo. Generalmente se expresa en proporción al peso de agua, respecto al peso total de una muestra de suelo, o en proporción al volumen ocupado por el agua en dicha muestra. Los valores de contenido de humedad de suelo característicos son: la capacidad de campo y el punto permanente de marchitez. (Duarte, 1998).

### **Capacidad de campo**

La capacidad de campo se define como la máxima humedad que puede retener 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). (Duarte, 1998).

### **Punto permanente de marchitez:**

El punto permanente de marchitez es el límite inferior del contenido de humedad, a partir del cual el agua no puede ser extraída por las raíces. También se expresa en porcentaje por peso seco o en lámina de agua (Duarte, 1998).

## **2.7 Dinámica hídrica subterránea.**

El agua de precipitación que llega al suelo circula, en un porcentaje muy elevado, por escorrentía superficial y tan solo una pequeña parte llega a infiltrar. Según Duarte (1998), el rango de infiltración del agua en el subsuelo es de entre 0 y 10 %. Por tanto, considerando las zonas de recarga y el tipo de acuíferos existentes, la poca agua de



infiltración circula inicialmente a través de los suelos, pasa a los acuíferos rocosos a través de las fracturas existentes y fluye hacia niveles inferiores siguiendo caminos preferenciales de acuerdo con la conexión de las fracturas. Las características anisótropas del medio y el buzamiento de las fracturas hacen pensar en un gradiente hidráulico elevado, esto implica que el flujo hídrico sea bastante vertical, o al menos con dominancia de la componente vertical respecto a la horizontal. El elevado gradiente hidráulico implica también una mayor energía del agua. Es posible que el flujo hídrico subterráneo sea normal a las curvas de nivel siguiendo pues una dirección hacia los valles. No obstante, si consideramos la mayoría de los sistemas anisótropos y heterogéneos, tenemos que la red de flujo es bastante complicada por lo que es difícil establecer la dirección máxima de permeabilidad. (Duarte, 1998).

### **2.8 Los sensores remotos y su aplicación en la recarga acuífera subterránea.**

Según Brinker, (2000), 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 datos de satélite y fotografías aéreas, siendo una técnica extremadamente poderosa para la exploración, el mapeo y la administración de los recursos hídricos.

Los sensores remotos nos ayuda a identificar las fallas geológicas y las coberturas del suelo, como partes fundamentales del cálculo de la recarga acuífera. Para ello, existen diversos 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 la banda 2, 3, 4, en arreglo 4-3-2, nos permiten identificar las fallas geológicas, mediante el uso de programas informáticos especializados. (Hernández, 2007).

### **2.9 Sistemas de información geográfica y su aplicación en la determinación de zonas de recarga acuífera.**

Los SIG pueden definirse como programas que almacenan, gestionan, manipulan y representan gráficamente datos espaciales hidrológicos. En términos generales, el Sistema de Información Geográfica es una herramienta computarizada esencial en el análisis de variable que intervienen en la recarga acuífera; respalda y fortalece con fundamento científico la toma de decisiones, mediante la descripción previa de un lugar o la simulación de un fenómeno con tendencias esperadas. Es además, instrumento de desarrollo sostenible

porque facilita la gestión de los recursos hídricos mediante el ingreso, manipulación, análisis y presentación de información de carácter multidisciplinario e integral capaz de formular estrategias de desarrollo tomando en cuenta los tres elementos de sostenibilidad como son la rentabilidad económica, compatibilidad con el medio ambiente y con la sociedad. (Hernández. 2007).

### **2.10 Caracterización de las zonas de recarga acuífera.**

La caracterización se inicia con la descripción de la estructura física del ámbito territorial. Luego procede la caracterización biofísica, que está referida a la descripción de los elementos físicos y biológicos, como son el relieve o topografía, suelo, geología, clima, vegetación, uso de la tierra, hidrología, etc. Con esta información es posible identificar la vulnerabilidad natural. Entre los aspectos socioeconómicos, se deben considerar la demografía, tenencia de la tierra, organizaciones, instituciones, actividades productivas o económicas, etc. Con esta información es posible identificar la vulnerabilidad social y económica. (Castaneda. 2003).

Esta fase es conocida como la fase descriptiva de manera cualitativa de los recursos con los cuales se adelantan los estudios básicos necesarios que constituyen el marco biofísico, social y económico de todos los recursos y actividades de un área. (Faustino, 2007).

La caracterización permite definir:

- Las condiciones físicas, climáticas y topográficas del área.
- El inventario y condiciones de los recursos naturales renovables
- El uso y la tecnología aplicada en el aprovechamiento de los recursos naturales y sus efectos sobre los mismos. (Faustino, 2007).

### **3 METODOLOGÍA.**

#### **3.1 Descripción del Municipio de Dulce Nombre de María.**

##### **3.1.1 Ubicación:**

El estudio se realizó en el municipio de Dulce Nombre de María del departamento de Chalatenango, el cual está ubicado a 72 Km. de San Salvador, a una altitud que va de 440 - 1200 msnm. Está limitado al norte con San Fernando, al sur con San Rafael y Santa Rita, al oriente con la población de Comalapa y al poniente con San Francisco Morazán; riegan al municipio los ríos: Las Lajas o los Mangos, El Potrero o la Canoa, Sumpul, Los Naranjos y El Sumpulito; las Quebradas: El Camotal, Joya del Nicho, La Escalera, de la Conquista, El Ocotal, El Sitio, La Campana; los Zanjonos: Los Mangos o Las Cuevas o Río Azambio, La Montaña o El Playón, El Achiotal, de Las Canoas, El Guaro, La Gallina, Junquillo, Chorro Blanco y Joya de Jute; y la población para el año 2007 es de 8,987 habitantes; se encuentra ubicado entre las coordenadas geográficas siguientes: 14°11'35''LN (extremo septentrional) y 14°06'49''LN (extremo meridional) 88°56'40''LWG (extremo oriental) y 88°59'30''LWG (extremo occidental); su extensión geográfica es de 56 Km. Cuadrados (IGN. 2005). (Anexo 1).

##### **3.1.2 Clima:**

El clima es fresco, pertenece a tipo de tierra caliente y templada; la precipitación anual oscila entre 1900 y 2350 mm. (IGN. 2005).

Se reportaron para el año 2008 en la estación meteorológica La Palma (G4), que es la más cercana, una precipitación de 2820 mm, una temperatura promedio de 21.14 °C, humedad relativa de 78.08% en promedio, evapotranspiración promedio de 131.5 mm (SNET 2007).

##### **3.1.3 Topografía.**

Se divide la zona de estudio en tres rangos de pendientes, el primero de 0 a 30 por ciento, el segundo de 30 a 60% y el tercero de 60 a 90 %, como se puede apreciar la mayor parte del municipio presenta pendientes entre 60 y 90%.

### **3.1.4 Vegetación:**

La vegetación constituye un bosque húmedo subtropical y bosque muy húmedo subtropical, las especies arbóreas más notables son: madrecaao, pepeto, pino de ocote, chaparro, nance, roble, capulín de monte, mulo, níspero, liquidámbar. (IGN, 2005).

### **3.2 Recopilación de información secundaria de la zona de estudio.**

El objetivo de recopilar la información existente de la zona, fue para lograr establecer una asociación entre las estructuras geológicas (fallas) y los afloramientos de agua, para lo cual fue necesario conocer el marco geológico, el contexto hidrogeológico, red hídrica, topografía, y cobertura vegetal de la zona. Toda esta información estuvo complementada por la imagen satelital Landsat 5 TM, imagen aportada por la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador.

#### **3.2.1 Geología**

Se revisó el mapa geológico de El Salvador en escala 1:100000 del Instituto Geográfico Nacional, Ing. Pablo Arnoldo Guzmán del Centro Nacional de Registro (CNR), proporcionado por la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador, así como el Léxico Estratigráfico de El Salvador (Scott Baxter, 1984), de este mapa general del país. (Anexo 2).

#### **3.2.2 Topografía.**

La información topográfica consistió de cuadrantes topográficos a escala 1:50000 del Instituto Geográfico Nacional, Ing. Pablo Arnoldo Guzmán del Centro Nacional de Registro (CNR). Los cuadrantes topográficos utilizados fueron: Tejutla (2358 I), El Sumpul (2458 IV), El paraíso (2358 II) y Chalatenango (2458 III) (Anexo 3).

El objetivo de este tipo de información fue conocer las características topográficas del municipio de Dulce Nombre de María para la elaboración de las curvas de nivel de la zona.

#### **3.2.3 Cobertura vegetal.**

En cuanto a la información sobre cobertura vegetal, se consultó el mapa de uso de suelo de la nomenclatura del Corine Land Cover del año 2002 escala 1:50000

### **3.2.4 Hidrología.**

La información hidrológica fue consultada en los cuadrantes topográficos escala 1:50000 del Instituto Geográfico Nacional “Ing. Pablo Arnoldo Guzmán” (IGN), del Centro Nacional de Registro. Con la cual se pudo identificar la red hídrica y los patrones de drenaje de la zona en estudio.

### **3.2.5 Hidrogeología.**

La información que sirvió de base para el análisis de la hidrogeología fue la siguiente:

- Mapa topográfico escala 1:50000 del Instituto Geográfico Nacional “Ing. Pablo Arnoldo Guzmán” (IGN), del Centro Nacional de Registro.
- Geología (Formaciones Geológicas), extraído del mapa geológico nacional, proporcionado por el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Unidades Hidrogeológicas, proporcionado por el mapa geológico de El Salvador en escala 1:100000 del Instituto Geográfico Nacional, Ing. Pablo Arnoldo Guzmán del Centro Nacional de Registro (CNR), proporcionado por la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador, así como el Léxico Estratigráfico de El Salvador (Baxter, 1984), de este mapa general del país. .
- Inventario de Manantiales y Pruebas de Infiltración de la zona, elaborado durante la fase de campo de esta investigación.

### **3.2.6 Meteorología.**

Se trabajo con datos climáticos de la estación meteorológica de La Palma, Chalatenango, del SNET con el fin de conocer los parámetros climáticos de la zona como precipitación y evapotranspiración.

## **3.3 Fase de Campo**

Se realizo 1 visita de reconocimiento de la zona, 3 visitas de carácter investigativo a diferentes instituciones nacionales, 30 días para la ubicación de las fuentes de agua y verificación del uso de suelo del municipio, 6 días para la realización de pruebas de infiltración y recolección de muestras de suelo.

### 3.3.1 Visitas de Reconocimiento.

Se realizó una visita de reconocimiento al municipio, para establecer alianzas con el gobierno local y líderes comunales del municipio, con el fin de recopilar datos (Fig. 5). Dicha visita sirvió también para conocer la topografía de la zona de estudio.

Las visitas de carácter investigativo a las instituciones nacionales se hicieron con el objetivo de obtener información secundaria del área.



Fig. 5 Reunión con el gobierno local de Dulce Nombre de María.

### 3.3.2 Levantamiento del inventario de manantiales.

Se elaboró un inventario de manantiales del Municipio de Dulce Nombre de María, durante esta etapa se realizaron 10 visitas durante el mes de mayo de 2008, con el fin de identificar, georeferenciar las fuentes de agua (manantial) (Fig. 6) que existen en el municipio, utilizando Sistema de Posicionamiento Global (GPS) con precisión de 6 metros, marca Garmin modelo Etrex. Se midieron los caudales de cada manantial (Fig. 7), utilizando el método del volumen conocido y tiempo (cubetas de 2 galones, tubos de PVC de diferentes diámetros, cronómetro), el proceso de levantamiento de manantiales consistió en la toma de tres lecturas de cada fuente de agua obteniendo así un promedio en unidades de litros por segundo, además se verificó los aspectos generales de las fuentes de agua (Fig 8). Para el levantamiento se utilizó una boleta. (Anexo 4)



Fig. 6 Utilización de GPS para georeferenciación de manantiales



Fig. 7: Medición de caudales de manantiales utilizando cubeta de volumen conocido.



Fig. 8: Aspecto general de las fuentes de agua del cantón el común.

### 3.3.3 Verificación del uso de suelo:

Para realizar esta fase se hizo uso del mapa de suelo del Corine Land Cover 2002 de la zona en estudio, para corroborar que la información contenida en el mapa, coincide con el uso actual (Fig.9-11). Cabe mencionar que para realizar esta actividad se programaron visitas de reconocimiento, durante los meses de mayo de 2008, coincidiendo estas con las que se realizaron durante el inventario de manantiales. Esta actividad fue auxiliada por equipo GPS.



Fig.9: Cultivo de Maíz del cantón El Rosario.



Fig. 10: Bosque de Coníferas del cantón El Común.





Fig. 11: Bosque natural en la parte alta del cantón El Común.

### 3.3.4 Pruebas de Infiltración.

Se hicieron pruebas de infiltración en los cuatro principales materiales geológicos identificados, durante el mes de julio de 2008, con el propósito de determinar el coeficiente del factor de infiltración básico, que es utilizado en la ecuación de recarga acuífera ( $R=C*BC$ ). Donde  $R$ = recarga acuífera;  $C$ =coeficiente de infiltración; donde  $C=K_v+k_p+k_{fc}$ ;  $K_p$ : Fracción que infiltra por efecto de la pendiente del terreno. (Valores propuestos en la metodología),  $K_v$ : Fracción que infiltra por efecto de la cobertura vegetal. (Valores propuestos en la metodología de acuerdo al tipo de uso del suelo),  $K_{fc}$ : Fracción que infiltra por efecto de la textura del suelo. (Calculado a partir de la capacidad de infiltración básica del suelo);  $BC$ =balance hídrico. Se realizaron tres pruebas de infiltración, por cada tipo de material geológico identificado de los tres datos se obtuvo el promedio para reportar un valor más representativo por cada material. Ver mapa de distribución de pruebas en anexo 5.

El método utilizado para estas pruebas es el de Porchet, el cual consiste en la construcción de un hueco, con un diámetro 7 cm y profundidad de 30 cm, en la superficie del suelo. Luego, se introduce agua dentro del hueco y se mide constantemente el nivel de agua (Fig.12), el cual puede descender rápida o lentamente, dependiendo de las características del suelo. Posteriormente se determino el punto de equilibrio al que llega la velocidad de

infiltración, las unidades de la tasa de infiltración son cm/min; el material a utilizar es el siguiente: cubetas de 2 galones, barreno, pala y cronometro.



Fig.12: Pruebas de infiltración por el método de Porchet

### 3.3.5 Metodología para la determinación de la conductividad hidráulica.

Para la determinación de la conductividad hidráulica se utilizó el Permeámetro de Guelph, (Fig.13) proporcionado por el departamento de Recursos Naturales y Medio Ambiente de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador (Anexo 6).

Para determinar la conductividad hidráulica se siguió el comportamiento del nivel de agua dentro del permeámetro determinando la tasa de infiltración mediante el descenso de niveles en un determinado intervalo de tiempo que va desde los 2 a los 15 minutos dependiendo del tipo de suelo que se esté estudiando:

- ✓ Arenas y Gravas 2-6 minutos.
- ✓ Limos y Arcillas 7-15 minutos.

La conductividad hidráulica se tomó hasta que existan al menos tres tasas sucesivas iguales, lo que indica que el sistema se encuentra en régimen permanente.

El modelo empleado fue el de Reynolds et al. (1985) el cual considera el flujo debido al gradiente de presión en las paredes y el fondo del pozo y el flujo gravitacional en el fondo y el suelo alrededor del pozo en condiciones no saturadas.

La expresión para obtener  $K_{fs}$  es la siguiente.

$$K_{fs (RyE)} = \frac{Q \cdot C}{2 \cdot \pi \cdot H^2 + \pi \cdot a^2 \cdot C + 2 \cdot \pi \cdot H / \alpha^*}$$

Donde:

Q = caudal de infiltración [ $L^3/T$ ]

H = nivel de agua en el agujero de infiltración [L]

C = factor de forma adimensional

a = radio del pozo o agujero de infiltración [L]

\*  
 $\alpha$  = parámetro que caracteriza el efecto del a zona no saturada del suelo [ $1/L$ ]



Fig.13: Determinación de la conductividad hidráulica por el método del permeámetro de Guelph.

### 3.3.6 Cartografía digital utilizada para determinar zonas de recarga acuífera

Para la estimación de la recarga potencial fue necesario utilizar información cartográfica básica: mapas climáticos, hidrogeológicos, pendientes, usos de suelos, geológico, manantiales, esta información se procesó mediante el software ArcGIS 9.0, el formato de archivo que se utilizó para cada cobertura fue el de tipo SHAPE, nativo de ArcGIS. Se trabajó en el Laboratorio SIG de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador.

### **3.3.6.1 Mapa digital de red hídrica.**

Se elaboro un mapa con la cobertura de ríos del municipio, esta información fue consultada en el Instituto Geográfico Nacional (IGN), este fue creado con el fin de apoyar el proceso de detección de fallas. (Anexo 7).

### **3.3.6.2 Mapa de fallas geológicas.**

Debido a que el mapa geológico nacional no dispone de cobertura de fallas locales en el municipio de Dulce Nombre de María, fue necesario identificarlas utilizando una imagen Landsat 5 TM de 1997, con un tamaño de píxel de 25 metros y siete bandas

Para la interpretación de la imagen LANDSAT, se aplicaron filtros para el realce de bordes con el objetivo de acentuar aspectos topográficos de la imagen y las combinaciones de bandas, 4-3-2 propuesta por (Mata, 2004), y 2-4-7. La imagen fue procesada con el software ERDAS IMAGINE (Anexo 8)

Los criterios para la identificación de las fallas geológicas fueron los siguientes (Mata, 2004):

#### **Topografía**

Los cambios en la topografía causados por sombras, por ejemplo, depresiones en la superficie que están alineadas o cambios abruptos en la topografía asociados con fallas mayores.

#### **Patrones de drenaje**

El drenaje sirve de ayuda para localizar alineamientos, éstos se pueden identificar, por ejemplo, en los cambios abruptos en la dirección que lleva el drenaje (90 °), teniéndose una relación entre alineamiento y sistema de drenajes.

#### **La vegetación anómala**

Puede servir como una guía directa para las investigaciones de agua subterránea. El agua que fluye entre las fracturas puede mantener constantemente vegetación no importando si es estación seca. Se puede observar en patrones lineales comúnmente asociados con el drenaje, canales o agrupaciones individuales de árboles donde el agua subterránea es poco profunda.

Al tomar en cuenta todos estos criterios, se creó un archivo Shape de tipo línea en el cual se digitalizaron por interpretación de la imagen en pantalla líneas que representaron las fallas geológicas, la digitalización fue elaborada de forma independiente por cada uno de los autores de éste trabajo en Arc Gis 9.0. (Anexo 9)

Utilizando las diferentes combinaciones de bandas RGB 4, 3,2 y 2, 4,7 para hacer la identificación de los alineamientos; (fig.14).

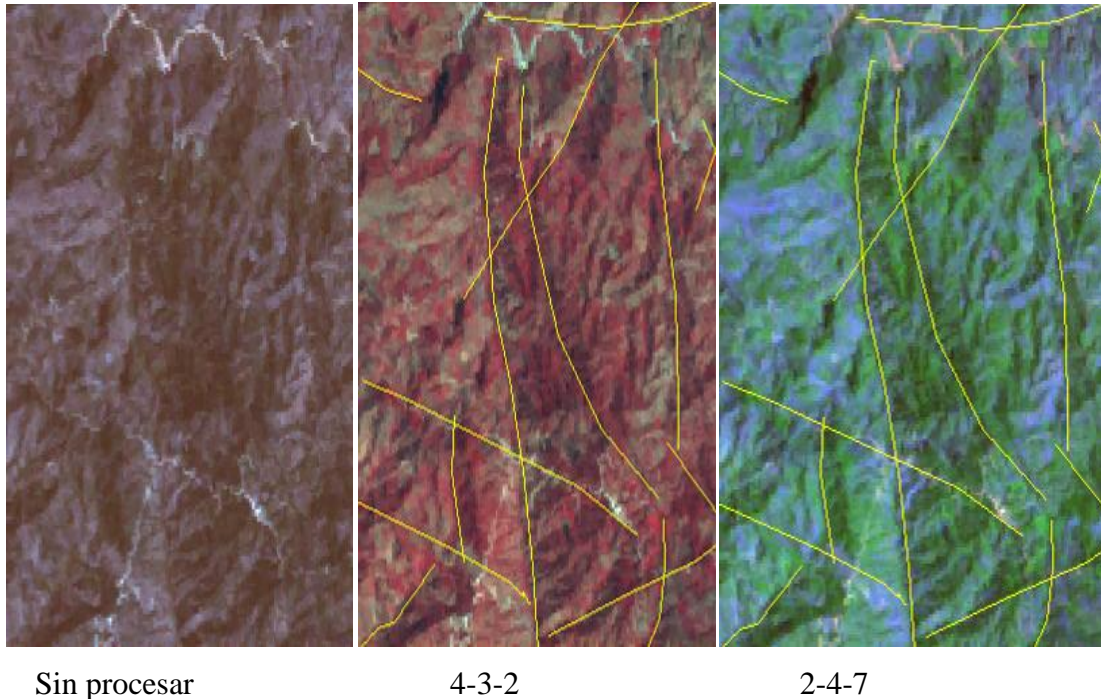


Fig.14. Combinaciones de Bandas

### 3.3.6.3 Mapa digital de manantiales.

El mapa de manantiales se elaboro a partir de la base de datos levantada durante el desarrollo de esta investigación. (Anexo 10)

El total de nacimientos encontrados en el área de estudio fueron de 82, con un caudal acumulado de 76.38 litros por segundo, en la época seca (Anexo 11).

### 3.3.7 Metodología aplicada al balance hídrico

Se utilizó la fórmula de correlación estadística desarrollada por Gunther Shosinsky y Marcelino Losílla, la cual considera a la velocidad de infiltración del suelo (capacidad de infiltración) como el factor principal que condiciona la cantidad de precipitación pluvial que puede infiltrarse; ya que depende básicamente de las características físicas del suelo, como lo son la textura, estructura, compactación y contenido de humedad.

La cantidad de precipitación que infiltra en el subsuelo, está condicionada por el factor de coeficiente de infiltración, es cual está sujeto a las condiciones de pendiente del terreno ( $k_p$ ), vegetación existente ( $K_v$ ), y tipo de suelo ( $k_{fc}$ ).

Las fórmulas utilizadas son las siguientes:

$$K_{fc} = 0.267 \ln(f_c) - 0.000154 f_c - 0.723 \quad (\text{ec. 1})$$

$$C = K_p + K_v + K_{fc} \quad (\text{ec. 2})$$

$$I = 0.88 * C * P \quad (\text{ec. 3})$$

Donde:

C: Coeficiente de infiltración.

P: Precipitación (mm/mes)

$K_p$ : Fracción que infiltra por efecto de la pendiente del terreno. (Valores propuestos en la metodología).

$K_v$ : Fracción que infiltra por efecto de la cobertura vegetal. (Valores propuestos en la metodología de acuerdo al tipo de uso del suelo).

$K_{fc}$ : Fracción que infiltra por efecto de la textura del suelo. (Calculado a partir de la capacidad de infiltración básica del suelo).

$f_c$ : Infiltración básica del suelo (mm/día).

Se determinan los coeficientes de infiltración a partir de la sumatoria de cada uno de los parámetros asignados.

Los valores de precipitación mensual son evaluados de acuerdo a la ec. 3, donde se determina la cantidad de precipitación mensual que infiltra ( $P_i$ ).

Los valores de humedad inicial en el suelo ( $H_{si}$ ), se determina considerando que el suelo se encuentra a capacidad de campo ( $CC$ ), en la zona radicular ( $PR$ ) de la vegetación existente, y la densidad del suelo ( $DS$ ) a partir de la siguiente ecuación:

$$H_{si} = \frac{CC * PR * DS}{100} \text{ (ec. 4)}$$

El resultado obtenido a partir de la ec. 4, es utilizado únicamente en el mes con que se inicia el balance hídrico, en el caso analizado se ha iniciado con el mes de octubre, para tener la certeza que el suelo esté en el punto de capacidad de campo, considerando que las precipitaciones de los meses previos han provisto de suficiente humedad al suelo, para que se encuentre en dicha condición. En los meses siguientes, la humedad inicial corresponde a la húmeda final del mes anterior al que se va a analizar.

La determinación de la humedad final del suelo se calcula considerando los factores  $C_1$ (ec. 5) y  $C_2$ (ec. 6), los cuales se refieren al coeficiente antes de que ocurra la evapotranspiración real ( $ETR$ ) y después de que ocurre la evapotranspiración real ( $ETR$ ), respectivamente.

$$* C_1 = \frac{H_{si} - PM + P_i}{CC - PM} \text{ (ec. 5)}$$

Donde:

PM: Punto de Marchitez.

\* Si  $C_1 > 1$ , entonces  $C_1 = 1$ .

$$C_2 = \frac{H_{si} - PM + P_i - (ETP * C_1)}{CC - PM} \text{ (ec. 6)}$$

La humedad disponible está condicionada por la humedad inicial del suelo más la precipitación que infiltra menos el punto de marchitez permanente (ec. 7).

$$HD = H_{si} - PM + P_i \text{ (ec. 7)}$$

La evapotranspiración real que ocurre durante el proceso se calcula a partir de los índices  $C_1$  y  $C_2$ .

$$ETR = \left( \frac{C_1 + C_2}{2} \right) ETP \text{ (ec. 8)}$$

Cálculo de humedad final:

$$H_{sf} = H_{si} + P_i - ETR \text{ (ec. 9)}$$

Si la humedad final es mayor que la capacidad de campo, el valor que se le asigna es el de capacidad de campo, debido a que el suelo no puede retener mayor humedad, que la correspondiente a dicho punto. Por lo que la recarga potencial a los acuíferos se da cuando la humedad final es mayor a la capacidad de campo, y se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$R_p = H_{si} - H_{sf} + P_i - ETR \text{ (ec. 10)}$$

### **3.3.7.1 Mapa de pendientes.**

El mapa de pendientes se elaboró utilizando un modelo digital de elevación del terreno a 10 metros, clasificándolo en tres rangos: 0–15%, 15–30 %, mayores de 30%. (Anexo 12)

El objetivo de obtener este mapa es conocer la fracción infiltrada de agua por acción de la topografía del terreno la cual está representada por el coeficiente  $k_p$ , propuesto para la pendiente en el balance hídrico según Gunther Schosinsky. 2000, asignado a cada rango respectivamente como se muestra en la cuadro 1.



**Cuadro 1.** Rangos de pendiente (%) y su coeficiente kp.

<b>Rangos de pendientes (%)</b>	<b>Coeficiente kp</b>
0 – 15	0.27
15 – 30	0.1
Mayores de 30	0.04

Fuente: Schosinsky, 2000.

### **3.3.7.2 Mapa de uso de suelo.**

Para elaborar este mapa se utilizó, como base la nomenclatura del Corine Land Cover 2002, y el mapa nacional que se encuentra a una escala de 1:50,000, con el fin de verificar el uso del suelo de las zonas de recarga acuífera. (Anexo 13)

**Cuadro 2.** Uso de suelo asignado con su respectivo coeficiente Kv.

<b>Uso de suelo</b>	<b>Coeficiente Kv</b>
Bosque de Coníferas	0.2
Bosque Mixto	0.2
Granos Básicos	0.1
Pastos Naturales	0.1
Tejido Urbano Discontinuo	0.1

Fuente: Schosinsky, 2000.

### **3.3.7.3 Mapa geológico.**

A las unidades hidrogeológicas identificadas en la zona (Anexo 14), con la ayuda del mapa geológico nacional, fueron asignados coeficientes con base al material geológico y la capacidad de infiltración (determinado por las pruebas de infiltración realizadas) del mismo representado por el factor  $K_{fc}$  y FC (Cuadro 3)

**Cuadro 3.** Formaciones encontradas en la zona de estudio con sus respectivos miembros, FC, K<sub>fc</sub> y conductividad hidráulica.

FORMACIÓN	MIEMBRO	FC	K <sub>fc</sub>	CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA cm/min
Chalatenango	ch1	432	0.83074	0.82561
Morazán	m2a	288	0.74466	0.4000
Morazán -Chalatenango	I	244.8	0.70792	0.26856
San Salvador	Qf	288	0.74466	0.28571

Fuente: Elaboración propia.

El valor de conductividad hidráulica que se presenta en el cuadro anterior muestra que a mayor valor de permeabilidad del suelo saturado en los primeros 30 cm, mayor será la velocidad de infiltración en el perfil del suelo.

Una vez obtenido el valor de K<sub>fc</sub> se determinó el coeficiente de infiltración “C” para cada una de las zonas establecidas para la realización del balance hídrico. La obtención de coeficiente de infiltración se obtuvo mediante la aplicación de la expresión (ec. 2), donde se considera que es la suma de los coeficientes K<sub>p</sub>, K<sub>v</sub> y K<sub>fc</sub>.

La determinación de la cantidad de agua que infiltra en una zona determinada depende principalmente del coeficiente de infiltración “C”, y se encuentra directamente relacionado con la precipitación que cae en el sitio.

Para la realización del balance hídrico de suelos se utilizaron los promedios de las precipitaciones registradas en un período de 30 años, en la estación G4 ( La Palma, Chalatenango), siendo la más cercana al área de estudio.

**Cuadro 4.** Datos de Precipitación de la Estación Pluviométrica G4.

PARAMETROS	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Precipitación (mm)	2	7	27	47	248	467	310	333	543	337	66	3

Fuentes: Servicio Nacional de Estudios Territoriales, 2008.

Como se mostró anteriormente, la metodología empleada para el cálculo del balance hídrico de suelos, considera los siguientes factores.

**Evapotranspiración:** se define como la pérdida de humedad de una superficie por evaporación directa junto con la pérdida de agua por transpiración de la vegetación.

Para el cálculo de la recarga del acuífero proveniente de la precipitación, se consideró la evapotranspiración potencial promedio de 30 años de la estación G4 (La Palma, Chalatenango). Esta estación fue considerada por su cercanía a la zona:

**Cuadro 5.** Datos de evapotranspiración potencial de la estación climatológica G4.

PARAMETROS	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Evapotranspiración Potencial (mm)	155.1	136.6	164.2	153.3	137	131.7	152.4	153.2	130	135.4	136.2	134.1

Fuentes: Servicio Nacional de Estudios Territoriales, 2008.

**Contenido de humedad del suelo:** este aspecto considera el agua retenida en el suelo. Teniendo en cuenta dos puntos característicos para cada tipo de suelo: la capacidad de campo, y el punto de marchitez; los cuales representan la máxima humedad retenida por el suelo sometido a la fuerza de gravedad, y el mínimo contenido de humedad que el suelo puede tener, el cual representan el agua que no puede ser extraída del suelo por las plantas, respectivamente.

El área de estudio fue zonificada considerando los siguientes aspectos:

Coeficiente de infiltración: en este parámetro se consideran los factores  $K_v$ ,  $K_p$ , y  $K_{fc}$ . El cual es utilizado para el cálculo de la precipitación que infiltra en el suelo.

Precipitación promedio en la zona: considerando la distribución de la precipitación medida por la estación que se encuentran en la zona de estudio se selecciono esta por ser representativa del lugar.

Tipo de suelo: Este factor se consideró nuevamente, debido a que en el cálculo de la recarga al acuífero se consideran los parámetros de densidad aparente, capacidad de campo, y punto de marchitez, propios para cada material. El método aplicado evalúa por separado la precipitación que infiltra (C) y el agua retenida en el suelo por lo que fue necesario considerarlo en los criterios de zonificación.

#### **3.3.7.4 Mapa hidrogeológico.**

Para la elaboración del mapa hidrogeológico se utilizó SIG para sobreponer los tres mapas siguientes: el de manantiales, fallas geológicas y de curvas a nivel. (Anexo 15)

Debido a las características de los materiales geológicos del municipio de Dulce Nombre de María y su topografía, la presencia de manantiales y de fallas geológicas en un área determinada está asociada a la presencia de aguas subterráneas (Duarte, 2008).

#### **3.8 Cálculo de la recarga.**

Una vez obtenidos los valores de precipitación efectiva, evapotranspiración potencial y los contenidos de humedad (capacidad de campo y punto de marchitez), se procedió al cálculo de la recarga del acuífero, la cual es producida por infiltración directa de la precipitación.

El balance hídrico utilizado se basó en el método de Penman y Grindley, considerando una variación lineal de la evapotranspiración potencial con respecto a la evapotranspiración real. Esta relación establece que a medida que el contenido de humedad del suelo se aproxima a su punto de marchitez, se incrementa, para las plantas, la dificultad de obtener agua del suelo a través de las raíces, por lo que las plantas cierran sus estomas con el fin de guardar humedad, es decir que existe menos evapotranspiración.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

### 4.1 Identificación de las zonas de recarga hídrica.

Los resultados de la identificación de las zonas de recarga hídrica se obtuvieron a través de la elaboración de cartografía para determinar la asociación entre las fuentes de agua y los alineamientos de las fracturas de las fallas geológicas de la zona a través de la sobreposición de las mismas.

Para determinar los resultados finales de recarga se empleo la metodología propuesta por Schosinsky con el propósito de obtener la recarga potencial al acuífero mediante un balance hídrico específico. Se logro identificar doce zonas de recarga hídrica en el municipio de Dulce Nombre de María, analizándose de estas tres, según el miembro geológico predominante para determinar la recarga potencial. A continuación se presenta la descripción de cada una de las zonas identificadas:

**Zona I Miembro Ch1**, con una extensión de  $2.53\text{Km}^2$ , se define como rocas piroclásticas ácidas, epiclástitas volcánicas, ignimbritas y rocas efusivas intercaladas, localmente silicificadas. Esta formación pertenece al cuarto periodo geológico de la era cenozoica El coeficiente de infiltración es de 0.83074

**Zona II Miembro M<sub>2a</sub>**, con una extensión de  $0.926\text{ Km}^2$ , la sección está constituida por rocas efusivas intermedia hasta intermedia-ácidas y piroclásticas subordinadas, en parte silicificadas, con metamorfismo de contacto o con alteración hidrotermal. Esta formación pertenece al cuarto periodo geológico de la era cenozoica El coeficiente de infiltración es de 0.74466

**Zona XII Miembro I**, con una extensión de  $0.144\text{ Km}^2$ , características similares a miembro ch1 y m2a, de baja permeabilidad. Esta formación pertenece al cuarto periodo geológico de la era cenozoica Coeficiente de infiltración igual a 0.70792

El área de estudio fue clasificada en 12 zonas, considerando los aspectos descritos anteriormente en el cálculo de la recarga hídrica. El detalle de los datos característicos para cada una de las zonas se presenta en el Cuadro 9.

A partir de los resultados obtenidos del balance hídrico de suelos se determinó que el volumen de recarga potencial es de 0.074 metros cúbicos por segundo en el área en estudio. (Anexo 16).

Cabe mencionar que también se determinó el volumen de la recarga potencial en unidades de lts/seg por cada unidad hidrogeológica dando como resultado de 73.87 lts/seg.

La recarga ocurre principalmente durante los meses de julio a octubre según el comportamiento normal de la precipitación efectiva de la zona. La distribución de la recarga mensualmente se encuentra detallada en los balances hídricos de suelo de cada una de las zonas del área estudio (Cuadro 6).

**Cuadro 6.** Datos característicos para cada zona del área de estudio.

ZONA	MIEMBRO	C	AREA Km <sup>2</sup>	RECARGA POT. Mt <sup>3</sup> /seg.	RECARGA POT. mm/año	VOLUMEN TOTAL RECARGADO POR AÑO (M <sup>3</sup> )
1	Ch1 (a)	1	2.530	0.04523	601.16	1426373.28
2	M <sub>2a</sub> (b)	1	0.926	0.02216	769.61	698837.76
12	I (c)	1	0.144	0.00228	503.38	71902.08

(a). Tabla balance hídrico específico de la zona 1,3,4,6 miembro Ch1. Ver anexo 17.

(b). Tabla balance hídrico específico de la zona 2, 5,7,8,9, miembro M<sub>2a</sub>. Ver anexo 18.

(c). Tabla balance hídrico específico de la zona 10,11,12, miembro I. Ver anexo 19.

#### **4.2 Caracterización de las Zonas de Recarga Hídrica.**

Los aspectos de precipitación, temperatura, pendiente, relieve y tipo de suelo se describen a continuación de forma general para todas las zonas de recarga hídrica identificadas, ya que no existe una variación significativas entre estas.

### **Precipitación y Temperatura:**

Los valores de precipitación y temperatura promedio anuales para las zonas identificadas fueron tomados de la Estación Meteorológica de La Palma (G4) (Cuadro 7), Chalatenango, estos son de: precipitación de 185.13 mm y de temperatura de 21.14°C.

**Cuadro 7:** Datos Climáticos de la G4

PARAMETROS	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Precipitación (mm)	2	7	27	47	248	467	310	333	543	337	66	3
Temperatura promedio (°C)	19.6	20.4	21.8	22.7	22.5	21.6	21.6	21.5	21.1	20.9	20.3	19.7
Temperatura Máxima Promedio (°C)	26.6	27.9	29.6	29.7	28.2	26.7	27.5	27.2	26.4	26.3	26.2	26.1
Temperatura Mínima Promedio (°C)	14.7	15.0	06.1	17.1	17.9	17.8	17.5	17.6	17.7	17.3	16.1	15.4
Humedad Relativa (%)	74	71	70	71	78	85	82	82	86	83	79	76
Nubosidad Promedio (en decimos)	2.7	2.9	3.2	5.3	5.9	7.0	6.1	6.5	7.2	5.8	4.0	3.1
Vientos Velocidad Promedio (Beaufort)	2.5	2.3	1.9	1.7	1.4	1.2	1.4	1.1	1.2	1.7	2.3	2.2
Evapotranspiración Potencial (mm)	155.1	136.6	164.2	153.3	137	131.7	152.4	153.2	130	135.4	136.2	134.1

Fuente: Servicio Nacional de Estudios Territoriales, Servicio Meteorológico Nacional, CIAGRO, 2008.

### **Pendiente y Relieve:**

Estas zonas presentan pendientes que oscilan entre 15-30% distribuidas uniformemente, y un relieve relativamente escarpado; por lo tanto si estos suelos tienen poco o ninguna cobertura vegetal son susceptibles a severos daños por erosión hídrica, al combinarse las precipitaciones con los altos grados de pendiente.

### **Tipo de Suelo:**

Entre los tipos de suelo que se identificaron en las zonas están: latosoles arcillo rojizos y litosoles, alfisoles, son la fase pedregosa superficial de ondulada a montañosa a muy accidentada; suelos podzólicos rojos amarillentos y litosoles, conforman la fase pedregosa de ondulada a montañosa muy accidentada; litosoles y regosoles entisoles (fase ondulada a montañosa muy accidentada).

### ✓ Geología.

Los miembros que fueron encontrados en las zonas de recarga hídrica se presentan en el siguiente cuadro.

**Cuadro 8:** Tipos de Miembro por Zonas de Recarga.

<b>Zonas de Recarga</b>	<b>Miembro Geológico Predominante</b>	<b>Descripción del miembro geológico predominante en la zona</b>	<b>Cantón</b>
1,3,4,6	Ch1	Ch1: Se define como rocas piroclásticas ácidas, epiclastitas volcánicas, ignimbritas y rocas efusivas intercaladas, localmente silicificadas.	Chorro Blanco (Encuentros), El común, El Ocotal.
2,7,8,9,5	M <sub>2a</sub> ,	M <sub>2a</sub> : La sección está constituida por rocas efusivas intermedia hasta intermedia-ácidas y piroclásticas subordinadas, en parte silicificadas, con metamorfismo de contacto o con alteración hidrotermal	El Común, El Rosario, Los Achotes, Cuevitas
10,11,12	I	I: Características similares a miembro ch1 y m2a, de baja permeabilidad	El Rosario, Los Sitios

Fuente: Rivas, J; Rivas, A.2008

### Uso de Suelo.

Los diferentes usos de suelo encontrados y verificados en cada zona de recarga hídrica se presentan a continuación (Cuadro 9).

### Características Socioeconómicas.

En general el municipio de Dulce Nombre de María, ha tenido como base económica la producción agropecuaria, principalmente los cultivos de granos básicos (frijol, maíz) en



mayor medida para autoconsumo. También hay cultivo de café; a demás existe un 20% de la población que se dedica a la ganadería y a la comercialización local de leche y derivados de esta. A continuación se presenta el cuadro resumen de las principales actividades productivas por zona (Cuadro 9).

**Cuadro 9.** Usos de suelo y actividad productiva por zona de recarga

<b>Zona de Recarga</b>	<b>Cantón</b>	<b>Área Km<sup>2</sup></b>	<b>Nº de Familias</b>	<b>Actividad Productiva</b>	<b>Uso de Suelo</b>
1	Chorro Blanco (Encuentros)	2.53	8	Café, Güisquil, limón pérsico, ganado vacuno.	Bosque de coníferas
2	El Común	0.93	35	Granos básicos	Bosque de coníferas, Granos básicos
3	El Común	0.54		Granos básicos	Bosque de coníferas, Granos básicos
4	El Común	1.34		Granos básicos	Bosque Mixto y terrenos principalmente agrícolas
5	Cuevitas	1.70	50	Ganado vacuno, producción de leche y sus derivados	Bosque de coníferas y granos básicos.
6	El Ocotál	1.57	40	Ganado vacuno, producción de leche y sus derivados	Bosque mixto, coníferas, tejido urbano discontinuo, pasto natural
7	El Rosario	1.17	37	Granos	Pasto natural,

				básicos	cultivos anuales, tejido urbano discontinuo y bosque mixto
8	Los Achotes	1.15	45	Ganado vacuno, producción de leche y sus derivados	Bosque mixto, cultivos anuales
9	Los Achotes	0.96		Ganado vacuno, producción de leche y sus derivados	Terrenos principalmente agrícolas y granos básicos.
10	El Rosario	0.66	37	Granos básicos	Pastos naturales, cultivos anuales y terrenos principalmente agrícolas
11	El Rosario	2.19		Granos básicos	Terrenos principalmente agrícolas, granos básicos, pastos naturales ,cultivos anuales y vegetación espinosa
12	Los Sitios	0.15	30	Cacao, piscicultura, granos básicos.	Granos básicos y terrenos principalmente agrícolas.

Fuente: Rivas, J; Rivas, A.2008

### **4.3 Análisis de la situación actual de las zonas de recarga hídrica.**

Con esta investigación se identificaron doce zonas de recarga hídrica en el municipio de Dulce Nombre de María, las cuales se analizaron en base a los aspectos socioeconómicos conformado por: cantón, número de familias y actividad productiva; aspectos biofísicos: miembro geológico, recarga y uso de suelo.

Con el análisis de estas características, se formaron 2 grandes grupos: zonas con poca degradación, aquellas cuyos recursos naturales permanecen en su estado natural, ubicándose aquí las zonas 1,2,3,4 y 12 y zonas con alto nivel de degradación, aquellas en las que existe un notable cambio del estado natural de los recursos naturales por intervención del hombre, ubicándose aquí las zonas 5,6,7,8,9,10,11

A continuación se presentan los cuadros resumen de la información obtenida en el desarrollo de la fase de campo de esta investigación.

**Cuadro 10: Resumen de la situación actual de las zonas de recarga hídrica que presentan poca degradación.**

ZONA DE RECARGA	ASPECTOS SOCIOECONOMICOS			ASPECTOS BIOFISICOS			ESTADO ACTUAL DE LAS ZONAS
	Cantón	Nº Familia	Actividad Productiva	Miembro Geológico	Recarga (mm/año)	Uso de Suelo	
1	Chorro Blanco (Encuentros)	8	Café, Güisquil, limón pérsico, ganado vacuno.	Ch1: Se define como rocas piroclásticas ácidas, epiclastitas volcánicas, ignimbritas y rocas efusivas intercaladas, localmente silicificadas.	<b>601.16*</b>	Bosque de coníferas	<p><b>Poca Sobre explotación del recurso agua.</b></p> <p><b>Cortes ilegales de madera.</b></p> <p><b>Incendios forestales no controlados.</b></p> <p><b>Ausencia de asistencia técnica.</b></p>
2	El Común		Granos básicos	M <sub>2a</sub> : La sección está constituida por rocas efusivas intermedia hasta intermedia-ácidas y piroclásticas subordinadas, en parte silicificadas, con	<b>769.61**</b>	Bosque de coníferas, Granos básicos	<p><b>Mal estado de las vías de acceso.</b></p>

				metamorfismo de contacto o con alteración hidrotermal			<b>Belleza escénica.</b> <b>Diversidad de fauna y flora.</b> <b>Pendientes muy pronunciada mayores de 30%</b> <b>Escaza participación en la protección de los recursos naturales.</b>
3	El Común	35	Granos básicos	Ch1: Se define como rocas piroclásticas ácidas, epiclastitas volcánicas, ignimbritas y rocas efusivas intercaladas, localmente silicificadas	601.16*	Bosque de coníferas, Granos básicos	
4						Bosque Mixto y terrenos principalmente agrícolas	
12	Los Sitios	30	Cacao, piscicultura, granos básicos.	I: Características similares a miembro ch1 y m2a, de baja permeabilidad	503.38***	Granos básicos y terrenos principalmente agrícolas.	

**Fuente:** Rivas, J; Rivas, A.2008 \* El valor de recarga potencial 622.44 es igual para las zonas 1,3,4,6 ; \*\* El valor de recarga potencial 628.98 es igual para la zona 2,7,8,9;\*\*\* El valor de recarga potencial 565.42 es igual para las zonas 10,11,12.

Estas zonas cuenta con abundantes fuentes de agua, una gran diversidad de fauna y flora, belleza escénica, además no existe una sobre explotación en el recurso hídrico debido a la poca población que habitan en las zonas; cabe mencionar que dichos pobladores dedican una mínima área para sus actividades productivas.

Algunas de las amenazas a la que son propensa estas zonas son: incendios forestales debido al escaso de recurso humano capacitado para la prevención de estas, áreas propensas a derrumbes, deforestación y falta de vías de acceso en buen estado.

**Cuadro 11: Resumen de la situación actual de las zonas de recarga hídrica que presentan un alto nivel de degradación.**

ZONA	ASPECTOS SOCIOECONOMICOS			ASPECTOS BIOFISICOS			ESTADO ACTUAL DE LAS ZONAS
	Cantón	Nº Familia	Actividad Productiva	Miembro Geológico	Recarga (mm/año)	Uso de Suelo	
5	Cuevitas	50	Ganado vacuno, producción de leche y sus derivados	M <sub>2a</sub> : La sección está constituida por rocas efusivas intermedia hasta intermedia-ácidas y piroclásticas subordinadas, en parte silicificadas, con metamorfismo de contacto o con alteración hidrotermal	<b>769.61*</b>	Bosque de coníferas y granos básicos.	Deforestación. Derrumbes. Quemas. Incendios Forestales. Contaminación del agua por contaminación biológica de ganado.
6	El Ocotál	40	Ganado vacuno, producción de leche y sus derivados	Ch1: Se define como rocas piroclásticas ácidas, epiclastitas volcánicas, ignimbritas y rocas	<b>601.16*</b>	Bosque mixto, coníferas, tejido urbano discontinuo, pasto natural	Ampliación de la frontera agrícola y

				efusivas intercaladas, localmente silicificadas			ganadera.
7	El Rosario	37	Granos básicos	M <sub>2a</sub> : La sección está constituida por rocas efusivas intermedia hasta intermedia-ácidas y piroclásticas subordinadas, en parte silicificadas, con metamorfismo de contacto o con alteración hidrotermal	<b>769.61**</b>	Pasto natural, cultivos anuales, tejido urbano discontinuo y bosque mixto	Ausencia de planes reguladores, mapa de zonificación que definan usos obligados del suelo y áreas protegidas.
8	Los Achotes	45	Ganado vacuno, producción de leche y sus derivados	Bosque mixto, cultivos anuales		Gestión inapropiada en las áreas protegidas.	
9				Terrenos principalmente agrícolas y granos básicos.		Desconocimiento y falta de aplicación de los servicios ambientales.  Falta de auxilio jurídico e ignorancia de las leyes	

10 y 11	El Rosario	37	Granos básicos	I: Características similares a miembro ch1 y m2a, de baja permeabilidad	<b>503.38****</b>	Pastos naturales, cultivos anuales y terrenos principalmente agrícolas, granos básicos, vegetación espinosa	ambientales.  Pendientes pronunciadas que oscilan entre los 15-30%
---------	------------	----	----------------	---	-------------------	---	--

**Fuente:** Rivas, J; Rivas, A.2008 \* El valor de recarga potencial 622.44 es igual para las zonas 1,3,4,6 ; \*\* El valor de recarga potencial 628.98 es igual para la zona 2,7,8,9;\*\*\* El valor de recarga potencial 565.42 es igual para las zonas 10,11,12.

Estas zonas presentan grandes similitudes en cuanto a su nivel de degradación, ya que se esta ampliando aceleradamente la frontera agrícola y ganadera, por lo que el recurso hídrico está siendo afectado en gran medida, siendo un claro ejemplo, el racionamiento del servicio del agua durante los meses de febrero a mayo. Cabe mencionar que dentro de las actividades productivas se practican las quemas, que en muchos casos se transforman en incendios forestales, afectando así el suelo, la fauna y flora de dichas zonas. Estas zonas son propensas a derrumbes debido a las pendientes y a la ausencia de barreras vivas y muertas que eviten la erosión, la falta de asesoría técnica que permita el manejo adecuado de los recursos naturales.



#### **4.4 Lineamientos para un mejor manejo de las zonas de recarga hídricas.**

El primer paso es organizar a los habitantes de estas zonas, ya que actualmente no cuentan con una asociación bien definida.

Preparación de carteles, folletos y videos educativos sobre los valores del agua, el ciclo hidrológico.

Talleres de trabajo sobre la educación en los recursos hídricos para profesores de enseñanza primaria y secundaria.

Cursos y conferencias para dirigentes y miembros de los diferentes sectores relacionados con el uso del agua.

Encuentros y reuniones de científicos y gestores del recurso para intercambiar información sobre nuevas tecnologías, métodos avanzados de gestión.

Mesas redondas con participación de miembros de diferentes grupos de usuarios, para conocer y discutir los diferentes puntos de vista.

Fortalecer la gestión que realizan las autoridades en el marco de sus competencias y la necesidad de implementar mecanismos de articulación en la planificación y la ejecución de planes conjuntos y participativos, enfocados a soluciones de problemas identificados.

Promover el cumplimiento de las cargas jurídicas que establecen los usos obligados del suelo tanto para la propiedad nacional como la privada y complementariamente el cumplimiento de los planes de manejo forestales y de áreas protegidas.

Aplicar mecanismos de pago por servicios ambientales orientados a la protección de fauna, flora y belleza escénica.

#### **Estrategias y acciones para mejorar la infiltración del agua en el suelo y recuperación de fuentes de agua**

Reforestación de las zonas de recarga.

Establecimiento y manejo de obras de conservación de suelo y agua para favorecer la infiltración como acequias, lagunetas, cajuelas, diques, barreras vivas y muertas, manejo de rastrojos, no quemar.

Conservar especies nativas.

Incentivos para reforestar.

Pago por servicios ambientales.

Establecimiento de sistemas agroforestales y silvopastoriles.

### **Estrategias y/o acciones para mejorar el uso y conservación de los suelos**

Incorporación de rastrojos y abonos orgánicos en las parcelas

Dejar en descanso las tierras uno a más años.

Uso y manejo de abonos verdes.

Vigilancia para prevenir quemas en los bosques y mantener buenas rondas contra fuego.

Asociación de cultivos.

Rotación de cultivos.

Diseñar planes de finca de acuerdo a su potencial.

Se realizan otras prácticas de manejo sostenible de suelos y agua, entre ellas:

Siembra de frutales.

Siembra en curvas a nivel.

Rotación de cultivos.

Abonos verdes

Cercas vivas.

### **Marco legal e institucional de los recursos hídricos**

El Salvador cuenta con un mandato constitucional, de preservar el medio ambiente y fomentar el uso racional de los recursos naturales. Sin embargo, la gran diversidad de legislaciones relacionada con los recursos hídricos, incide en la confusión de campos de acción y en la indefinición de responsabilidades.

Existe dispersión y fraccionamiento institucional, ésto hace que varias instituciones administren el recurso hídrico, promoviendo conflictos de competencia, dualidad de funciones y rivalidades manifiestas que al final se refleja en una mala administración del recurso.

Aunque existen numerosas leyes, pocas tienen su reglamento, lo que potencia aun más la confusión en la aplicación de las leyes, la baja capacidad para vigilar y aplicar la ley hace que la reacción ante casos de deterioro de los recursos hídricos, sea muy lenta y discontinua.

Al revisar la legislación relacionada con los recursos hídricos, se tiene que no existe una correspondencia explícita que promueva la conservación de medios soportes de los

recursos hídricos, como conservación de suelos en zonas de recarga, regulación de usos del suelo, ordenamiento urbano, normas de construcción que protegen o promueven la infiltración y almacenamiento de agua.

En general la legislación y el marco institucional de la administración de los recursos hídricos, requiere una revisión, dirigida a establecer los derechos de propiedad, comenzando con definir a la autoridad nacional o autoridad única del agua, para dirimir conflictos. Los niveles de planificación del uso, conservación y fomento del recurso hídrico, con visión multisectorial no están siendo asumidos por ninguna institución, lo que hace que el uso actual sea eminentemente extractivo y corto placista, lo cual aunado a la mayor importancia que se da al desarrollo urbano con respecto a los recursos hídricos, la transformación de zonas boscosas con altas tasa de recarga, en zonas deforestadas está ocasionando la escasez de las fuentes tradicionales.

Los grupos afectados son todos los niveles de la población, niños, jóvenes, mujeres y hombres, por ser usuarios pasivos; la industria y la empresa están siendo afectados por la confusión legal e institucional existente.

La situación actual se explica por la descoordinación institucional generalizada, las fuerzas políticas polarizadas no permiten desarrollar legislaciones concertadas, la inconsistencia de políticas de protección hídrica y ambiental, están facilitando que zonas de altas tasas de infiltración estén siendo urbanizadas al mismo tiempo que se reforesta en zonas que no son equivalentes.

## 5. CONCLUSIONES

El miembro geológico que infiltra más agua es el M2a (formación Morazán), está constituida por rocas efusivas intermedia hasta intermedia-ácidas y piroclásticas subordinadas, en parte silicificadas, con metamorfismo de contacto o con alteración hidrotermal

El caudal total cuantificado para los manantiales del municipio en el mes de mayo de 2008, fue de 76.38 lt/seg.

El área total potencial de infiltración de agua en el municipio de Dulce Nombre de María es de 14.858 Km<sup>2</sup> y representa un 25% del área total del municipio, con un caudal total de 73.83 lt./seg.

La metodología del balance específico de suelo identifica con mejor precisión la ubicación de las áreas de recarga acuífera, en comparación con los resultados de la Metodología RAS desarrollado por el Proyecto FORGAES a escala 1:50000. Permite señalar sitios más pequeños que son identificados por los actores locales, facilitando la interpretación de la cartografía generada en este estudio.

Las variables físicas de fracturas geológicas, juntamente con el inventario de fuentes de agua indicaron con primicia las zonas de recarga acuífera subterránea, resultado obtenido visualmente a través de una simple sobre posición de mapas utilizando SIG.

La propuesta de lineamientos está dirigida para ser aplicada por actores locales (municipalidad, comités de agua, comités locales de cuenca), extensionistas y organismos que trabajen en la gestión de los recursos naturales.

Las principales estrategias y acciones que se proponen para el manejo de zonas de recarga son: reforestación principalmente con especies nativas, establecimiento y manejo de obras de conservación de suelo y agua (barreras vivas y muertas, manejo de rastrojo), establecimiento de sistemas agroforestales y silvopastoriles, rotación de cultivos y de potreros, capacitación, concienciación de la población y pagos por servicios ambientales.

Los actores locales necesitan del acompañamiento técnico para aplicar las estrategias y acciones orientadas a un mejor manejo sostenible de las zonas potenciales de recarga hídrica

Los resultados obtenidos de recarga hídrica en esta investigación fueron elaborados a una escala más detallada por lo que dichos resultados contribuirán a la base de datos del mapa nacional de recarga.

## **6. RECOMENDACIONES**

El gobierno municipal debe crear, socializar y aplicar ordenanzas municipales que promuevan el uso adecuado de las zonas de recarga hídrica identificadas.

Es necesario previo a la aplicación de la propuesta de lineamientos, realizar un taller participativo donde se expongan, expliquen y compartan los procedimientos planteados a seguir para el manejo de las zonas potenciales de recarga hídrica.

Es recomendable consolidar la estructura organizativa de los comités locales de agua mediante la gestión compartida y colaborativa de todos los habitantes de la comunidad.

Establecer pruebas químicas sistemáticas de los manantiales inventariados, para poder monitorear la calidad del agua

Se recomienda para futuras investigaciones la realización de pruebas físicas de suelo (Capacidad de campo, punto de marchitez permanente, densidad de suelo) para determinar con mayor precisión el coeficiente de infiltración.

Considerar mecanismos y/o acciones de pago por servicios ambientales, iniciando en las áreas identificadas en este trabajo para fomentar la conservación y protección de éstas, con el fin de establecer áreas eco turísticas que también puedan generar algunos ingresos.

## 7. BIBLIOGRAFIA

- Argueta, A.A. 2008. Estimación de la recarga acuífera subterránea potencial del municipio de La palma, Chalatenango. Universidad de El Salvador. El Salvador.
- Auge, R. 2008. Acuífero semi confinado. Argentina.
- Baxter, S. [1984], Léxico Estratigráfico de El Salvador, San Salvador, El Salvador.
- Brinker RC, Wolf PR. 2000. Topografía. 9ª Edición. Alfaomega, S.A. Santafé de Bogotá, Colombia.
- Castaneda, F. 2003. Manual de Manejo de Cuencas Hidrográficas. Universidad de El Salvador. El Salvador.
- Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, SV (CATIE). 2006. "Identificación, Evaluación y Manejo de Zonas de Recarga Hídrica". San Salvador. El Salvador.
- Duarte, J. R. 1998. Estudio Hidrogeológico del Acuífero de Guluchapa, Tesis para optar al grado de Master en Ciencias. San José, Costa Rica. Universidad de Costa Rica.
- Duarte, J.R. 2008. Entrevista personal: formaciones geológicas.
- Enciclopedia Libre. 2007. Dulce Nombre de María. Consultada el 14 de Febrero de 2008. Disponible en [http://es.wikipedia.org/wiki/Dulce\\_Nombre\\_de\\_Mar%C3%ADA#Divisi.C3.B3n\\_Pol.C3.ADtica\\_-\\_Administrativa](http://es.wikipedia.org/wiki/Dulce_Nombre_de_Mar%C3%ADA#Divisi.C3.B3n_Pol.C3.ADtica_-_Administrativa)
- Escobar, G. 2003. Manual de Geología para Ingenieros: introducción a la geología. Universidad Nacional de Colombia. Colombia.
- Espinosa, C. 2004. Propiedades físicas del agua subterránea y acuíferos II: hidráulica de aguas subterráneas y su aprovechamiento. Universidad de Chile.
- Faustino. 2007. Manejo y gestión de cuencas hidrográficas. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE, Turrialba, CR
- Fortalecimiento de la Gestión Ambiental en El Salvador (FORGAES). 2005. Método para zonificaciones de protección de fuentes de agua. El Salvador. P 7-25. s. e
- Gil Montes, J. 2000. Recursos Hidrogeológicos. CATIE (Centro Agronómico tropical de Investigación y Enseñanza, CR). Turrialba, Costa Rica.
- Hernández, M. A. 2007. Sistemas de Información Geográfica (Datos Geográficos e Información Geográfica). San Salvador, SV, Universidad de El Salvador.
- Instituto Geográfico Nacional (IGN). 2005. Atlas de El Salvador. 4 ed.
- Jiménez, F. 2006. "Evaluación de las Zonas de Recarga Hídrica", Modulo III. El Salvador, P 75-85. e. s.

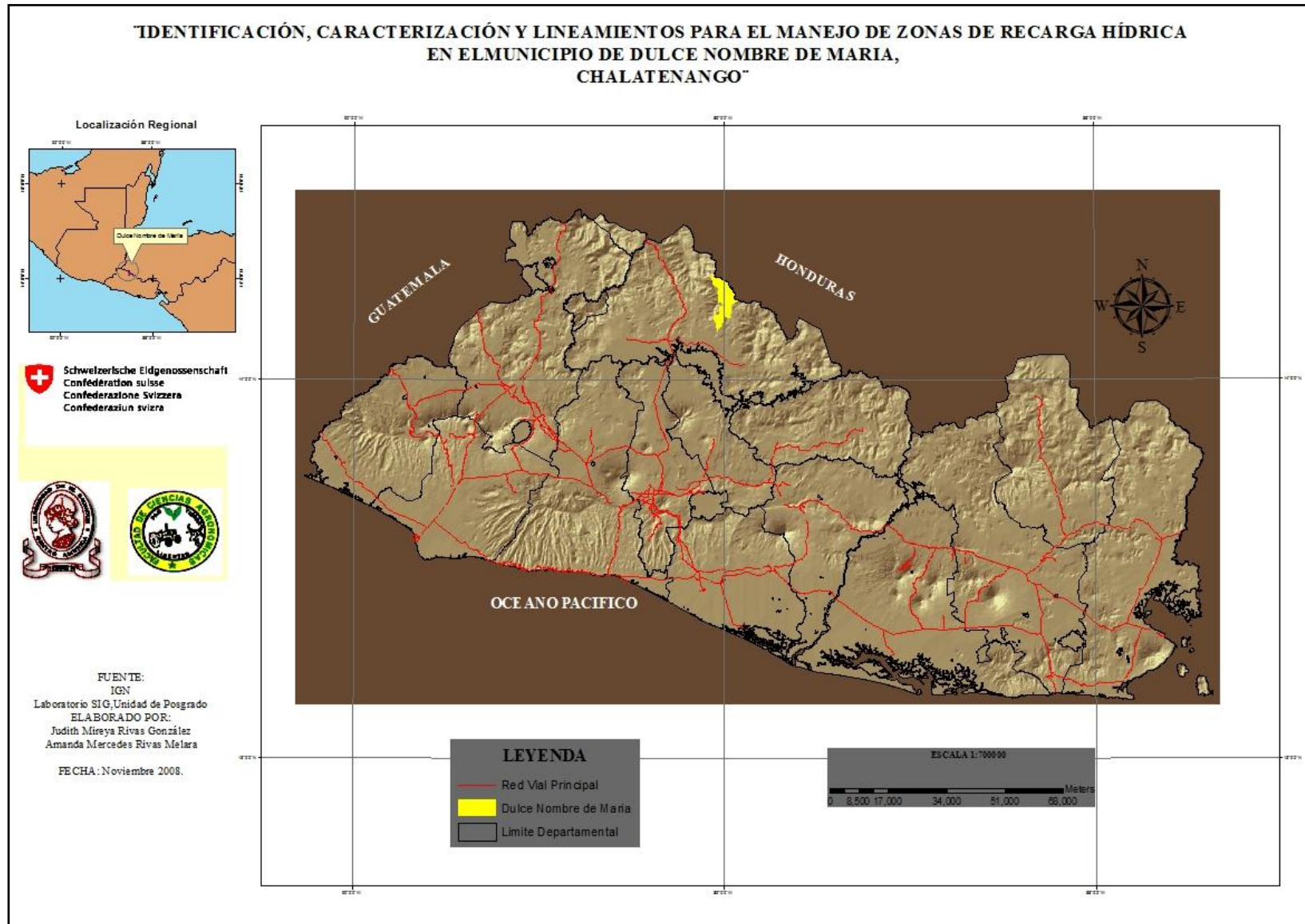
- Martín, M. 2008. Tipos de acuíferos. Madrid, España.
- Mata, R. 2004. Estudio Geológico-ambiental de las microcuencas de los ríos el Gramal, la palma y san Ignacio. Departamento de Chalatenango. El Salvador. Tesis Ing. Civil. El Salvador, UCA. 128p.
- Meléndez, B. y Fuster, J.M. 1973. Geología. Universidad Nacional de Córdoba. Argentina.
- Mijailov, L. 1985. Hidrogeología. Editorial Mir. Moscú, Rusia. 285 p. Consultado 10 de septiembre de 2007. Disponible en <http://es.wikipedia.org/wiki/Hidrogeolog%C3%ADa>.
- MINEC (Ministerio de Economía). 2008. VI Censo de población 2007 y V censo de vivienda. Consultado 29 de mayo de 2008. Disponible en <http://www.censos.gob.sv/util/datos/Resultados%20VI%20Censo%20de%20Poblaci%C3%B3n%20y%20de%20Vivienda%202007.pdf>
- Programa de las Naciones Unidas, OPS, OMS, ANDA (2002). Estudios Hidrogeológicos del departamento de Sonsonate, San Salvador, El Salvador.
- Schosinsky, Losilla. 2000. Modelo analítico para determinar la infiltración con base en la lluvia mensual. Revista Geológica de América Central.
- SNET (Servicio Nacional de Estudios Territoriales). 2007. Balance Hídrico Integrado y Dinámico en El Salvador. Consultado 10 de noviembre de 2008. Disponible en [www.snet.gob.sv/Documentos/balanceHidrico.pdf](http://www.snet.gob.sv/Documentos/balanceHidrico.pdf)
- Theis, C.V. 1935. Transmisividad. Trans. Am. Geophys. Union. 16:516-524.
- Vásquez, V; Chang, N. 1992. El riego: principios básicos, Tomo I. P 160.
- Villón, M. 2004. Hidrología. Editorial Tecnológica de Costa Rica, Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago-Costa Rica,

**ANEXOS**



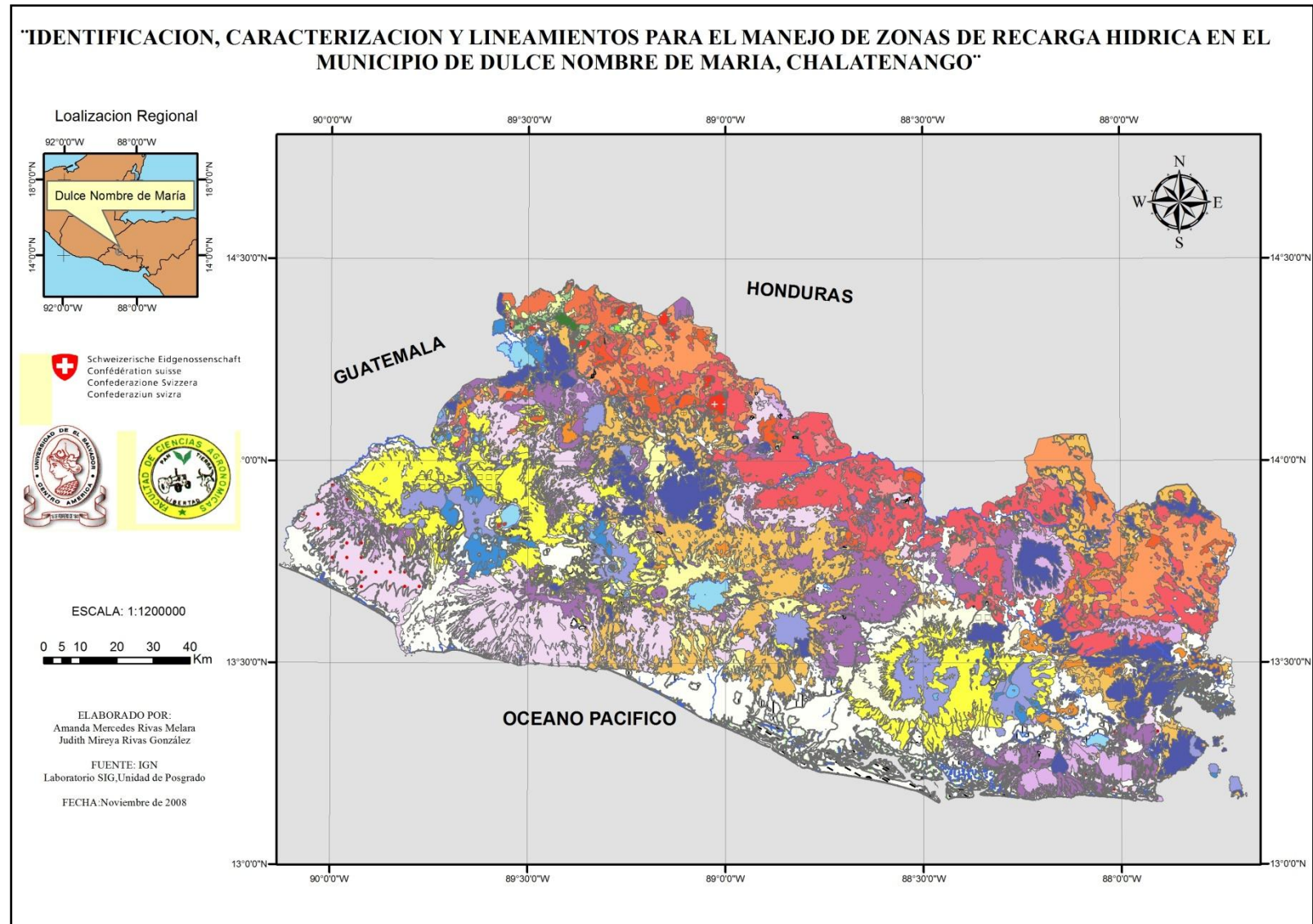
# ANEXO 1

## Mapa de Ubicación de Dulce Nombre de María.



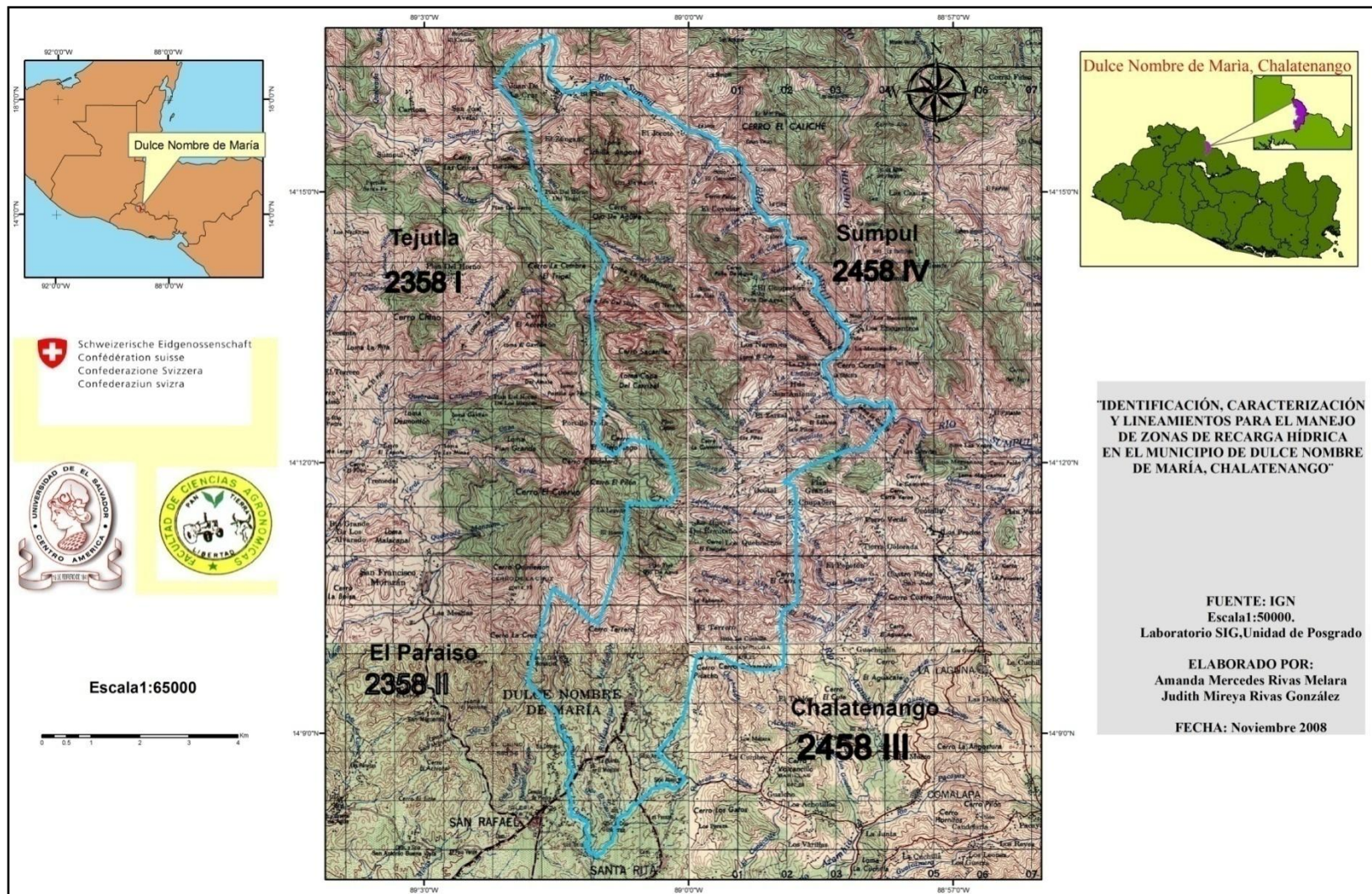
## ANEXO 2

### Mapa Geológico Nacional



# ANEXO 3

## Mapa de Cuadrantes Topográficos



**"IDENTIFICACIÓN, CARACTERIZACIÓN  
Y LINEAMIENTOS PARA EL MANEJO  
DE ZONAS DE RECARGA HÍDRICA  
EN EL MUNICIPIO DE DULCE NOMBRE  
DE MARÍA, CHALATENANGO"**

FUENTE: IGN  
Escala 1:50000.  
Laboratorio SIG, Unidad de Posgrado

ELABORADO POR:  
Amanda Mercedes Rivas Melara  
Judith Mireya Rivas González

FECHA: Noviembre 2008

Escala 1:65000



**ANEXO 4**  
**Boleta de levantamientos de manantiales.**



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRONOMICAS**  
**Identificación, caracterización y lineamientos para el manejo**  
**de zonas de recarga hídrica en el municipio de Dulce Nombre de María,**  
**Chalatenango.**

Nombre del Encuestador: _____	Institución Responsable: _____
Fecha (d/m/aa): _____	Hora inicio: _____ Departamento: _____

**SECCION A:**

*Parte I: Datos Generales.*

1. Cantón: \_\_\_\_\_ 2. Caserío: \_\_\_\_\_
3. Comunidad/Finca: \_\_\_\_\_ Foto #: \_\_\_\_\_

**SECCION B:**

*Parte I: Ubicación de la fuente.*

4. Coordenadas UTM                      X \_\_\_\_\_                      Y \_\_\_\_\_
5. Modelo de GPS: \_\_\_\_\_
6. Altitud: \_\_\_\_\_
7. Nombre de la fuente: \_\_\_\_\_

*Parte II: Datos del tipo de fuente.*

8. Tipo de fuente  Manantial/nacimiento                       Río

9. Método de aforo                       Flotador                       Molinete                       Otro

Adjuntar aforo

Distancia (mts)	Ancho (mts)	Tiempo	Profundidad (mts)
		1.	1.
		2.	2.
		3.	3.
			5.

Cubeta                     

Tiempo	Volumen
1.	1.

Volumen: \_\_\_\_\_  
 Tiempo: \_\_\_\_\_

2.	2.
3.	3.

Galones                    min.                    seg.                     Litros                                                                                10. Observaciones:

11. Caudal Promedio: \_\_\_\_\_  m<sup>3</sup>/s                     L/s                     gpm

12. Tipo de usuario:  Privado/particular                     Comunal                     Municipal  
 Estatal

13. Estructura de protección en la fuente: \_\_\_\_\_

14. Tiene cobertura vegetal:  Si                     No

15. ¿Actualmente la fuente esta en uso?  Si                     No

16. Estatus legal de la fuente:  Con escritura pública                     Con escritura registrada  
 Acta municipal                     Convenios verbales                   

17. Condiciones de la fuente:  Mala                     Regular                     Buena

**SECCION C: Usos de la fuente (No continúe si la fuente no esta en uso)**

*Tomas y Caudales.*

18. Tipo de captación:  Toma                     Caja                     Tanque

19. Cuadro N° 1:

Toma #	Toma #	Toma #
Coordenadas de salida: X  Y	Coordenadas de salida: X  Y	Coordenadas de salida: X  Y
Elevación de la salida:	Elevación de la salida:	Elevación de la salida:
Tipo de sección: <input type="checkbox"/> T <input type="checkbox"/> CS <input type="checkbox"/> CR <input type="checkbox"/> CT	Tipo de sección: <input type="checkbox"/> T <input type="checkbox"/> CS <input type="checkbox"/> CR <input type="checkbox"/> CT	Tipo de sección: <input type="checkbox"/> T <input type="checkbox"/> CS <input type="checkbox"/> CR <input type="checkbox"/> CT
Esquema y medidas:	Esquema y medidas:	Esquema y medidas:

Materiales:	Materiales:	Materiales:
Observaciones:	Observaciones:	Observaciones:
<b>1 Tipo de sección:</b> T=Tubería CR=Canal Semicircular CR=Canal Rectangular CT= Canal Trapezoidal, en caso triangular base 0.		

( ) Si su uso es domestico, llene únicamente Sección D. Si la pregunta no aplica a su situación coloque "NA".  
( ) Si su uso es para irrigación, llene únicamente la Sección E. Si la pregunta no aplica a su situación coloque "NA".  
( ) Si su uso es industria, recreativo, pecuario u otro, llene únicamente la Sección F. Si la pregunta no aplica a su situación coloque "NA".

**SECCION D: Uso domestico.**

20. Nombre de la población beneficiada: \_\_\_\_\_

21. Número de población beneficiada: \_\_\_\_\_

22. Tipo de servicio:  Domiciliar  
 Predial  
 Publica (llena cantaros, pozos comunes, pilas, etc.)

23. ¿Se descarga el agua utilizada?  Si  No

Coordenadas UTM de donde descarga X \_\_\_\_\_ Y \_\_\_\_\_  
Tiene planta de tratamiento:  Si  No

**SECCION E: Irrigación.**

24. Nombre del usuario: \_\_\_\_\_

25. Área total de riego: \_\_\_\_\_ Unidades \_\_\_\_\_

26. Tipo de riego utilizado: ( ) Por cubeta  
( ) Por manguera  
( ) Por goteo  
( ) Por gravedad  
( ) Aspersión  
( ) Otros \_\_\_\_\_

27. Cuadro N° 2:

Nombre (s) Cultivo (s)	Nombre (s) Cultivo (s)
Periodo de riego: Anual Meses	Periodo de riego: Anual Meses
Turnos de riego:	Turnos de riego:
Duración:	Duración:
Frecuencia:	Frecuencia:

28. Estructura hidráulica con la que cuenta: \_\_\_\_\_

**SECCION F: Industria, recreativo, pecuario y otros.**

*Parte I:*

29. Nombre del usuario: \_\_\_\_\_

30. Volumen de agua utilizada en el proceso: \_\_\_\_\_

31. Periodo de tiempo que el agua es utilizada: \_\_\_\_\_ Hrs.

32. Época del año en que es utilizada el agua:  meses    
Todo el año

33. ¿Se descarga el agua utilizada?:  Si  No

34. Coordenadas UTM de donde descargan: X \_\_\_\_\_ Y \_\_\_\_\_   
¿Tiene planta de tratamiento?  Si  No

---

*Parte II: Si es pecuario.*

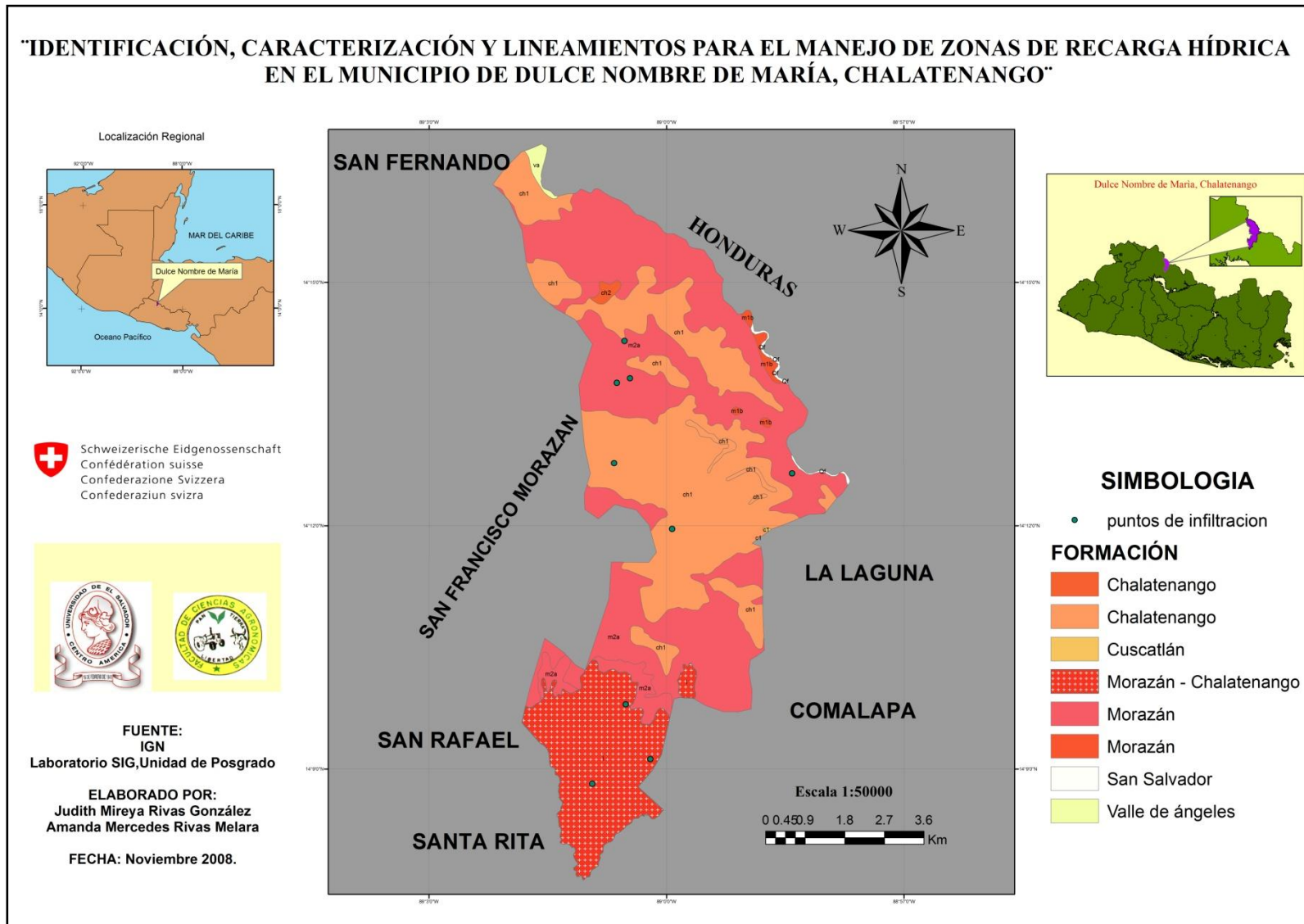
35. Tipo de ganado: \_\_\_ Vacuno \_\_\_ Porcino \_\_\_ Ovino \_\_\_ Aviar \_\_\_ Caballar  
\_\_\_ Otros.

36. Número de animales: \_\_\_\_\_

Hora Final: _____
Tiempo: _____
Código de
Fotografía: _____

## ANEXO 5

### Ubicación de Pruebas de Infiltración, Dulce Nombre de María.





## ANEXO 6

### INSTALACION DEL PERMEAMETRO DE GUELPH



1. barreno y nivelador (equipo)



2. Elaboración del agujero de



3. cepillo para limpiar las paredes del agujero.



4. Agujero de infiltración



5. llenado del bidón



6. Determinación del tipo de textura del suelo para establecer el tiempo de lectura.



7. Medición del tiempo de infiltración.

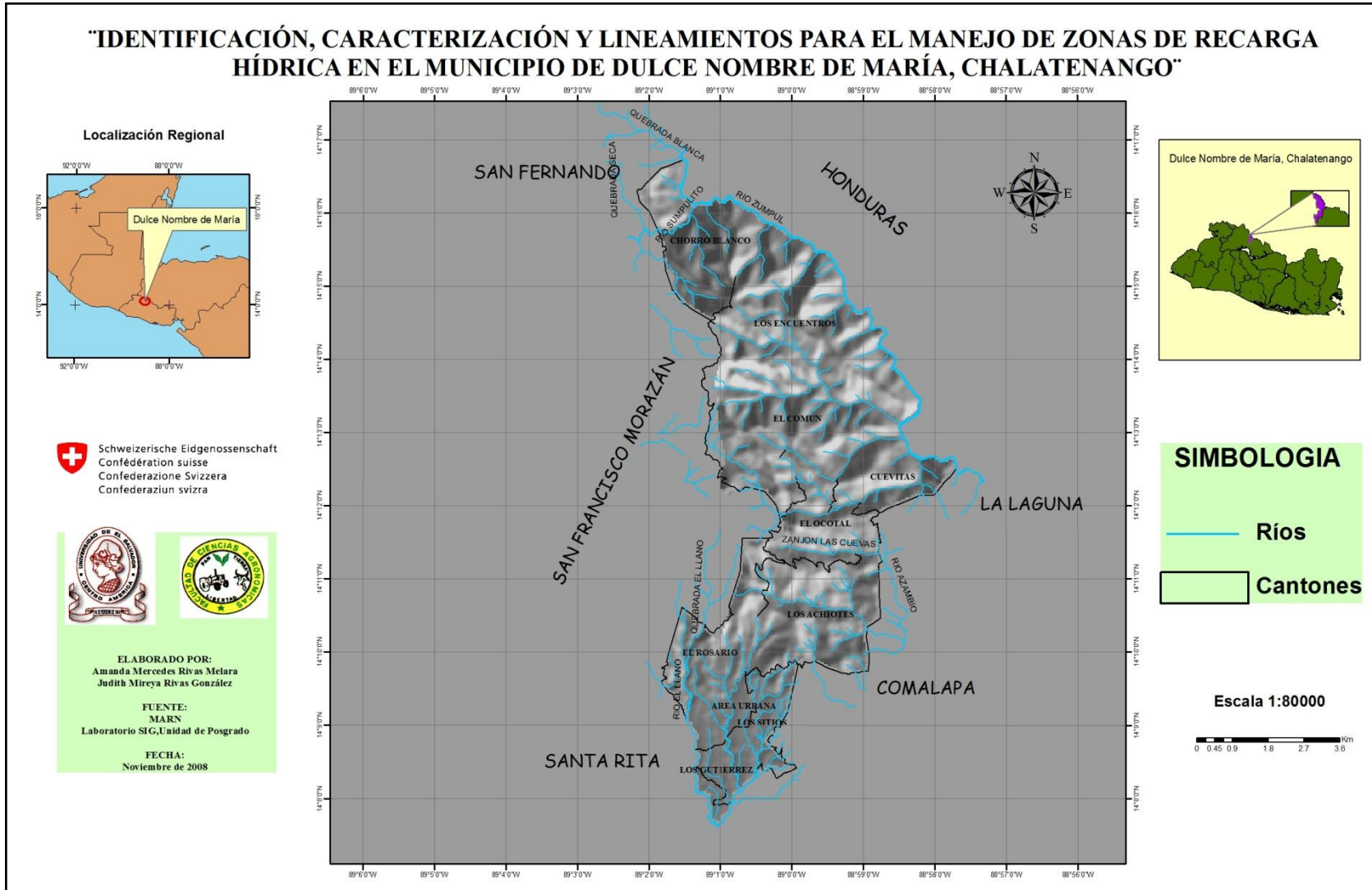


8. Toma de lecturas.

## ANEXO 7

### Mapa Red Hídrica, Municipio de Dulce Nombre de María

#### "IDENTIFICACIÓN, CARACTERIZACIÓN Y LINEAMIENTOS PARA EL MANEJO DE ZONAS DE RECARGA HÍDRICA EN EL MUNICIPIO DE DULCE NOMBRE DE MARÍA, CHALATENANGO"




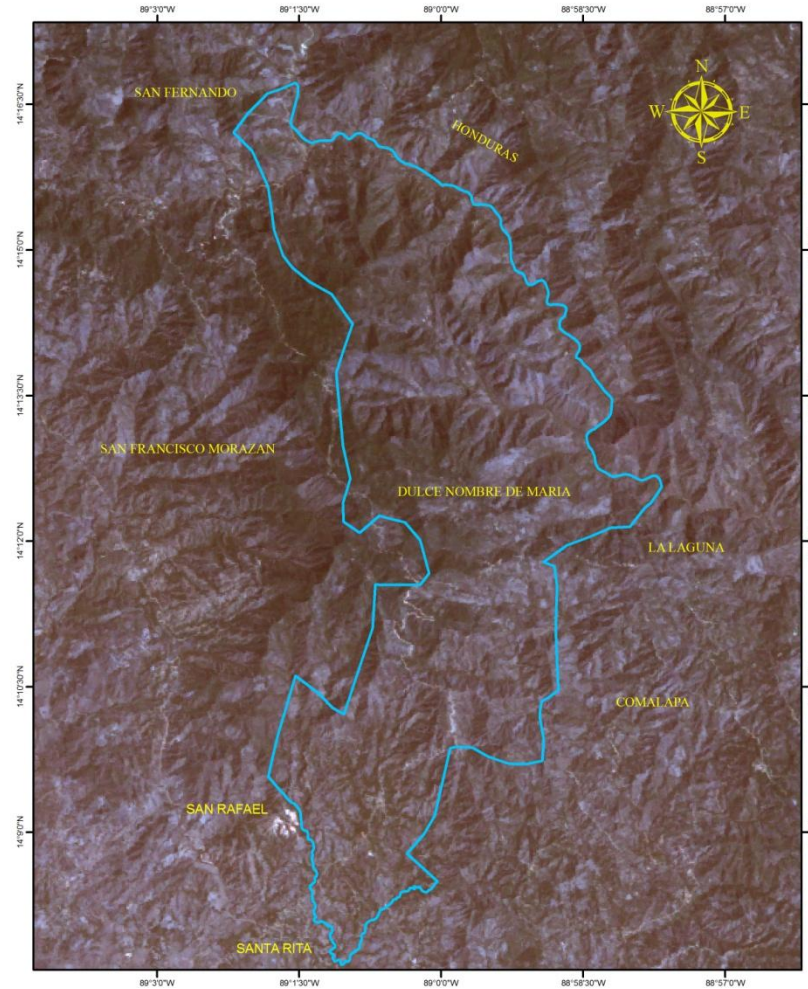
## ANEXO 8

### Imagen Landsat del Municipio de Dulce Nombre de María

#### "IDENTIFICACIÓN, CARACTERIZACIÓN Y LINEAMIENTOS PARA EL MANEJO DE ZONAS DE RECARGA HÍDRICA EN EL MUNICIPIO DE DULCE NOMBRE DE MARÍA, CHALATENANGO"



 Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

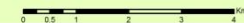


FUENTE: UES  
IMAGEN LANDSAT 5TM 1997  
Laboratorio SIG, Unidad de Posgrado

FECHA: Noviembre 20008

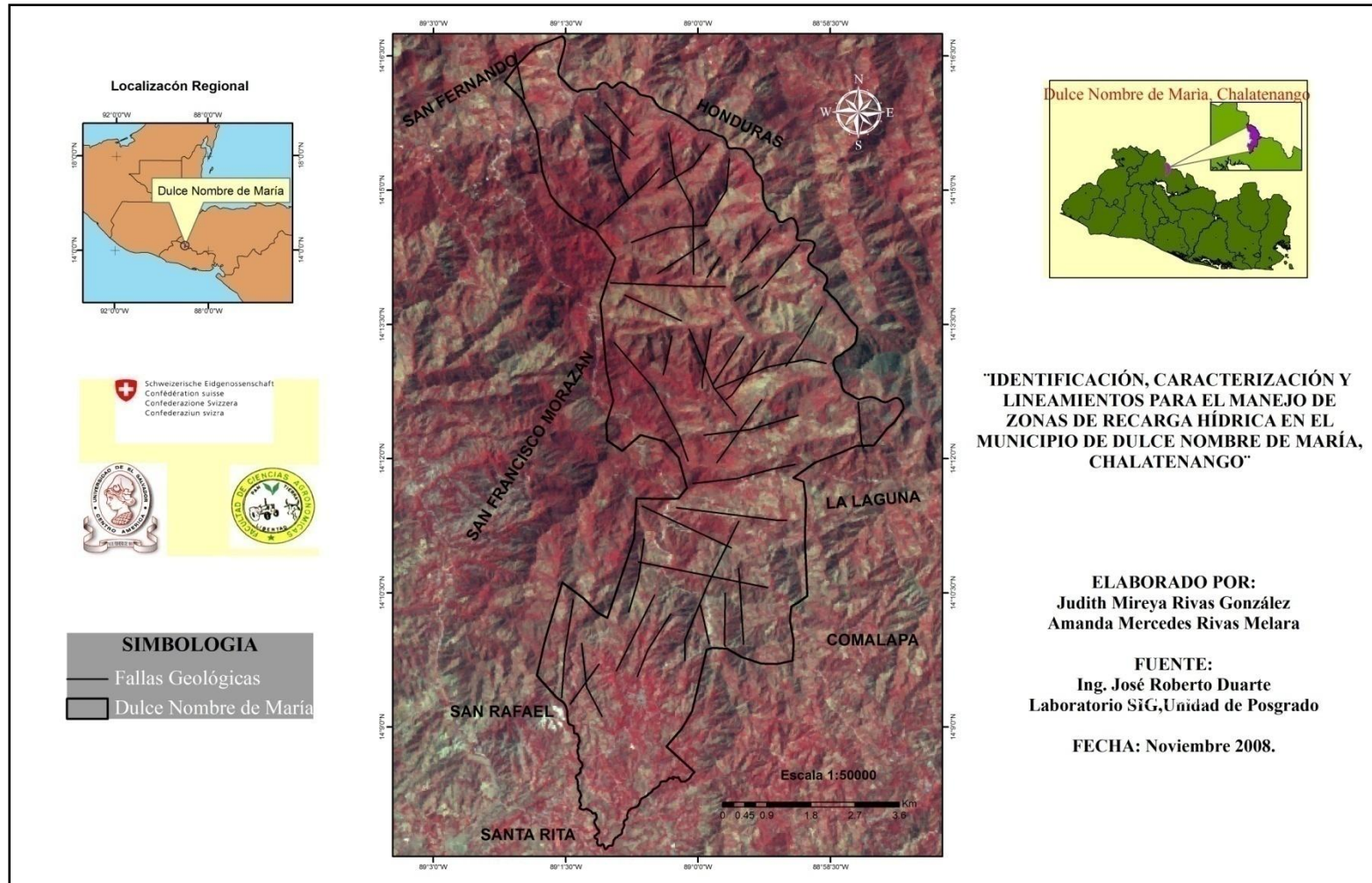
ELABORADO POR:  
Amanda Mercedes Rivas Melara  
Judith Mireya Rivas González

ESCALA: 1:75000



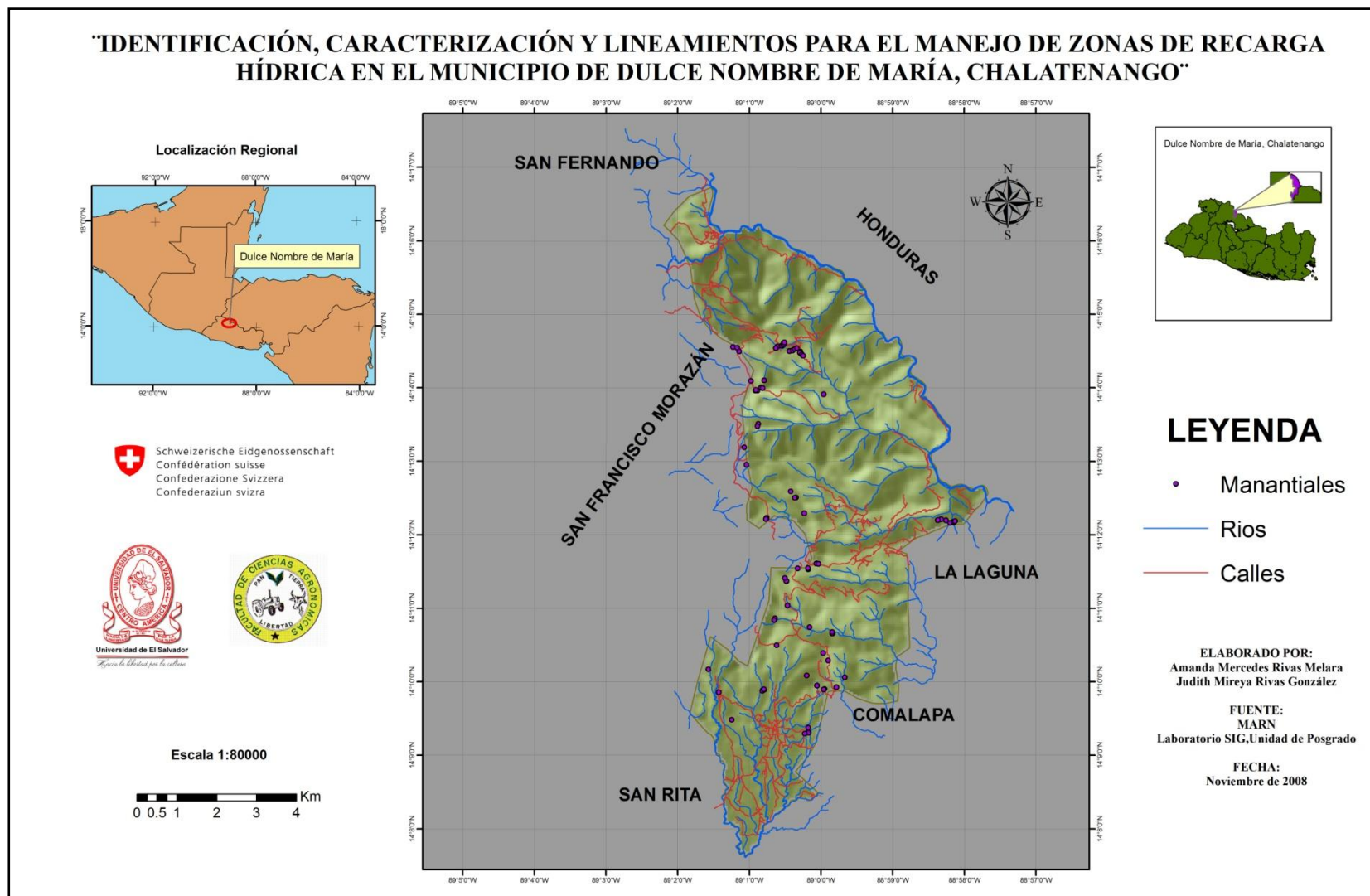
## ANEXO 9

### Mapa de Fallas Geológicas del Municipio de Dulce Nombre de María



## ANEXO 10

### Mapa Digital de Manantiales de Dulce Nombre de María.



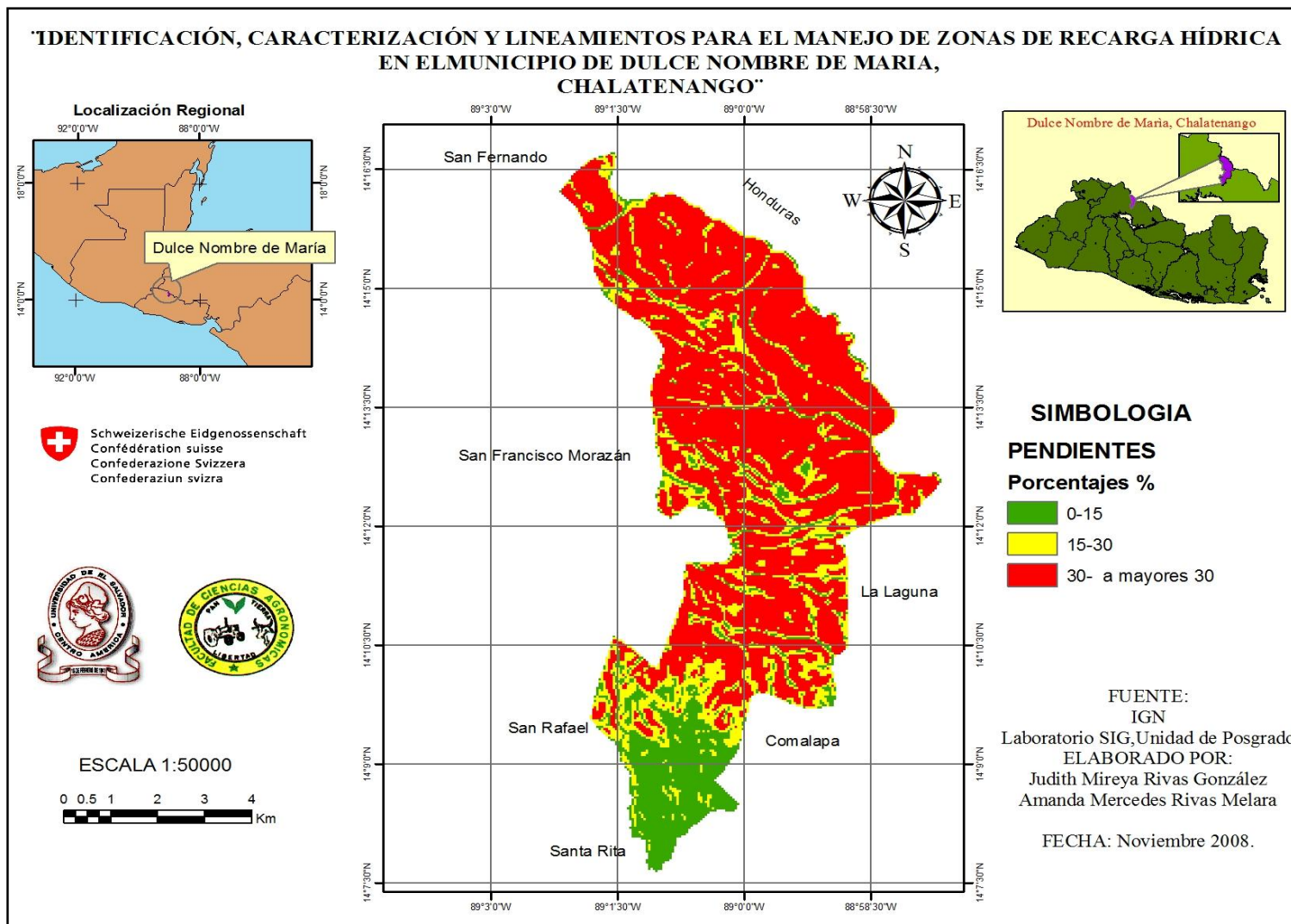
## ANEXO 11

### Base de Datos de Manantiales

PUNTO	CANTON	Y_LAMBERT	X_LAMBERT	ALTITUD msnm	CAUDAL Litros/seg
159	El Rosario	337977.97	498450.27	489	0.00830
160	El Rosario	337993.95	498498.58	476	0.01660
161	El Rosario	338008.36	498487.79	490	0.03320
162	El Rosario	338197.52	497539.93	614	1.28550
163	El Rosario	337958.52	497434.48	549	0.42850
164	El Rosario	340743.91	498743.23	464	0.04545
166	El Rosario	339926.38	498202.00	849	1.00000
167	El Rosario	339726.13	498092.61	819	0.07692
168	El Rosario	339729.55	498092.00	821	0.04545
169	El Rosario	339134.39	498886.55	793	0.16670

## ANEXO 12

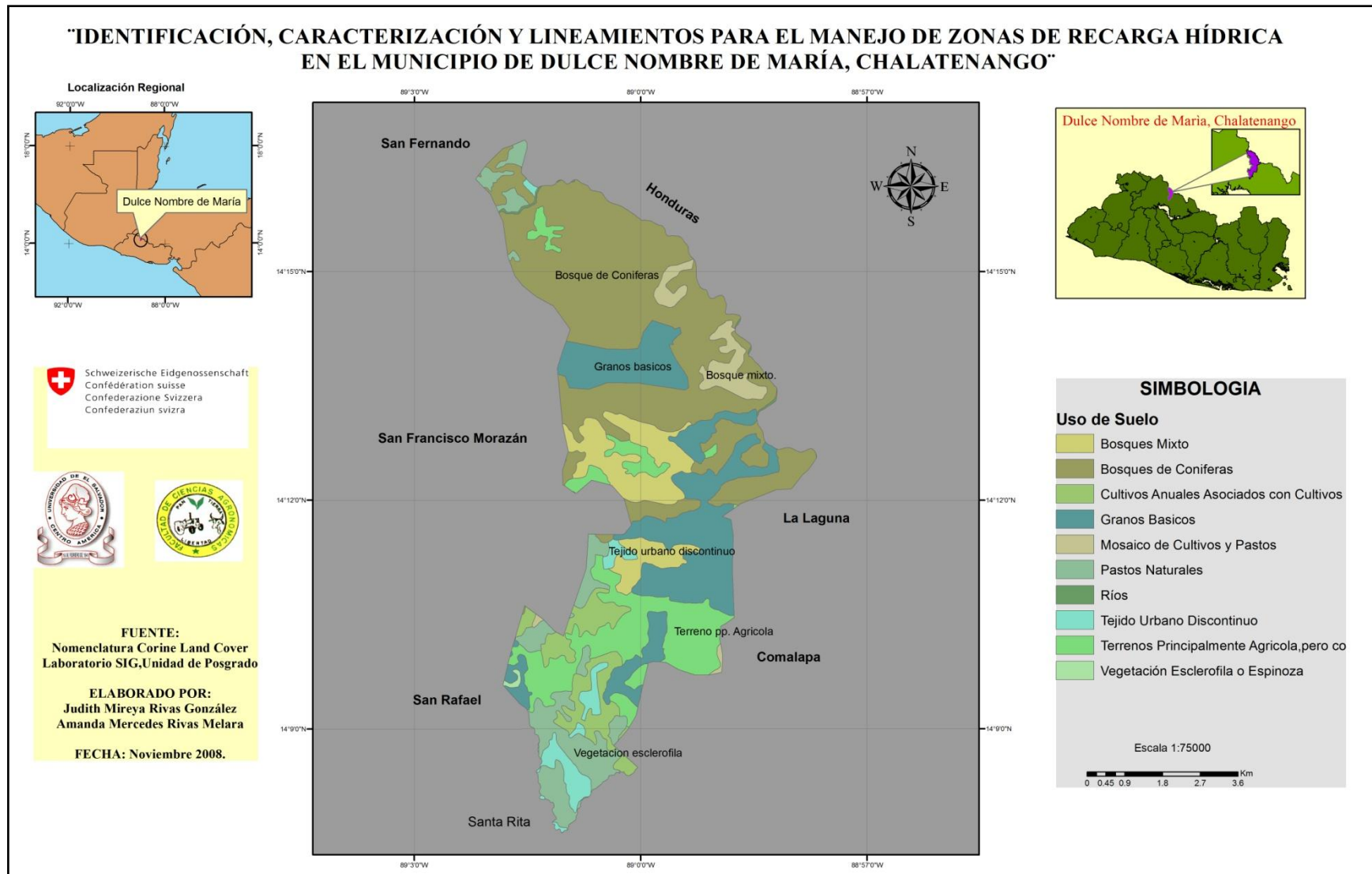
### Mapa de Pendientes





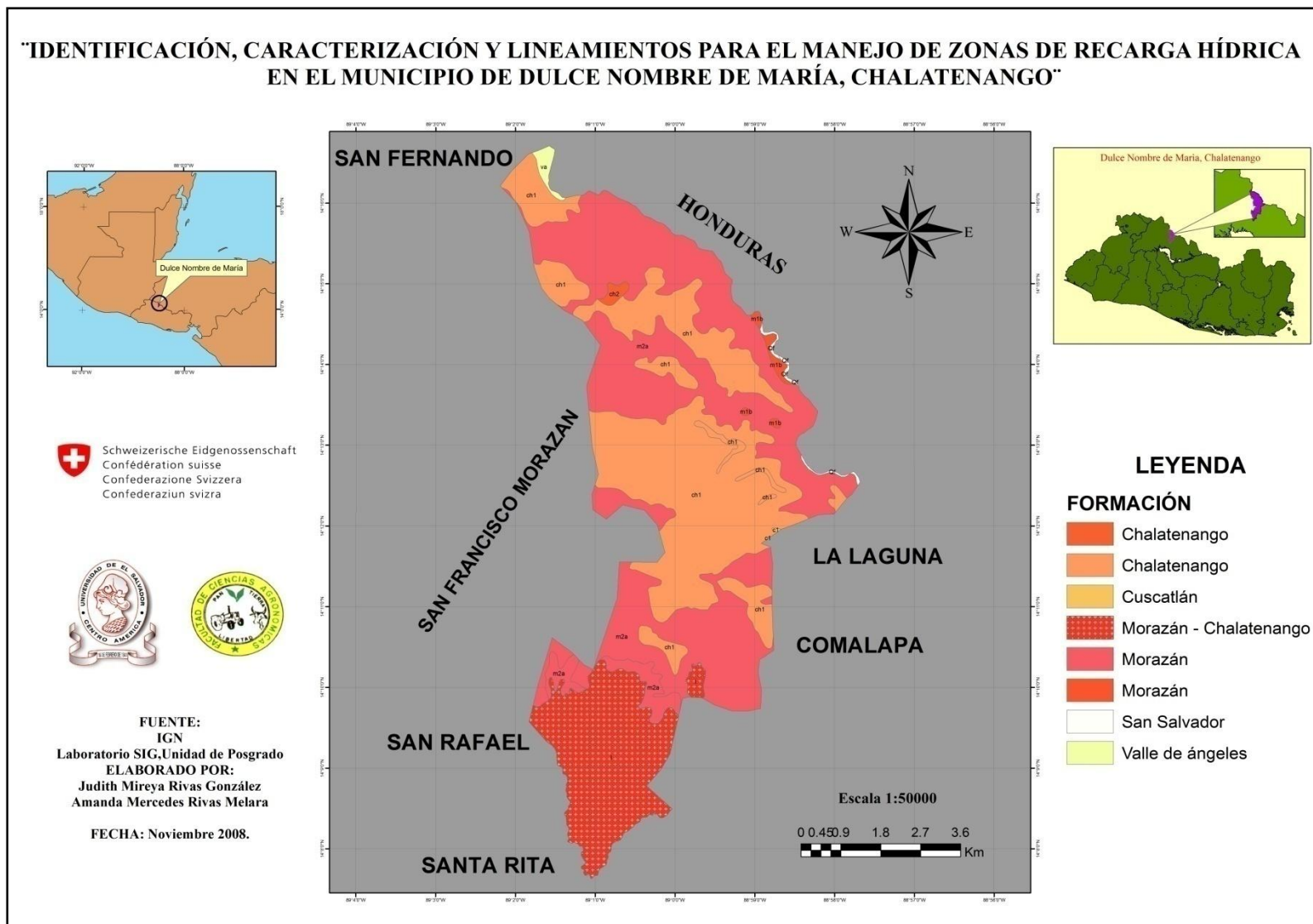
## ANEXO 13

### Mapa de Uso de Suelo del Municipio de Dulce Nombre de María



## ANEXO 14

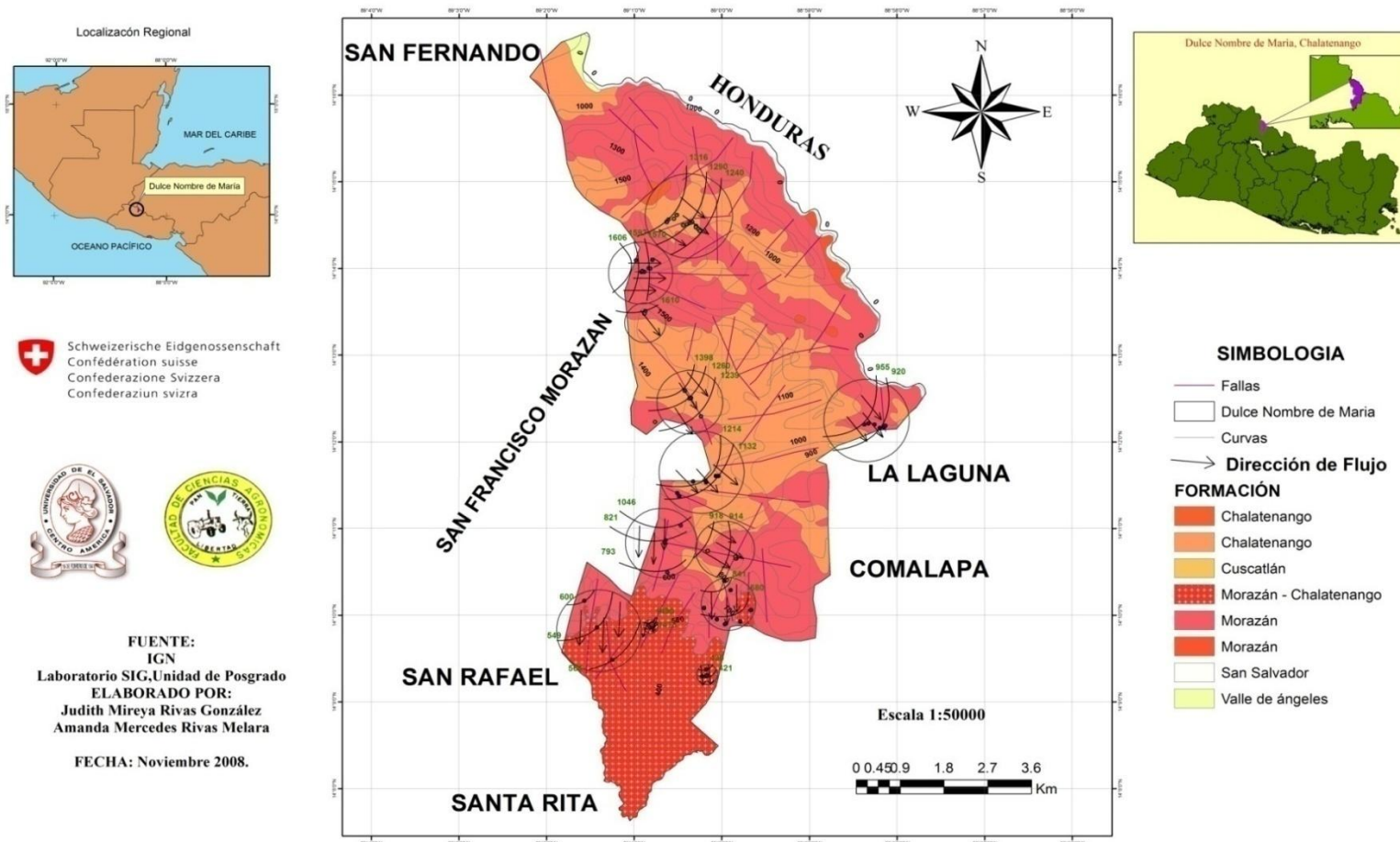
### Mapa Geológico del Municipio de Dulce Nombre de María



## ANEXO 15

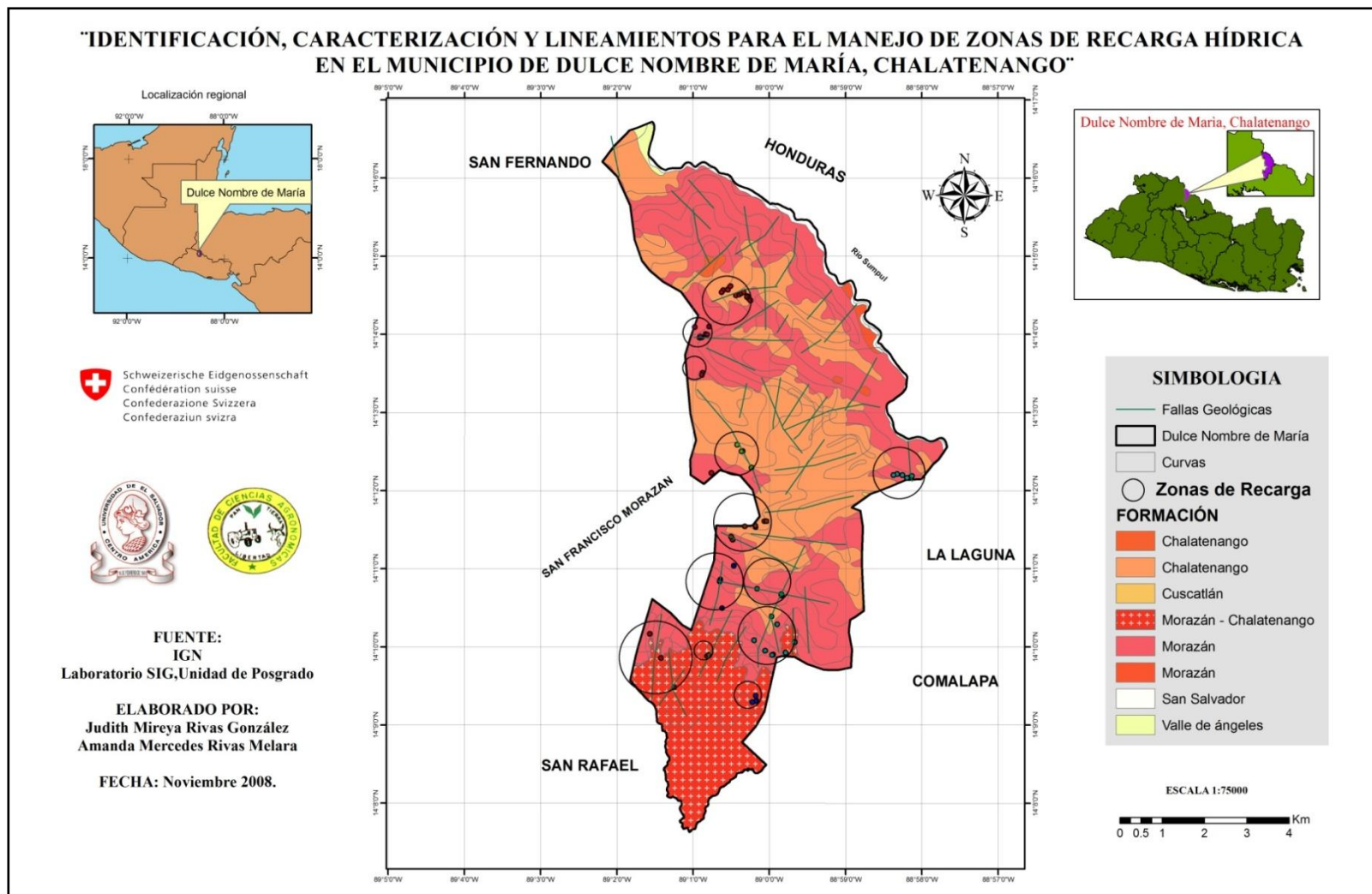
### Mapa Hidrogeológico del Municipio de Dulce Nombre de María

#### "IDENTIFICACIÓN, CARACTERIZACIÓN Y LINEAMIENTOS PARA EL MANEJO DE ZONAS DE RECARGA HÍDRICA EN EL MUNICIPIO DE DULCE NOMBRE DE MARÍA, CHALATENANGO"



## ANEXO 16

### Mapa de Zonas de Recarga Hídrica por Miembro Geológico



## ANEXO 17

### Tabla balance hídrico específico de la zona 1,3,4,6 miembro Ch1

#### BALANCE HIDRICO DE SUELOS Gunther Schosinsky

**Zona de Estudio:** ZONA 1, 3, 4, 6 Miembro ch1

**Fecha:**

**Textura de Suelo:**

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]

432.00

Kp [0.01%]

0.20

Kv [0.01%]

0.20

Kfc [0.01%]

0.83074

I [0.01%]

1

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

1.30

PR (mm)

2000.00

HSi (mm)

1275.30

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 1275.30

PM 25.00 650.00

(CC-PM) 24.05 625.30

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	2.00	7.00	27.00	47.00	248.00	467.00	310.00	333.00	543.00	337.00	66.00	3.00	2390.00
Ret [mm]	2.00	5.00	5.40	9.40	49.60	93.40	62.00	66.60	108.60	67.40	13.20	3.00	485.60
Pi (mm)	0.00	2.00	21.60	37.60	198.40	373.60	248.00	266.40	434.40	269.60	52.80	0.00	1904.40
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)	155.10	136.60	164.20	153.30	137.00	131.70	152.40	153.20	130.00	135.40	136.20	134.10	1719.20
HSi (mm)	1095.49	998.70	932.45	884.69	863.72	981.72	1229.06	1275.30	1275.30	1275.30	1275.30	1200.98	
C1	0.71	0.56	0.49	0.44	0.66	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.88	
C2	0.54	0.44	0.36	0.33	0.51	0.92	1.00	1.00	1.00	1.00	0.87	0.69	
HD (mm)	445.49	350.70	304.05	272.29	412.12	705.32	827.06	891.70	1059.70	894.90	678.10	550.98	
ETR (mm)	96.80	68.24	69.36	58.57	80.40	126.26	152.40	153.20	130.00	135.40	127.12	105.49	1303.24
HSf (mm)	998.70	932.45	884.69	863.72	981.72	1229.06	1275.30	1275.30	1275.30	1275.30	1200.98	1095.49	
DCC (mm)	276.60	342.85	390.61	411.58	293.58	46.24	0.00	0.00	0.00	0.00	74.32	179.81	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	49.36	113.20	304.40	134.20	0.00	0.00	601.16
NR (mm)	334.91	411.20	485.45	506.31	350.18	51.68	0.00	0.00	0.00	0.00	83.40	208.42	2431.55

**ANEXO 18**  
**Tabla balance hídrico específico de la zona 2, 7, 8,9, miembro M<sub>2a</sub>**

<b>BALANCE HIDRICO DE SUELOS</b>													
<b>Gunther Schosinsky</b>													
<b>Zona de Estudio:</b>		<b>ZONAS 2,7,8,9 Miembro M<sub>2a</sub></b>											
<b>Fecha:</b>													
<b>Textura de Suelo:</b>													
<b>Simbología</b>													
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]				288.00									
Kp [0.01%]				0.20									
Kv [0.01%]				0.20									
Kfc [0.01%]				0.74466									
I [0.01%]				1									
DS (g/cm <sup>3</sup> ):				1.30									
PR (mm)				1500.00									
HSi (mm)				604.50									
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		31.00		604.50	
								PM		17.00		331.50	
								(CC-PM)		14.00		273.00	

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	2.00	7.00	27.00	47.00	248.00	467.00	310.00	333.00	543.00	337.00	66.00	3.00	2390.00
Ret [mm]	2.00	5.00	5.40	9.40	49.60	93.40	62.00	66.60	108.60	67.40	13.20	3.00	485.60
Pi (mm)	0.00	2.00	21.60	37.60	198.40	373.60	248.00	266.40	434.40	269.60	52.80	0.00	1904.40
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)	155.10	136.60	164.20	153.30	137.00	131.70	152.40	153.20	130.00	135.40	136.20	134.10	1719.20
HSi (mm)	463.94	410.07	381.84	373.18	378.76	484.81	604.50	604.50	604.50	604.50	604.50	541.90	
C1	0.49	0.30	0.26	0.29	0.90	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.77	
C2	0.21	0.15	0.11	0.13	0.45	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.69	0.39	
HD (mm)	132.44	80.57	71.94	79.28	245.66	526.91	521.00	539.40	707.40	542.60	325.80	210.40	
ETR (mm)	53.87	30.23	30.26	32.02	92.35	131.70	152.40	153.20	130.00	135.40	115.40	77.97	1134.79
HSf (mm)	410.07	381.84	373.18	378.76	484.81	604.50	604.50	604.50	604.50	604.50	541.90	463.94	
DCC (mm)	194.43	222.66	231.32	225.74	119.69	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	62.60	140.56	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	122.21	95.60	113.20	304.40	134.20	0.00	0.00	769.61
NR (mm)	295.66	329.03	365.26	347.02	164.34	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	83.40	196.70	1781.41

## ANEXO 19

### Tabla balance hídrico específico de la zona 10, 11,12 miembro I

#### BALANCE HIDRICO DE SUELOS Gunther Schosinsky

**Zona de Estudio:** ZONA 10,11,12 Miembro I

**Fecha:**

**Textura de Suelo:**

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]	244.80
Kp [0.01%]	0.10
Kv [0.01%]	0.10
Kfc [0.01%]	0.70792
I [0.01%]	0.90792
DS (g/cm <sup>3</sup> ):	1.35
PR (mm)	4000.00
HSi (mm)	941.22
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	17.43	941.22
PM	8.74	471.96
(CC-PM)	8.69	469.26

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	2.00	7.00	27.00	47.00	248.00	467.00	310.00	333.00	543.00	337.00	66.00	3.00	2390.00
Ret [mm]	2.00	5.00	5.40	9.40	49.60	93.40	62.00	66.60	108.60	67.40	13.20	3.00	485.60
Pi (mm)	0.00	1.82	19.61	34.14	180.13	339.20	225.16	241.87	394.40	244.77	47.94	0.00	1729.04
ESC (mm)	0.00	0.18	1.99	3.46	18.27	34.40	22.84	24.53	40.00	24.83	4.86	0.00	175.36
ETP (mm)	155.10	136.60	164.20	153.30	137.00	131.70	152.40	153.20	130.00	135.40	136.20	134.10	1719.20
HSi (mm)	769.31	687.27	635.08	601.94	591.22	696.70	909.40	941.22	941.22	941.22	941.22	865.77	
C1	0.63	0.46	0.39	0.35	0.64	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.84	
C2	0.42	0.33	0.25	0.24	0.45	0.92	1.00	1.00	1.00	1.00	0.81	0.60	
HD (mm)	297.35	217.13	182.73	164.12	299.39	563.94	662.60	711.13	863.66	714.03	517.20	393.81	
ETR (mm)	82.04	54.01	52.75	44.86	74.65	126.51	152.40	153.20	130.00	135.40	123.39	96.46	1225.66
HSf (mm)	687.27	635.08	601.94	591.22	696.70	909.40	941.22	941.22	941.22	941.22	865.77	769.31	
DCC (mm)	253.95	306.14	339.28	350.00	244.52	31.82	0.00	0.00	0.00	0.00	75.45	171.91	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	40.94	88.67	264.40	109.37	0.00	0.00	503.38
NR (mm)	327.01	388.73	450.73	458.44	306.87	37.02	0.00	0.00	0.00	0.00	88.26	209.55	2266.62