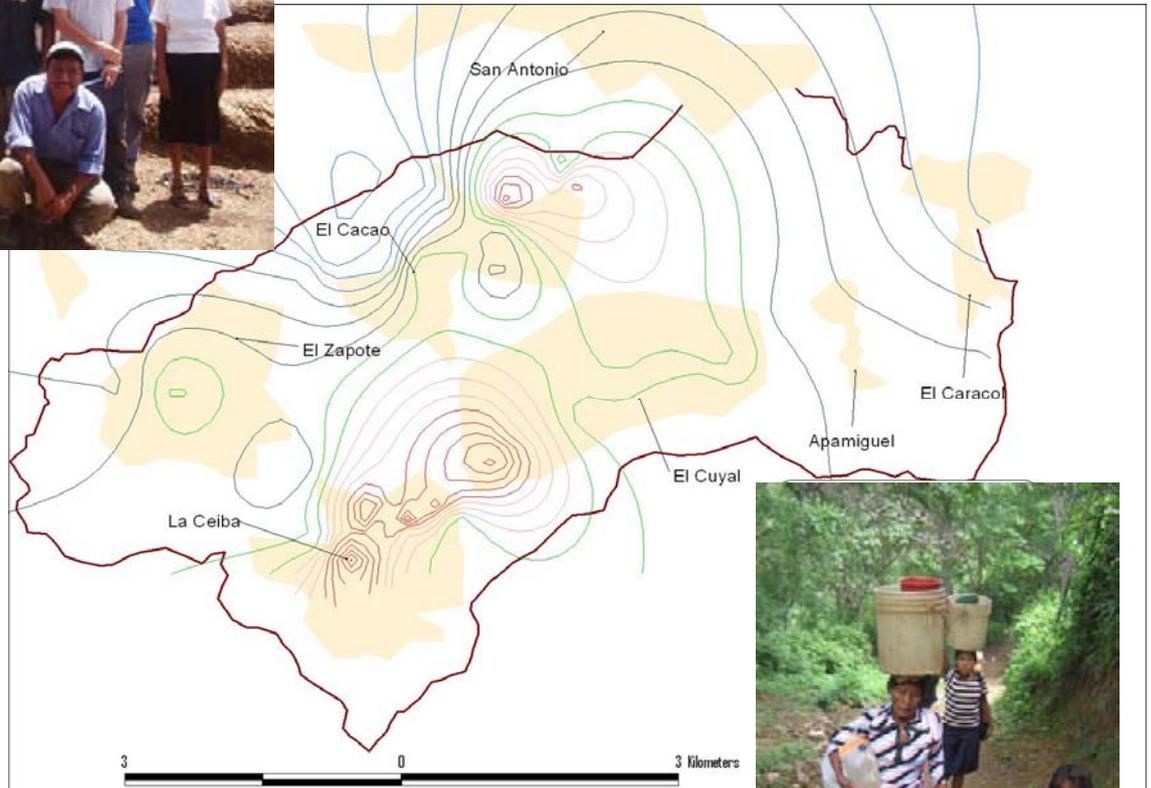




**CARACTERIZACIÓN Y EVALUACIÓN  
HIDROGEOLÓGICA DE LOS MANANTIALES Y  
ACUEDUCTOS RURALES QUE ABASTECEN A  
SIETE COMUNIDADES DEL MUNICIPIO DE  
MOZONTE  
DEPARTAMENTO DE NUEVA SEGOVIA  
NICARAGUA**

**INFORME FINAL**



## Índice:

<b>1.- INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
1.1. Presentación	1
1.2. Situación geográfica.	2
1.3. Contexto climático y vegetación	3
1.4. Contexto socio-económico	8
1.5. Instrumentación Y Metodología	9
1.6. Antecedentes	11
<b>2.- GEOLOGÍA.</b>	<b>13</b>
2.1. Marco Geológico	13
2.2. Estratigrafía	15
2.3. Tectónica	19
2.4. Geomorfología	22
<b>3.- HIDROLOGÍA E HIDROGEOLOGÍA.</b>	<b>24</b>
3.1. Hidrología	24
3.2. Hidrogeología	27
<b>4.- INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA.</b>	<b>29</b>
<b>5.- ORGANIZACIÓN Y SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO.</b>	<b>32</b>
<b>6.- PIEZOMETRÍA.</b>	<b>38</b>
<b>7.- HIDROQUÍMICA Y CALIDAD DE LAS AGUAS.</b>	<b>41</b>
<b>8.- BALANCE HÍDRICO</b>	<b>49</b>
<b>9.- CONCLUSIONES.</b>	<b>54</b>
<b>10.- RECOMENDACIONES</b>	<b>56</b>
<b>11.- AGRADECIMIENTOS</b>	<b>61</b>
<b>12.- BIBLIOGRAFÍA.</b>	<b>62</b>
<b>ANEXOS</b>	
1. INFORME COMPLETO	
2. INFORME PARA LAS COMUNIDADES	
3. INFORMES MENSUALES	
4. METEOROLOGÍA	
5. INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA	
6. TRABAJO CAPS	
7. PIEZOMETRÍA	
8. QUÍMICA DE AGUAS	
9. BALANCE HÍDRICO	
10. RECOMENDACIONES-FORO DEL AGUA	
11. MAPAS – CAPAS SIG	

# 1. Introducción

## 1.1.-PRESENTACIÓN

El proyecto “Caracterización y Evaluación Hidrogeológica de 7 comunidades del Municipio de Mosonte, Departamento de Nueva Segovia, Nicaragua” se ha realizado dentro del convenio de colaboración entre la ONG Geólogos del Mundo (España) y la institución Pueblo Indígena de Mosonte (Nicaragua), con fondos de la Fundación Eroski. En este proyecto han colaborado además miembros de las comunidades del Municipio de Mosonte. Con este estudio se pretende recopilar y analizar toda la información disponible relativa a la geología y al funcionamiento y calidad de las aguas subterráneas de la zona más seca del Municipio con el objetivo de proponer la mejor solución posible para el abastecimiento en agua potable de estas comunidades tan necesitadas.

El proyecto comenzó en Mayo de 2006 y tuvo una duración de 6 meses. Fue realizado por el equipo técnico de Geólogos del Mundo formado por Diego Vázquez-Prada Baillet (Técnico Geólogo), Rubén González Campesino (Voluntario Geólogo) y Sagrario Rodríguez (Voluntaria) y con los miembros de Pueblo Indígena de Mosonte, en especial con Juan José López López y Víctor Castillo



Sagrario Rodríguez



Juan José López



Diego Vázquez-Prada



Rubén González



Víctor Castillo

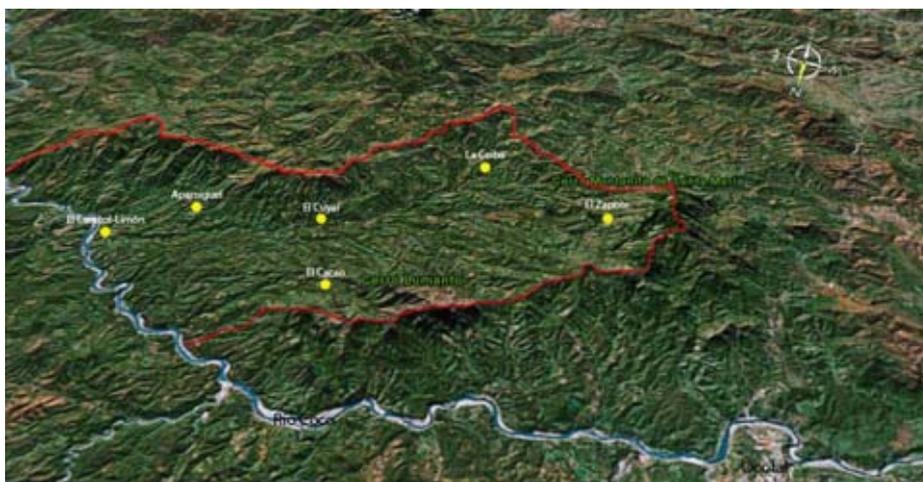
## 1.2.-SITUACIÓN GEOGRÁFICA

La zona de estudio abarca un total de siete comunidades rurales pertenecientes al Municipio de Mosonte, localizado en el sector centro-occidental del Departamento de Nueva Segovia, Nicaragua. (Ver Fig.1.1.1)

Mosonte comprende una extensión territorial de de 242 Km<sup>2</sup> limitando al Norte con la frontera con Honduras; al Este con los Municipios de San Fernando, Ciudad Antigua y Telpaneca; al Sur con el Municipio de Tototalpa y Telpaneca; y al Oeste con el Municipio de Ocotal y Dipilto.

Concretamente, estas Comunidades se ubican en la zona Sur de dicho Municipio, a 5,9 Km. de la ciudad de Ocotal, cabecera departamental de Nueva Segovia. Se ubican dentro de la hoja topográfica 2956-IV, entre un cuadrángulo aproximado delimitado por las coordenadas geográficas UTM Easting 566460-562780 y Northing 1500585-1503105 y se denominan; El Zapote, El Cacao, El Cuyal, Apamiguel, El Caracol, El Limón y La Ceiba, comunidad situada más al Sur y limitrofe con el municipio de Tototalpa.

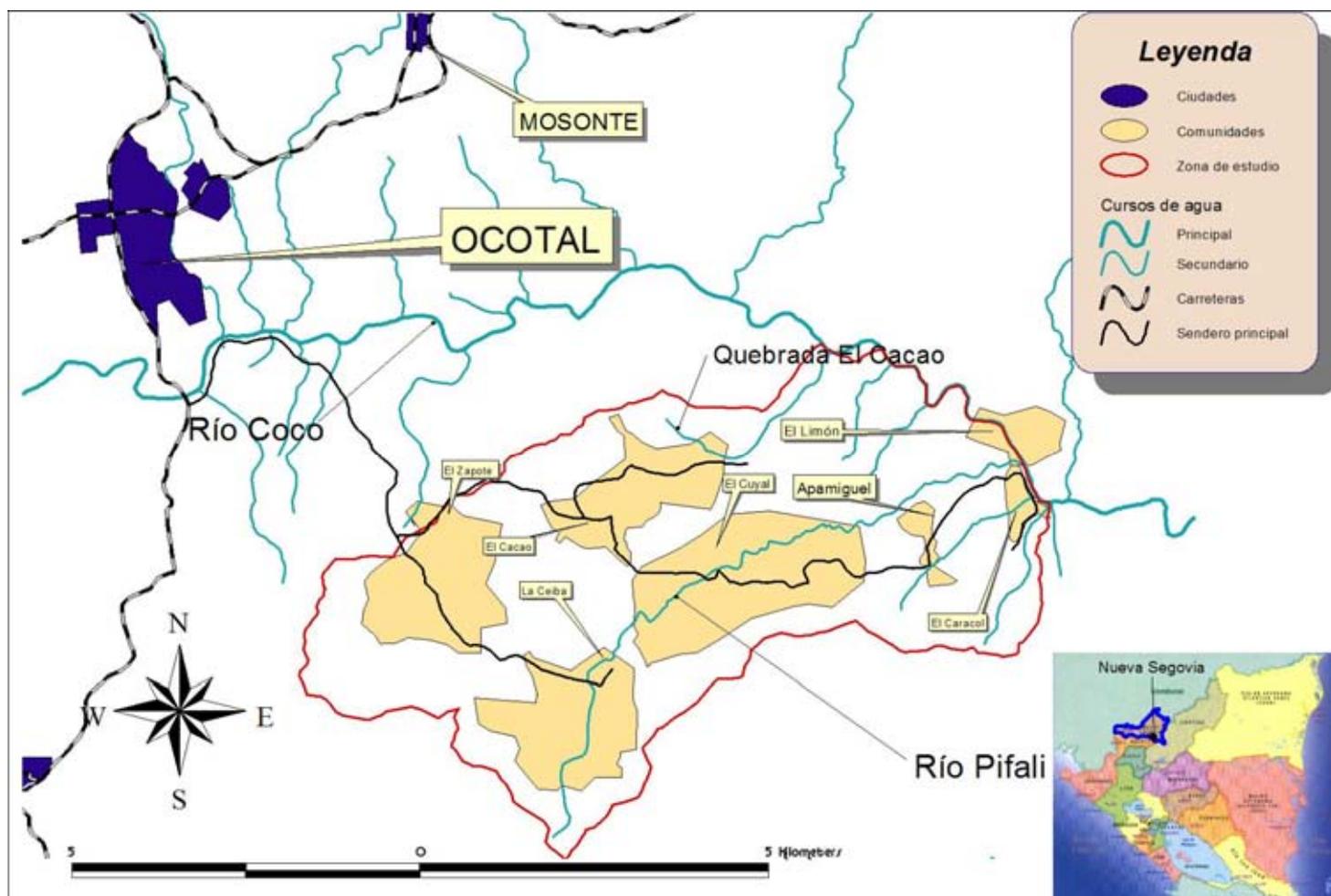
Estas poblaciones rurales se concentran en los alrededores de la Microcuenca del Pifali-Cacao, con una extensión total de 40,858 Km<sup>2</sup>, representando aproximadamente un 17 % del total territorial de Mosonte.



**Mapa 1.2.1 Mapa satelital (NASA) con la ubicación de la zona de estudio y las comunidades.**

Mención especial merece la Comunidad de Los Arados, también incluida dentro del proyecto. Ubicada en el sector Norte del casco urbano de Mosonte a 1,4 Km. y regada por el Río Mosonte tiene unos recursos y

características hídricas muy superiores al resto de las comunidades analizadas.



Mapa 1.2.2. Situación geográfica de la zona y comunidades del estudio

### 1.3.-CONTEXTO CLIMÁTICO Y VEGETACIÓN

#### 1.3.1. CLIMATOLOGÍA

Debido a la localización geográfica de Nicaragua, comprendida en el Trópico de Cáncer, cabe destacar la existencia de sólo dos estaciones anuales muy marcadas y de similar duración: una estación seca, comprendida entre los meses de Noviembre-Abril, y otra lluviosa que abarca los 6 meses restantes.

El Municipio de Mosonte se encuentra en la zona del país donde se registran los menores valores de precipitaciones. Debido a la extensión y a lo irregular de la geomorfología mosonteña, pueden distinguirse diversas zonas o áreas climáticas en función de la elevación, situación y dirección de las cadenas montañosas, de la cobertura vegetal en cuanto a tipo y cantidad, insolación recibida, valores de precipitación, vientos predominantes, etc.

De este modo, el clima de la zona Sur del Municipio objeto del estudio fue definido por Koppen como clima tropical de Sábana con un período anual muy seco, en el que las precipitaciones son infrecuentes y de muy poca intensidad.

El Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER) no ha ubicado por el momento ninguna estación meteorológica en el Municipio de Mosonte, por lo que los datos obtenidos han sido recogidos de estaciones meteorológicas colindantes (ver Tabla 1.2.1, datos completos en el Anexo 4)

Estación	Código	Cota (m.s.n.m.)	Municipio	Tipo
Ocotal	45017	612	Ocotal	HMP
Hacienda Palmira	45014	590	Totogalpa	PV
Telpaneca	45017	500	Telpaneca	PV
Sta. Leonor	45030	490	Telpaneca	PV
San Fernando	45016	725	San Fernando	PV
Los Planes	45039	1100	Dipilto	PV

**Tabla 1.3.1:** Estaciones Meteorológicas cercanas a Mosonte según nomenclatura de INETER. HMP= Estación Hidro-Meteorológica Principal; PV= Pluviométrica.

La estación meteorológica más completa es la de Ocotal donde se vienen registrando valores diarios de Precipitación, Temperatura y Evaporación desde 1958. En las demás estaciones, sólo se han recogido valores de Precipitación, por lo que su uso en este trabajo es únicamente orientativo.

Según los datos de la estación de Ocotal, la Precipitación Media Anual es de 846,2 mm, con un máximo de 1717,1 mm registrado en 1998, coincidente con el devastador huracán Mitch, y un mínimo de 314,8mm en 1972. Históricamente, el mes de mayores valores pluviométricos es Octubre, con una media de 776.2mm y los mínimos están comprendidos entre los meses de Diciembre-Abril, con valores insignificantes, muy próximos a cero. Como se puede observar en la Figura 1.3.1 la tendencia general de la zona es la disminución del total de precipitaciones anuales.

Debido a su altitud sobre el nivel del mar, la Temperatura Media Anual es relativamente moderada, en comparación con otras zonas del país, con un valor de 23,5°C. Los valores máximos suelen acontecer en el mes de Mayo y los mínimos en Enero, con valores medios de 28,8°C y 15,7°C, respectivamente. (Ver Fig.1.3.2)

Respecto a la evaporación, ésta suele ser bastante elevada debido a la fuerte insolación así como a la cada vez más escasa cobertura vegetal, víctima de una fuerte actividad maderera en los últimos años. El valor de la Evaporación Media Anual es de 2129,4 mm, con valores máximos medios de 3030,1 y mínimos de 88 mm. (Ver Fig.1.3.3).

Resaltamos aquí la existencia, más o menos frecuente, de fenómenos climatológicos de carácter extraordinario (huracanes, ciclones, tormentas), como el mencionado huracán Mitch, con efectos potencialmente devastadores. Como ejemplo, el 30 de Octubre de 1998, la pluviometría recogida en Ocotal se equipara a casi el total de Precipitaciones Medias de los tres meses más lluviosos de un año "normal".

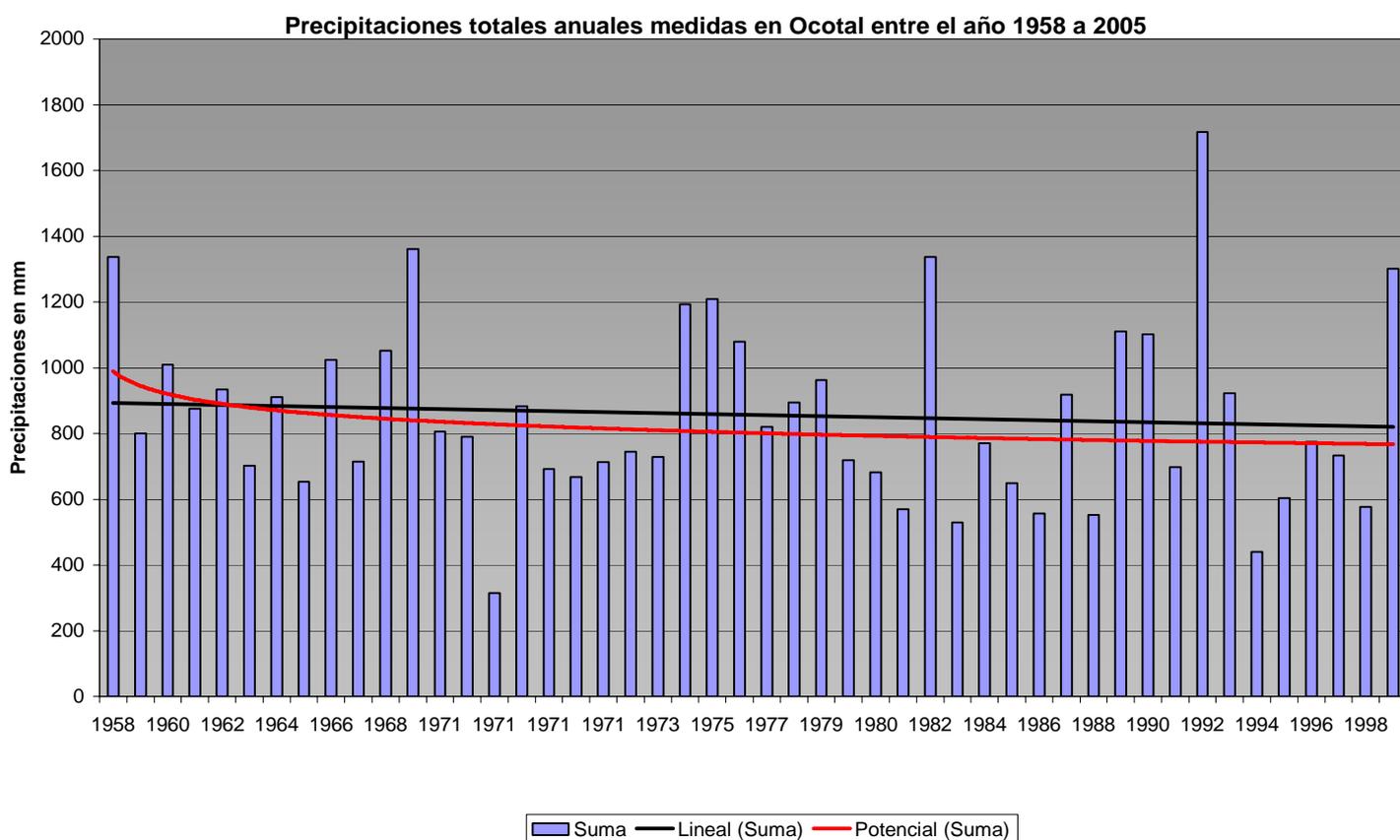


Figura 1.3.1. Gráfico de Precipitación Media Anual

### Media anual de temperaturas medidas en Ocotal

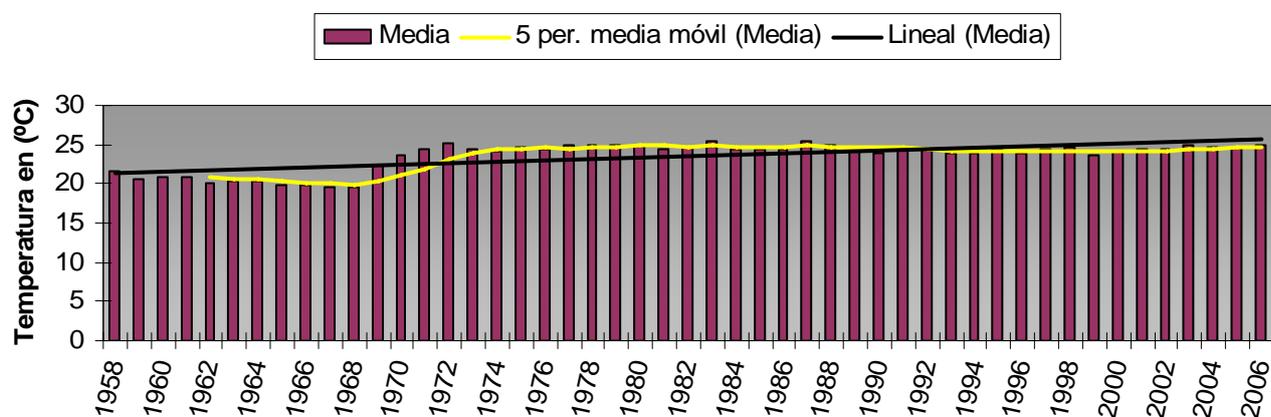


Figura 1.3.2. Gráfico de Temperatura Media Anual

Evaporación total medida en la estación de Ocotal de 1959 a 2004

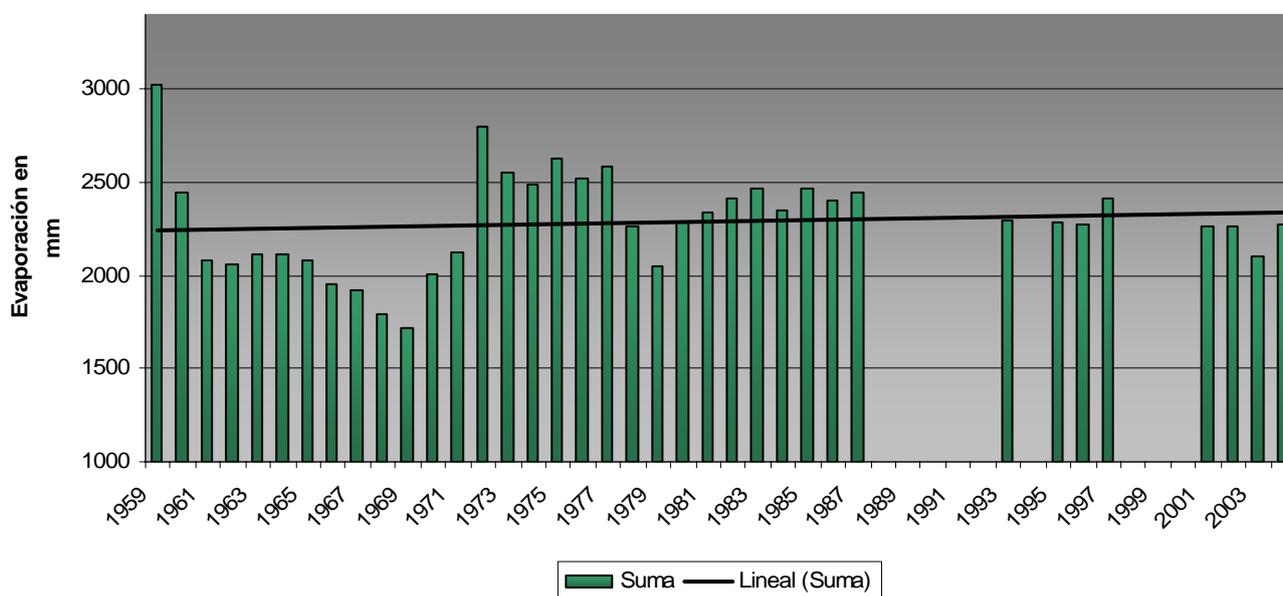


Figura 1.3.2. Gráfico de Evaporación Media Anual

### 1.3.2. VEGETACIÓN

Nicaragua tiene reconocidas actualmente 72 reservas naturales, una de ellas localizada en el municipio de Mosonte, la reserva de Dipilto-Jalapa.

La vegetación es muy variable. Mientras que las llanuras de los alrededores del Río Coco, Mosonte y Macuelizo y de las afueras de la ciudad de Ocotal son muy secas y con vegetación escasa, las faldas de macizo Dipilto existen restos de montes blancos de pinos. Desgraciadamente, la deforestación continúa catastróficamente por la explotación de madera intensiva y por los incendios, muy abundantes en el tiempo seco.

Los restos de los bosques primarios no destruidos, incluidos a fauna escasa, se encuentran bien preservados en el área más alta de Cordillera de Dipilto, al lado de la frontera hondureña, todavía minada de tiempo de guerra.

Debido a la intensa deforestación de la zona, el suelo se encuentra totalmente desprotegido ante los agentes erosivos como las precipitaciones

fuertes y abundantes. Esto conlleva una menor infiltración del agua de lluvia y por tanto un descenso del nivel freático de los acuíferos de la zona. Además, el descenso de la cobertura vegetal provoca la pérdida de cohesión de los suelos, siendo éstos mucho más susceptibles de sufrir procesos gravitacionales.

#### 1.4.-CONTEXTO SOCIO-ECONÓMICO

Mosonte, según datos de Naciones Unidas, está considerado como el Municipio en mayor estado de pobreza de toda Nicaragua, que a su vez ocupa el segundo lugar dentro del continente americano (William Grigsby-2004).

Según el mapa de pobreza elaborado en 1995 por el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC) el Municipio de Mosonte presenta un nivel de pobreza Severa, con un porcentaje de población empobrecida del 81.2% y un 41.9% viviendo en extrema pobreza. Dentro del Municipio, las comunidades beneficiarias de este proyecto, a excepción de Los Arados, están catalogadas como las comunidades más pobres y con menos recursos.

Las casas son en su gran mayoría de abobe, estando las paredes en contadas ocasiones repelladas con cal. Esta carencia facilita la anidación en las paredes de numerosos insectos y parásitos portadores de peligrosas enfermedades como el mal de Chagas. Los techos suelen ser de zinc o de hoja de palma. En cada casa viven, de media, unas dos familias, siendo la media familiar de unas seis personas aproximadamente.

El principal recurso económico de la zona es la agricultura de subsistencia, cuyos niveles de producción disminuyen cada año debido a la poca retención de agua en las tierras, a la poca cantidad de suelo aprovechable, así como a la fuerte erosión que éstos experimentan. La tierra se cultiva de forma familiar siendo los cultivos más frecuentes el frijol y el maíz y en menor medida maicillo, sorgo y hortalizas. Los cultivos

sembrados son para el consumo familiar, el consumo animal, y la poca cantidad que sobra se vende o se guarda la semilla para futuras siembras.

Mención especial merece la comunidad de Apamiguel, donde se está diversificando el cultivo que se adaptan al clima seco como son la piña y la pitahaya. La comunidad de los Arados está situada en una zona con suficiente recurso hídrico como para tener riego. En esta zona los cultivos son más productivos y diversificados.

La ganadería tiene un carácter secundario, y se encuentra disperso en pequeños hatos destinados al consumo interno, crianza de animales domésticos, aves de corral y cerdos.

Otros recursos económicos de las comunidades es la extracción de cargas de leña, acción que aumenta considerablemente los problemas erosivos de la zona y contribuye a agravar la problemática ambiental. Además, en épocas de corte del café, algunos miembros de las familias, principalmente los hombres (padres e hijos), migran a trabajar a las haciendas cafetaleras.

Las comunidades poseen escasas infraestructuras y servicios. Disponen de escuelas de educación primaria, algunas de escuela secundaria y puestos de salud en todas ellas. Ninguna, excepto los Arados, cuenta con electricidad, agua en casa, ni servicio de transporte hacia y entre las comunidades.

## **1.5.-METODOLOGÍA E INSTRUMENTACIÓN**

El presente trabajo se ha realizado en varias fases o etapas de diversa índole y duración.

De este modo, en primer lugar se llevo a cabo una visualización general de la zona de estudio, identificando la problemática hídrica de la misma. Para ello, se recopiló toda la información disponible de la zona (ver bibliografía) y se llevaron a cabo numerosas reuniones con instituciones tanto estatales, (INETER, CIRA, Alcaldías, ENACAL-FISE, etc.), como

internacionales (ADRA, Ayuda en Acción, SNV, COSUDE...) y demás organizaciones relacionadas con el sector agua en Nicaragua. Esta fase se completó con el análisis visual de las hojas geológicas y topográficas 2956-IV Ocotal, foto aérea y satélite de la zona, para lo cual se utilizó un Estereoscopio modelo "Geoscope".

Posteriormente se procedió a la elaboración del Inventario de puntos de agua existentes en las Comunidades. En esta fase, mediante un GPS "Silva Multinavegador" se ubicaron los puntos de agua (pozos, manantiales, quebradas, ojos de agua, etc....) con coordenadas geográficas UTM y en el sistema de georeferenciación NAD-27 usado en los mapas de INETER.

Se tomaron valores de Temperatura del agua, en vista de hallar supuestas anomalías térmicas, con Termómetro Electrónico, valores de pH y conductividad con pHímetro y conductímetro "Hanna modelos H198107 y H198303", respectivamente. Además, se procedió a la medición de la profundidad y a la determinación del nivel freático mediante una sonda eléctrica de 100 m. en aquellos puntos que así lo permitían.

Durante este inventario se relleno de manera sistemática una ficha de información de cada punto, con la estimable ayuda de las personas de los Comités de Agua Potable y Saneamiento de cada Comunidad que nos acompañaron en cada salida de campo (Ver Anexo 5). Esta ficha incluye información tanto técnica como social y de saneamiento. Finalmente, mencionar el material básico de trabajo de campo del Geólogo, martillo modelo "Estwing", brújula "Konus", lupa y Ácido Clorhídrico.

A continuación, se ejecutaron diversas pruebas y análisis con el fin de caracterizar mejor la distribución del agua por el subsuelo así como conocer su calidad, siempre en términos de potabilidad, de la misma. Destacan los análisis físico-químicos y bacteriológicos, contrastados en aquellos puntos que por su ubicación o utilización se consideraron más favorables, permitieron conocer la calidad del agua y el contenido en elementos nocivos para la salud.

Finalmente, la última fase del estudio consistió en la elaboración de todos los datos obtenidos en las fases anteriores, creación y modificación de

mapas con los sistemas informáticos ArcView 3.2 y Surfer 8.0, desarrollo de conclusiones y recomendaciones, la obtención del presente documento y su exposición.

Paralelamente al estudio técnico se llevó a cabo una serie de capacitaciones (formaciones) y acompañamientos para fortalecer organizaciones locales que trabajan con el agua.

La más importante de ellas surgió de la necesidad de organización de los Comités de Agua Potable y Saneamiento de cada comunidad debido a las carencias existentes en este campo tan importante para la sostenibilidad de proyectos de agua. Por lo tanto, y observando la gran dificultad que dichas Comunidades tendrían para sostener cualquier proyecto hídrico, se efectuó una campaña de legalización y fortalecimiento de los CAPS de cada Comunidad, en base a lo establecido en el Artículo de La Ley de Participación Ciudadana, que permite inscribirlos como Organizaciones Sectoriales, con las ventajas que conlleva.

También se realizaron dos talleres de introducción al manejo de SIG y del GPS para instituciones locales (AMUNSE, UNAG, Pueblo Indígena de Mosonte, Pueblo Indígena de Totogalpa, SNV).

## 1.6.- ANTECEDENTES

La zona de estudio no ha sido estudiado en detalle antes por ninguna institución, universidad o empresa, pero si que existen varios estudios a nivel municipal, departamental y regional que han servido como base de esta investigación. A continuación están referidos y comentados dichos trabajos:

-El **Servicio Geológico Checo (SGC)** junto con el Instituto Nacional de Estudios Territoriales (INETER) realizó en el año 2004 un estudio bastante completo sobre la geología de la zona norte de Somoto y Ocotal, basado principalmente en riesgos naturales. Este estudio ha sido una buena guía para entender la geología de la zona.

- La **Agencia de Desarrollo Económico Local de Nueva Segovia (ADEL-NS)** realizó en el 2001 un trabajo sobre los recursos hídricos del Municipio de Mosonte enfocado principalmente a la producción agrícola. En este estudio hay mucha información socio-económica, edáfica e hidrográfica, pero esta más centrado en la zona Norte de Mosonte y menos en la zona seca del sur.

-**El Instituto Nacional de Estudios Territoriales (INETER)** tiene archivada importante información sobre meteorología, geología, hidrografía e hidrogeología, gran parte de ella en formato SIG, que ha sido incluida en este estudio. En la parte Hidrogeológica cabe mencionar el Estudio Hidrogeológico de la Región Central de Nicaragua realizado con COSUDE<sup>1</sup>. Igualmente importante han sido los mapas topográficos y geológicos y las fotos áreas de la zona comprada a INETER.

-**Informe de proyectos.** Dentro de este apartado incluimos los informes finales que resultaron de trabajos realizados por la zona de estudio de las siguientes organizaciones o instituciones: ACSUR<sup>2</sup>, ADRA<sup>3</sup>, ENACAL<sup>4</sup>-COSUDE y Ayuda en Acción (mapas del mini-acueducto de Los Arados, Mosonte),

---

<sup>1</sup> Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación

<sup>2</sup> Asociación de Cooperación con países del SUR

<sup>3</sup> Adventist Development and Relief Agency

<sup>4</sup> Empresa Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados

## 2. Geología

### 2.1.-MARCO GEOLÓGICO

Según Glen Hodgson (1976), las características geológicas de Nicaragua hacen que esta puede dividirse en cinco provincias geológicas distintas:

- Provincia del Pacífico
- Provincia de la Depresión
- Provincia Central
- Provincia del Norte; donde se ubica el área de trabajo
- Provincia de los Llanos de la Costa Atlántica

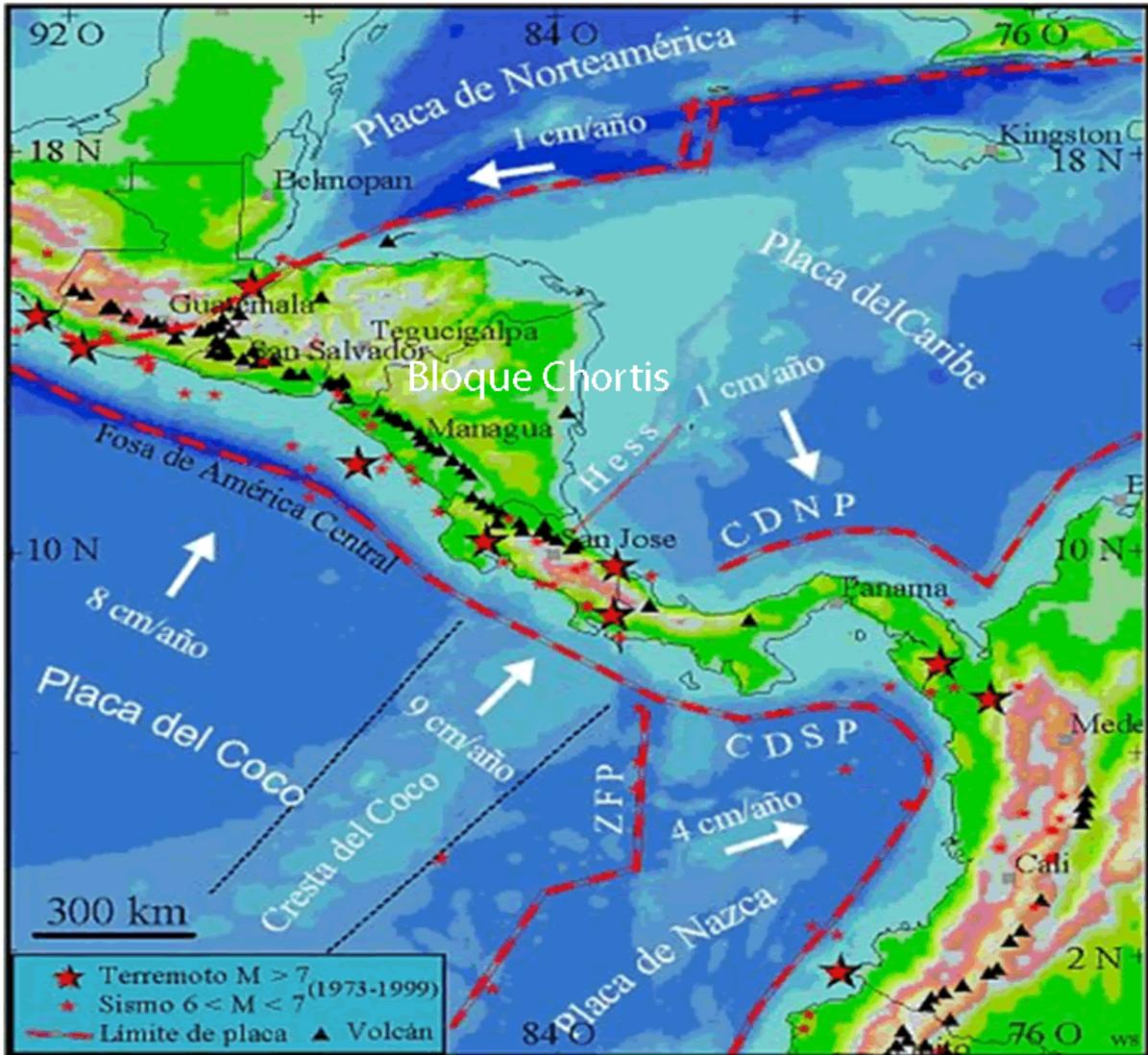
Geográficamente la Provincia del Norte abarca los Departamentos de Nueva Segovia, Madriz, área norte del Dept. de Estelí y las áreas Central y Norte del Dept. de Jinotega y NW de RAAN.

Geológicamente, esta zona comprende la Plataforma Paleozoica, la Mesozoica, la Cuenca del río Bocay y áreas norte de los terrenos Altos del Interior del País. (Garayar 1977).

Su característica más señalable es que litológicamente se encuentra formado por rocas metamórficas de bajo grado (mármol, cuarcita, filitas...) consideradas como las más antiguas de toda Nicaragua.

Dicha Provincia Geológica se encuentra dentro de la Microplaca denominada "Bloque Chortis", limitada al Norte por la Falla de Motagua en Guatemala. Presenta un basamento, litología y estilo tectónico distinto al "Bloque Maya", situado al Norte de la mencionada falla, y al "Bloque Chorotega" (Costa Rica-Panamá) con el que limita al Sur. Posiblemente, este último límite venga determinado por la sutura que forma el escarpe de Sta. Elana-Hess, mientras que el límite oriental aún esta indefinido (Rogers, 1997). Por último, el límite occidental viene determinado por la subducción

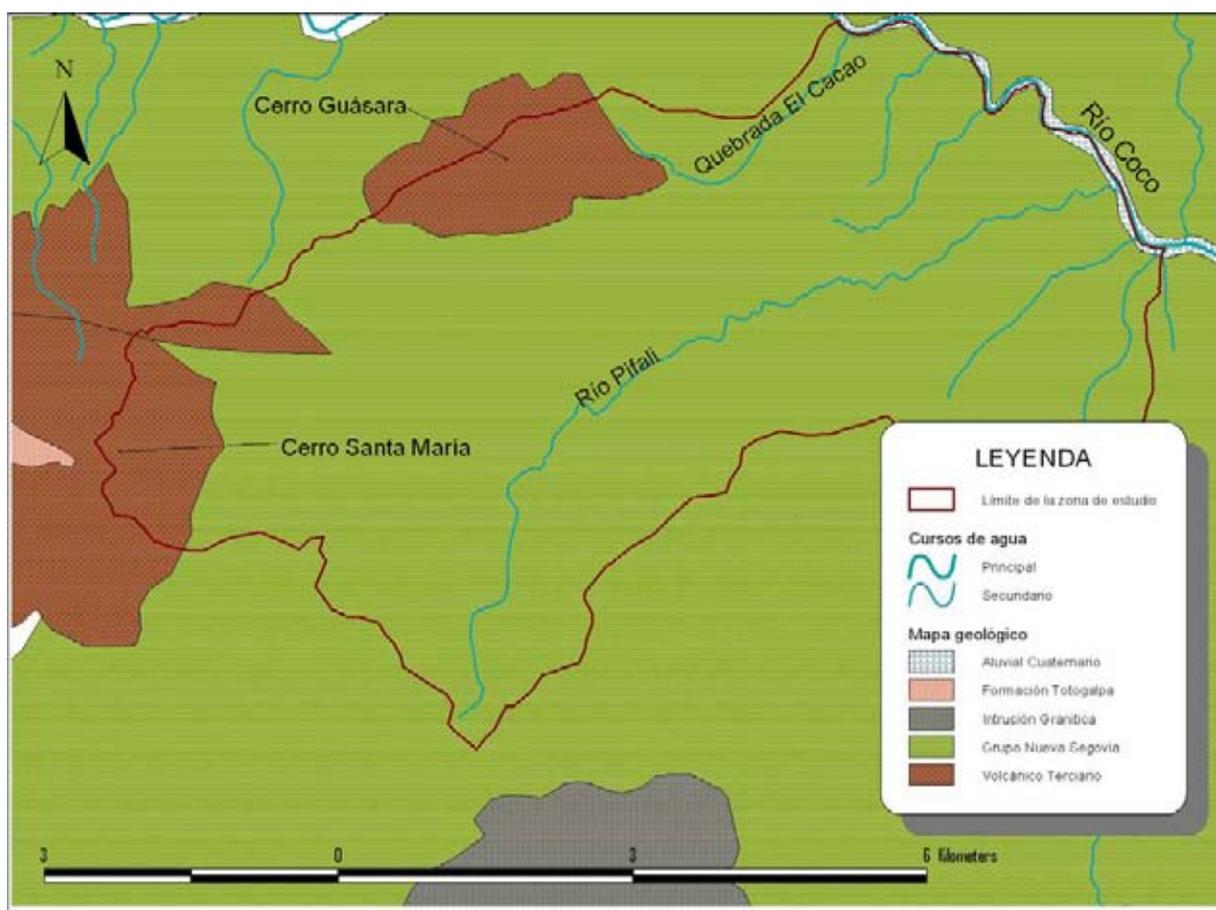
de la Placa Cocos bajo la de Norteamérica y del Caribe, en la denominada Fosa Mesoamericana, conformando el actual arco volcánico de Centroamérica. ( Ver fig.2.1)



Mapa. 2.1.1. Mapa Tectónico Regional de Centroamérica. Modificado de “Caracterización Geográfica del Territorio Nacional”, Ineter, 2006,

## 2.2.-ESTRATIGRAFÍA

La estratigrafía de la zona sur de Mosonte, según el mapa geológico publicado por INETER, esta compuesta por cinco unidades que en orden temporal son: El Grupo Nueva Segovia (con mucho el más abundante de la zona), las Intrusiones Graníticas, el Grupo Totogalpa, el Grupo Matagalpa y la sedimentación Cuaternaria.



Mapa 2.2.2.- Mapa geológico de la zona sur de Mosonte, modificado de INETER.

### Grupo Nueva Segovia:

Es la unidad que conforma el zócalo de toda Centroamérica (recibe distintos nombres según la zona, como por ejemplo Grupo Honduras en Honduras). Está compuesta por rocas metamórficas paleozoicas, principalmente filitas intercaladas por cuarcitas, que aparecen en toda la zona de estudio (más del 90% de la zona aflora estas rocas). El metamorfismo alcanzado es de bajo grado, correspondiente al grado de

“esquistos verdes” en la facies albita + actinolita + clorita (SGC, 2005). Estas rocas metamórficas tienen un basamento cristalino de alto grado de metamorfismo que no aflora en Nicaragua (Hodgson, G, 2000).

El estudio de la zona de Ocotal de SGC (2005) diferencia este Grupo en dos unidades:

La serie monótona: Compuesta principalmente por filitas, mica-esquistos intercalados por cuarcitas y de forma más esporádica por conglomerados, esquistos calcáreos, esquistos grafitosos.

Esta serie es la que se encuentra en la zona de estudio representada principalmente por Filitas (ver fig 2.2.1) de color gris-verdoso-azulado con brillo plateado producido por la abundante presencia de sericita



(moscovita). Cuando esta alterada esta roca presenta un típico color marrón-rojizo debido a presencia de minerales de Hierro. Presentan una fina foliación (milimétrica) intercaladas por multitud de vetas de cuarzo de espesor variable (milimétrico a decimétrico) con morfología lenticular (presencia de “boudinage”, ver fig. 2.2.1). Estos materiales están frecuentemente intercalados con capas de cuarcita de espesores variables (de decimétrico a varios metros) también con morfologías lenticulares.



**Foto. 2.2.1. Afloramiento típico de la serie monótona del Grupo Nueva Segovia. Arriba, detalle de un “lentejón” de cuarzo. Abajo, presencia de “boudinage” dentro de la foliación centimétrica de las filitas. Entrada desde la Panamericana a las comunidades**

Toda la serie aparece muy fracturada con dos familias principales de diaclasas ambas subverticales, de dirección NO-SE y NE-SO. La presencia de la facturación y de las morfologías lenticulares es debida a la orogenia Larámide explicada en el apartado 2.3.

La serie variada: En el escenario de deposición de esta serie influyó la presencia de volcanismo de tipo ácido en el momento de sedimentación. Por lo que representa un típico complejo volcánico-sedimentario en el que las litologías son muy heterogéneas, constituidas por rocas meta-volcánicas de tobas ácidas y en menor medida, de tobas básicas, esquistos calcáreos y mármol (SGC, 2005). Esta serie no aflora en la zona sur de Mosonte.

### **Intrusiones Graníticas:**

Según el mapa geológico INETER, afloran en dos lugares de la zona de estudio. La más ampliamente representada esta en Los Arados donde prácticamente toda la comunidad y alrededores esta sobre materiales graníticos (excepto el P-027 en el que se encontraron esquistos del Grupo Nueva Segovia). El otro afloramiento está descrito como ser el responsable del relieve del cerro Guásara. En este estudio no se ha encontrado ningún afloramiento de estos materiales en la zona sur de Mosonte, ni siquiera en el susodicho cerro.



Las intrusiones graníticas ocurridas durante el Mesozoico en la franja norte del país han sido agrupadas por Hodgson (2000) con el nombre de Batolito de Dipilto. Los análisis hechos muestran edades de entre 120 a 80 millones de años, situando estas intrusiones en el periodo Cretácico, previas a la orogénesis Larámide. Se trata de un granito de grano medio a grueso compuesto principalmente por cuarzo, feldespato potásico, biotita y plagioclasa.



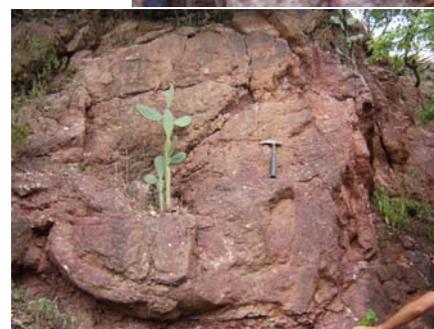
**Foto. 2.3.2. Granitos dentro del cauce del río Mosonte. Arriba, detalle de granito. Los Arados**

Los batolitos graníticos se encuentran siempre intruyendo los materiales del Grupo Nueva Segovia. Según el estudio de SGC (2005) la mayoría de cimas de la Cordillera de Dipilto-Jalapa que según el mapa geológico de INETER afloran granitos, en realidad afloran los esquistos de Nueva Segovia. Esta observación invierte la lógica de zonas montañosas, en

la que los materiales menos meteorizables (es decir, más duros, como el granito) crean los mayores relieve y los más “blandos” (como los esquistos) crean relieves más suaves.

### Grupo Totogalpa:

Sobre el Grupo Nueva Segovia afloran discordantemente unos sedimentos con un característico color rojo, de clastos más bien gruesos, como conglomerados y areniscas que se conocen como Formación Totogalpa. Estos depósitos bien consolidados son probablemente de edad Oligoceno-Mioceno (Williams y McBirney, 1969). No se ha encontrado ningún afloramiento de estas rocas en la zona de estudio, pero sí en las inmediatas proximidades, como sobre la carretera Panamericana.



**Foto. 2.2.3. Afloramiento y detalle de las areniscas rojas de la Formación Totogalpa. Carretera Panamericana**

Se trata de bancos de conglomerados color rojo con intercalaciones de areniscas del mismo y de grano grueso a fino, con espesor de centímetros hasta varios metros. La forma y composición de los fragmentos que forman estos conglomerados son subangulares, de cuarzo blanco y su origen es metamórfico, de filitas sericíticas meteorizadas, y clastos subordinadas de rocas volcánicas, sobre todo andesitas (SGC, 2005)

### Rocas Volcánicas Terciarias:

En la zona de estudio de la parte sur de Mosonte se han encontrado dos afloramientos de materiales distintos al Grupo Nueva Segovia. Se trata de rocas blancas muy compactas que forman los mayores relieves de la zona como son el Cerro Guásara y El



**Fig. 2.2.4. Afloramiento y detalle de Tobas ácidas Terciarias en el Cerro Guásara.**

Santa María-Picacho. El cerro Guásara estaba clasificado en el mapa geológico publicado por INETER como granito y el cerro Santa María como perteneciente al Grupo Matagalpa (volcánico). SGC (2005) identificaron estos afloramientos como pertenecientes al Grupo Volcánico de Somoto.

Estos cerros están compuestos por una roca volcánica blanca homogénea de grano muy fino con la presencia ocasional de cristales de biotita y muy silicificada (lo que la hace muy resistente a la erosión), que hemos clasificado con el término general de toba ácida. En la zona cercana al cerro Santa María, cerca de El Zapote, se encuentran numerosos bolos de basalto, seguramente provenientes del cerro.

Estos afloramientos podrían pertenecer tanto el Grupo Matagalpa como el Grupo Somoto, y dado que este estudio no dispone de las herramientas necesarias para clasificarlo le hemos al conjunto de estas rocas el nombre general de Rocas Volcánicas del Terciario.

### 2.3.-TECTÓNICA

El "Bloque Chortis", formado por materiales Mesozoicos y Cenozoicos, se sitúa discordantemente sobre un basamento paleozoico metamórfico de bajo grado.

Ha experimentado una rotación, traslación y compresión durante la colisión con el bloque Maya del Norte a finales del Cretácico-principios del Terciario (Hodgson, 2000). Esta posición tectónica del Norte de Nicaragua da a esta zona su topografía fracturada y agreste, controlada por fallas.

La zona de trabajo presenta gran cantidad de fallas detectadas por foto área y satélite. Siguiendo el esquema efectuado por el Servicio Geológico Checo (2002), en el Norte de Nueva Segovia pueden distinguirse cuatro grupos de familias de fallas según su orientación:

- *Familia de fallas con dirección NW-SE*

Se trata de fallas extensional muy abundantes y por lo general de largo recorrido. La "Falla Macuelizo-Aguas Calientes" tiene importancia regional y separa el plutón de Dipilto en el NE de las rocas metamórficas de la formación Nueva Segovia en el SW. A 9 Km. al W de Ocotal, en la intersección de esta falla con otra de dirección N-S surgen aguas termales, con Temperatura de 74°C.

En estas fallas suele observarse, incluso en verano, fuentes de agua. Suelen presentar movimiento horizontal desde cientos de metros hasta algunos kilómetros, como aquella que atraviesa la parte Norte de Ocotal y Barrio Sandino y pasa por el Cerro Guasara, situado dentro de la zona de estudio. Una falla importante dentro de esta familia, ubicada en la zona de estudio es la "Falla del Pífali". Esta falla coincide con el cauce de aguas más importante de la zona, el río Pífali, de caudal discontinuo. Es hacia esta falla donde discurren la totalidad de las precipitaciones discurridas en la zona de estudio por escorrentía superficial y parece que tiene también gran importancia para la escorrentía subterránea como se verá en los siguientes apartados.

Finalmente destacar la existencia de pequeñas fallas dentro del área estudiada de pequeño recorrido e importancia menor, muy difíciles de reconocer en el campo debido a la potente cobertera vegetal.

- *Familia de fallas con dirección NE-SW*

Fallas normales con desplazamientos de varios Km. y planos de falla casi verticales (ADEL-Carlos Valle, 2001). Destaca aquella que nace cerca del caserío Las Lajitas, pasa a un kilómetro del Norte de Ocotal y termina en las cercanías del casco urbano de Mosonte.

- *Familia de fallas con dirección N-S*

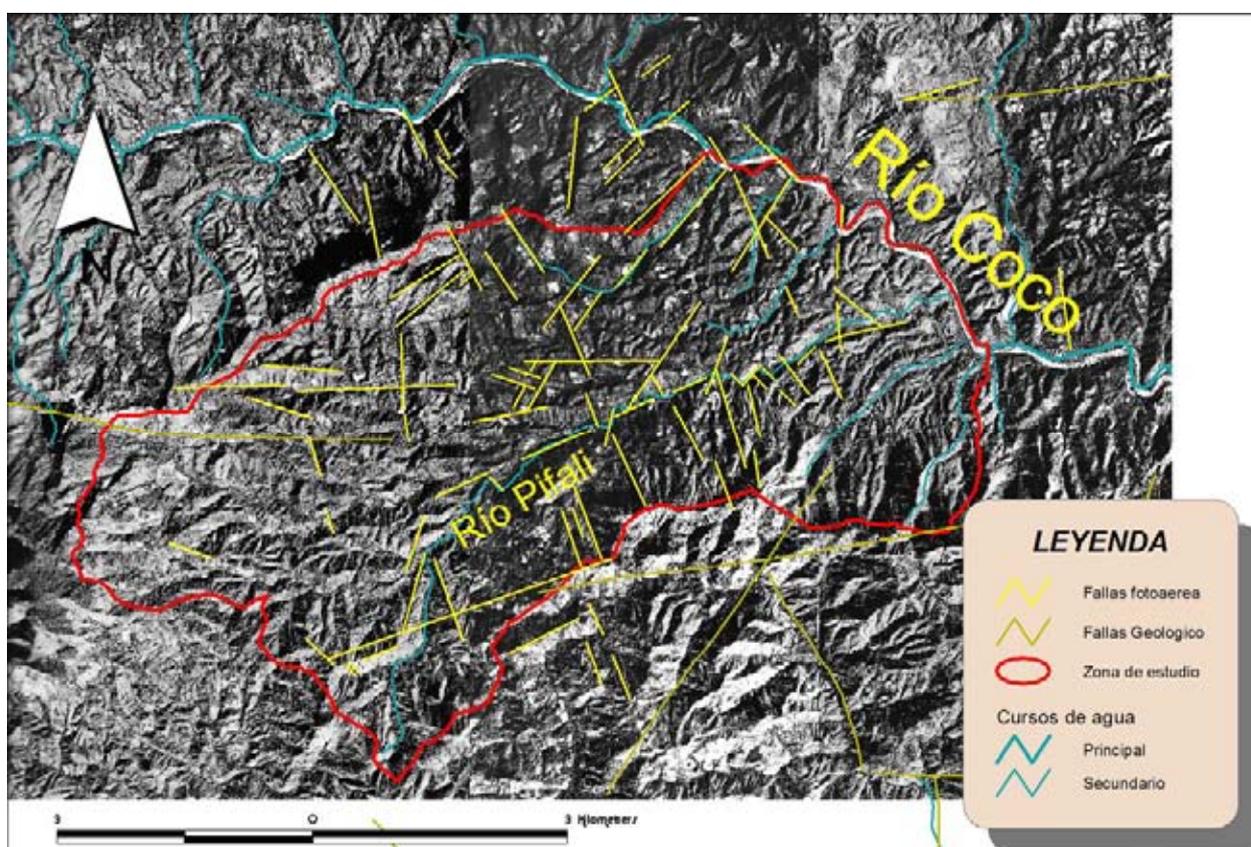
Estas fallas no aparecen en la zona de estudio y tampoco son muy abundantes en los alrededores. La mayoría son posteriores a las fallas de dirección NW-SE, y en algunas de ellas cercanas a Macuelizo pueden

presentar mineralizaciones de oro y plata. Destaca aquí la falla mencionada anteriormente y originaria de aguas termales.

- *Familia de fallas con dirección E-W*

Estas fallas, muy poco abundantes, son generalmente de escasa importancia y recorrido, ya que no separan unidades litoestratigráficas importantes. Además, su dirección E-W no viene tan claramente marcada como en los grupos anteriores, lo que dificulta su clasificación.

La presencia de fallas es una caracterización muy importante en Hidrogeología. Estas fracturas provocan la trituración de la roca aumentando así su permeabilidad (que es tan escasa en los materiales de la zona de estudio) y amplían el acuífero según la profundidad que alcanzan. Las fallas marcan, sobre todo en medio de baja permeabilidad, zonas preferentes de circulación del agua subterránea y pueden ser responsables de la aparición de manantiales.



Mapa 2.3.1. Mapa de fallas detectadas principalmente en foto aérea.

## 2.4.-GEOMORFOLOGÍA

Mosonte se encuentra ubicada dentro de la provincia fisiográfica Tierras altas del Interior, caracterizada por una antigua meseta volcánica Terciaria (Eoceno-Oligoceno) muy erosionada y fracturada, con elevaciones máximas de 1,500-2,000 metros sobre el nivel del mar y una extensión del 33% de la superficie territorial nicaragüense. En ella se levantan numerosas serranías, mesas, cumbres montañosas y valles inter-montañosos por donde drenan los principales ríos hacia el mar Caribe, al Océano Pacífico o a los lagos.

Las pendientes en el Municipio de Mosonte varían desde el 30% hasta más del 50%, con alturas topográficas situadas entre los 570 hasta los 2106 m.s.n.m., márgenes del Río Coco y Cerro Mogotón respectivamente, situado este último en el límite fronterizo con Honduras. Dentro del Municipio, podemos distinguir tres zonas geomorfológicas distintas, (Carlos Valle G., 2001 ):

- *Cordillera de Dipilto*; Situada en el sector Norte del Municipio y limitando con la frontera hondureña pertenece al Cretácico y formada por intrusiones graníticas, principalmente.

- *Valle Intramontano Ocotal-San Fernando*; En ella confluyen las menores elevaciones y formado por materiales Cuaternarios de tipo aluvial, eluvial y coluvial.

- *Zona Sur-Occidental de las Serranías de Madriz-Nueva Segovia*: Abarca la zona de estudio, con relieves muy escarpados y pendientes superiores al 50% de materiales metamórficos paleozoicos. Su punto más alto se sitúa en el Cerro La Montañita, con 1.335 m.s.n.m. Se ubica aquí la microcuenca del río Pífali, que recibe sus aguas de fuertes quebradas de pequeño recorrido y caudal intermitente. Este curso, de dirección W-E, desemboca sus aguas en el Río Coco, donde nos encontramos con el nivel más bajo de la zona (570 m.s.n.m.).

En todo el Municipio puede observarse una fuerte actuación de los agentes erosivos, que junto con la gran vulnerabilidad intrínseca de la zona

(bruscas pendientes, escasa potencia edáfica, numerosas torrenteras...) y agravado por la acción antrópica (tala descontrolada, quema de terreno para siembra, intensa agricultura) da lugar a numerosos procesos erosivos externos. Destacan los movimientos gravitacionales o de ladera, capaces de movilizar gran cantidad de material. Éstos fenómenos suelen acontecer en períodos de fuertes lluvias, casi siempre en litologías del tipo filítica-sericítica, materiales intensamente fracturados y con características geotécnicas susceptibles a dichos movimientos gravitacionales. Suelen originar grandes riesgos en sus inmediaciones, así como importantes cicatrices erosivas en las laderas de los cerros. (Ver Foto 2.4.3.).

Otro proceso geológico a destacar es la sedimentación que tiene lugar generalmente en los márgenes de cauces importantes, formando lechos de gravas y arenas, y ríos como el Coco y el Macuelizo, formaron además potentes terrazas fluviales.



**Fotografía 2.4.3. Movimientos gravitacionales de grandes dimensiones en el Norte del Municipio de Mosonte.**



No obstante, existen otras seis microcuencas más pequeñas asociadas a cada uno de los intermitentes cauces existentes el área de trabajo. En la tabla adjunta se presentan más datos sobre estas microcuencas:

Nombre de la microcuenca	Longitud del Cauce ( Km)	Área de Drenaje (Km <sup>2</sup> ) (A)	% de Área ocupado con respecto al total	Perímetro de la cuenca (km) (P)	Longitud de la cuenca (km) (L)	Altura máxima en la zona (metros)
<b>Pífali (1)</b>	10,88	28,36	69,4	29,44	11,3	1194
<b>Cacao (4)</b>	3,35	3,64	8,75	11,33	3,75	1061
<b>Rayamisto (5)</b>	2,29	2,79	6,83	10,8	3,27	701
<b>Caracol (3)</b>	2,45	1,2	3	5,98	2,72	1078
<b>El Chaguite (2)</b>	2,69	3,51	8,61	8,93	3,32	978
<b>Coco (7)</b>	1535,79	0,25	0,63	-	-	617
<b>Sin nombre (6)</b>	1,77	1,13	2,78	5	2,47	617

A partir de estos datos pueden definirse varios parámetros que sirven para conocer mejor el comportamiento hidrológico de estas cuencas:

**-Relación de Elongación Re:** Shumm la defino en 1956 como la relación existente entre el diámetro de un círculo de la misma superficie que la cuenca considerada (A) y la longitud de esta (L). Para un círculo esta relación correspondería a la unidad, disminuye a mediada que aumenta la elongación.

$$Re = 2\sqrt{A} / \pi L$$

En la microcuenca del Pífali, la más importante de nuestra zona, dicha relación de elongación es de 0,30, lo que indica una elongación alta de la cuenca.

**-Relación de circularidad Rc:** Según Millar 1953 es la relación que existe entre la superficie de la cuenca (A) y la superficie del círculo de igual perímetro (P). Para un círculo Rc=1 de forma que a medida que aumente la elongación disminuye dicho valor.

$$Rc = 4\pi A / P^2$$

Para la microcuenca del Pífali la relación de circularidad obtenida es de 0,40 lo que coincide con el valor anterior e indica una forma relativamente elongada de la microcuenca.

- **Factor de forma (F):** Se trata de la relación entre el área de la cuenca y la longitud de la misma al cuadrado. (Horton 1932)

$$F = A / L^2$$

Un valor de  $F = 0,78$  se correspondería con una forma circular y a medida que disminuye el valor la cuenca se hace cada vez más alargada.

En nuestro caso,  $F = 0,22$  lo que, al igual que en los parámetros anteriores nos indica una fuerte elongación de la microcuenca.

-**Índice de Gravelius o de Compacidad (k):** Nos da una aproximación a la forma de la cuenca de drenaje considerando la relación entre el perímetro de la cuenca considerada y el de un círculo de la misma superficie. Al igual que el anterior, una cuenca circular daría el valor de la unidad.

$$k = 0,28 P / \sqrt{A}$$

Para nuestra microcuenca,  $k = 1,54$  lo que indica perímetros poco recortados, es decir, contornos relativamente suaves y de media a alta compacidad.

Finalmente resaltar la congruencia en los valores de estos cuatro índices, los cuales no dejan de ser aproximaciones a la realidad pero que aportan información muy útil al estudio hidrológico. De este modo, la microcuenca del Pífalli puede definirse como una microcuenca con geometría alargada, perímetro relativamente suave y moderada a alta compacidad.

Por último, cabe resaltar el marcado carácter intermitente en el caudal de estos ríos, muy dependiente de las precipitaciones. Así, y exceptuando el gran Río Coco, limítrofe en nuestra zona de estudio, el resto de los cauces no presentan agua superficial a lo largo de casi toda la época seca. Con la llegada de las precipitaciones en invierno, su caudal

aumenta considerablemente, provocando en ocasiones fuertes y peligrosas crecidas de los mismos.

### 3.2.-HIDROGEOLOGÍA

Las unidades hidrogeológicas presentes en las zonas están directamente relacionadas con las unidades geológicas. En este apartado vamos a analizar únicamente las dos más importante para la zona de estudio:

- El acuífero de los esquistos de Nueva Segovia y
- el acuífero de los materiales graníticos presentes en la zona Norte de Mosonte.

En el trabajo del Servicio Geológico Checo (2005), se exponen las características comunes de estos dos sistemas. Tanto los granitos como los esquistos son rocas cristalinas muy compactadas cuya permeabilidad es baja. En el caso de los esquistos es algo mayor debido a su intensa foliación. La mayor permeabilidad, característica esencial para que se almacene y circule el agua subterránea, está relacionada con las partes superficiales de las unidades rocosas, debido a la intensa meteorización que provoca la descomposición y disgregación de la roca creando un aumento en la cantidad de poros y huecos por los que circula el agua. Como es lógico, esta mayor permeabilidad irá disminuyendo paulatinamente conforme la meteorización va desapareciendo con la profundidad donde las rocas no están alteradas. Así, normalmente a partir de los 10 a 20 metros encontramos que la roca es tan consistente que cuesta muchísimo excavarla (como nos han comentado los poceros de las comunidades) y el agua es cada vez más escasa, llegando a ser prácticamente inexistente en los bloques compactos profundos.

La circulación de las aguas subterráneas en la zona superficial de estos acuíferos libres es preferencial y relativamente independiente, siguiendo la morfología del terreno.

En el caso de Los Arados, donde se ha detectado una gran cantidad de manantiales, sobretodo situados en la cercanías del Río Mosonte, existen unos materiales muy porosos por los puede circular gran cantidad de agua. Se trata de los depósitos cuaternarios del Río Mosonte de espesor inferior a los 20 metros, compuestos principalmente por pequeños cantos redondeados y arenas de granito. Casi todos los manantiales están situados en el límite de estos depósitos y la roca granítica y curiosamente tienen un mayor caudal en verano que en invierno. Se trata por tanto de agua infiltrada, a no mucha distancia, por las acequias y los regadíos de la zona, que atraviesan rápidamente la zona porosa de las arenas y gravas hasta alcanzar el granito compacto y circular aguas abajo.

Pero el acuífero profundo también puede tener zonas de fácil circulación de las aguas, relacionadas principalmente con la red de fracturas y fallas. La mayoría de estas estructuras pueden llegar a tener varios cientos e incluso alguna de ellas miles de metros de profundidad. En ellas, los materiales han sido rotos y disgregados, de tal forma que se produce un aumento de la porosidad y por lo tanto una facilidad para que circulen y se profundicen las aguas. En la zona de estudio, pensamos que la falla más importante para la circulación de las aguas subterráneas es la falla situada bajo el Río Pífalli.

En estas fallas pueden estar presentes productos de alteración de las rocas, generalmente arcillas, que sellan los poros y reducen las transmisividad del medio.

## 4. Inventario de Puntos de Agua

A lo largo del presente estudio se llevo a cabo la identificación de aquellos puntos o lugares de abastecimiento de las Comunidades. El procedimiento seguido viene indicado en el apartado “Metodología e Instrumentación” y puede analizarse en el Anexo 5.

Como puede observarse, todos los pozos de las Comunidades del Sur son Pozos Excavados Manualmente, donde la profundidad alcanzada por lo general apenas sobrepasa los 10 metros. En contraste a esto, Los Arados, situado en la zona Norte presenta dos Pozos Perforados con máquina, donde ya se alcanza una profundidad relevante, de 84 metros. (Ver Mapa 4.1)

En el cuadro adjunto puede apreciarse estas diferencias, sobre todo en los valores de conductividad, debido principalmente a la litología del sustrato, mayormente esquistoso y muy fracturado en el Sur, y predominantemente granítico en la Comunidad de los Arados.

	Nº de pozos	Tipo de Pozo	Nivel Freático Media(m)	Conductividad Máxima ( $\mu\text{s}/\text{cm}^2$ )	Conductividad Mínima ( $\mu\text{s}/\text{cm}^2$ )	Conductividad Media ( $\mu\text{s}/\text{cm}^2$ )	pH Media	TI Media ( $^{\circ}\text{C}$ )
<b>Comunidades del Sur</b>	22	Excavado	675,02	>2000	230	1101,7	7,67	24,77
<b>Los Arados</b>	3	Excavado	765,07	725	98	484,33	7,3	24,63
	2	Perforado	795,87	808	157	482,5	7,1	25,65

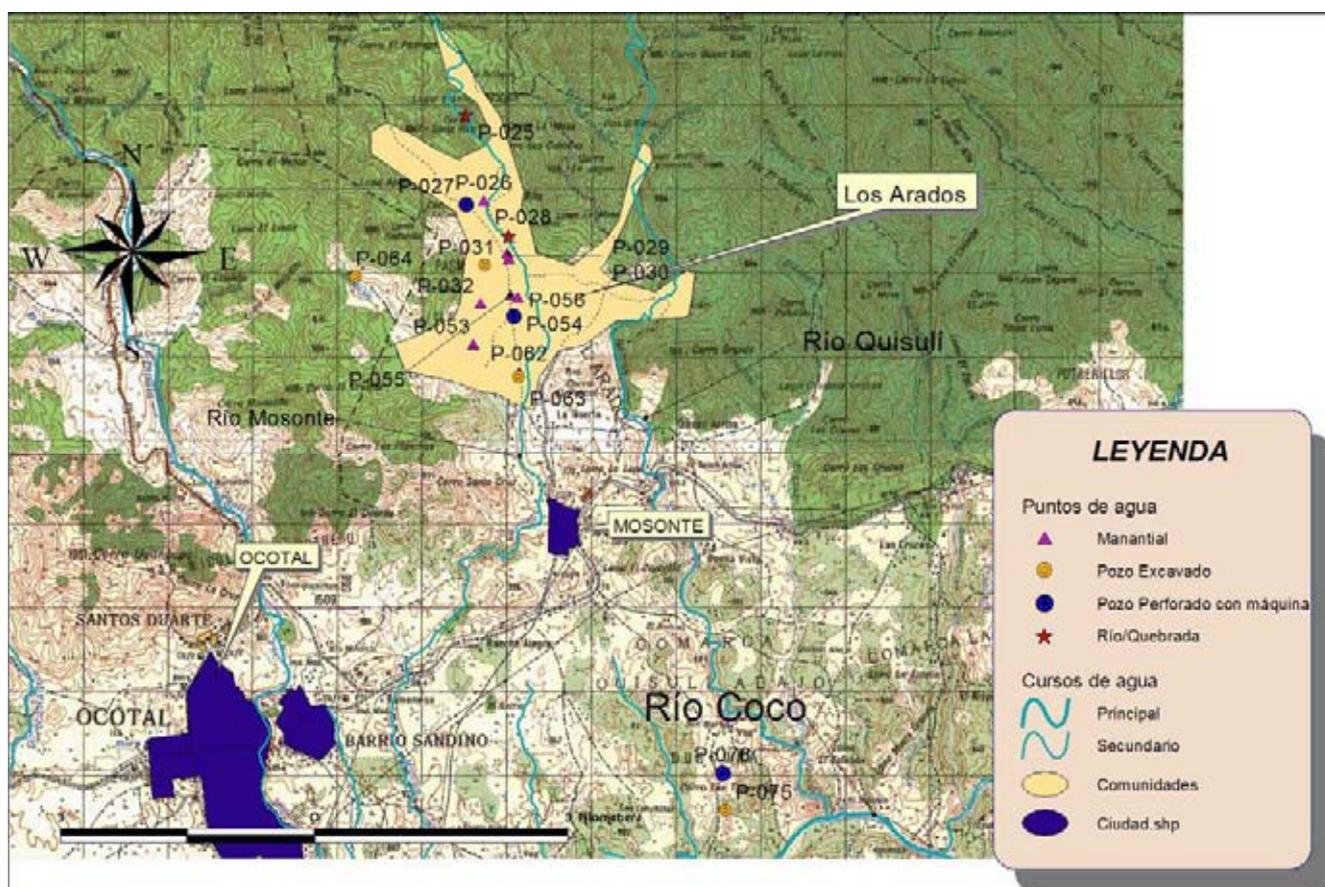
El inventario comprende un total de 77 puntos estudiados en la zona, de los cuales 44 corresponden a manantiales, 26 pozos excavados manualmente y 3 perforados con máquina, y 4 ríos o quebradas. (Ver Anexo 2.) La distribución de los mismos, así como los valores de conductividad, ya que los de pH y T<sup>a</sup> no presentan variaciones apreciables puede observarse en el Mapa 4.2., en el Mapa 4.3 y en el Mapa 4.4.

De este modo, se puede apreciar una zona de altos valores de conductividad que abarca el SW de la Comunidad del Cuyal y la totalidad de La Ceiba. Estos elevados valores (incluso superiores a 2000  $\mu\text{s}/\text{cm}^2$ ), están relacionados con la litología circundante, predominantemente filitas

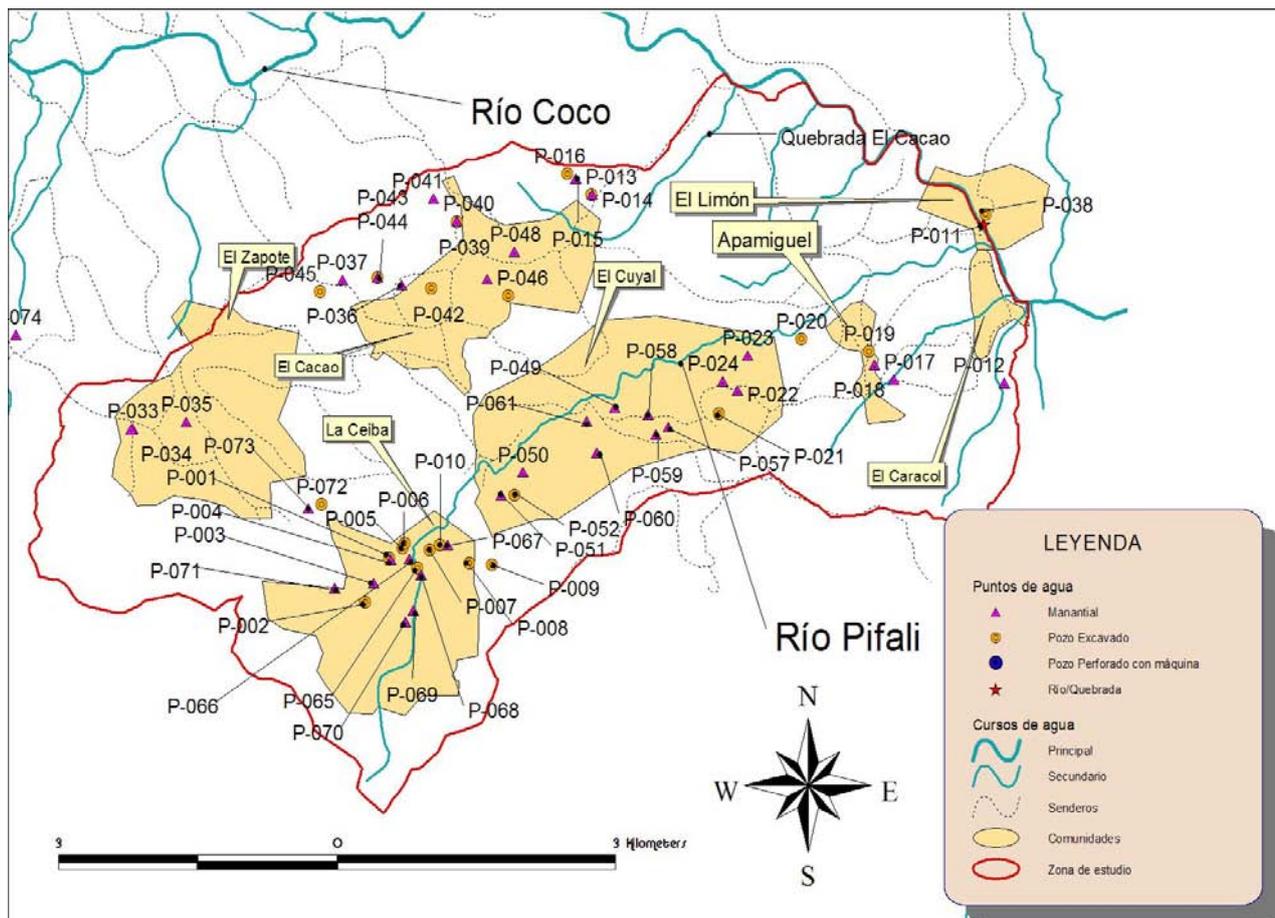
sericitas. Por el contrario, los menores valores (inferiores a  $500 \mu\text{s}/\text{cm}^2$ ) se encuentran en las proximidades del Cerro Guásara, al NW de la Comunidad de El Cacao, relacionados también con las características litológicas de la zona, evidenciado por tobas ácidas.

De los 29 pozos inventariados, 15 tienen bombas de mecate (2 se encuentran inutilizadas), 10 poseen bombas emaflex (dos inutilizadas y en algunos casos dos por pozo y/o combinadas con bombas de mecate) y 8 se encuentran sin ningún tipo de bomba. Debido a la inexistencia de energía eléctrica (excepto en Los Arados), ningún pozo presenta bombas eléctricas.

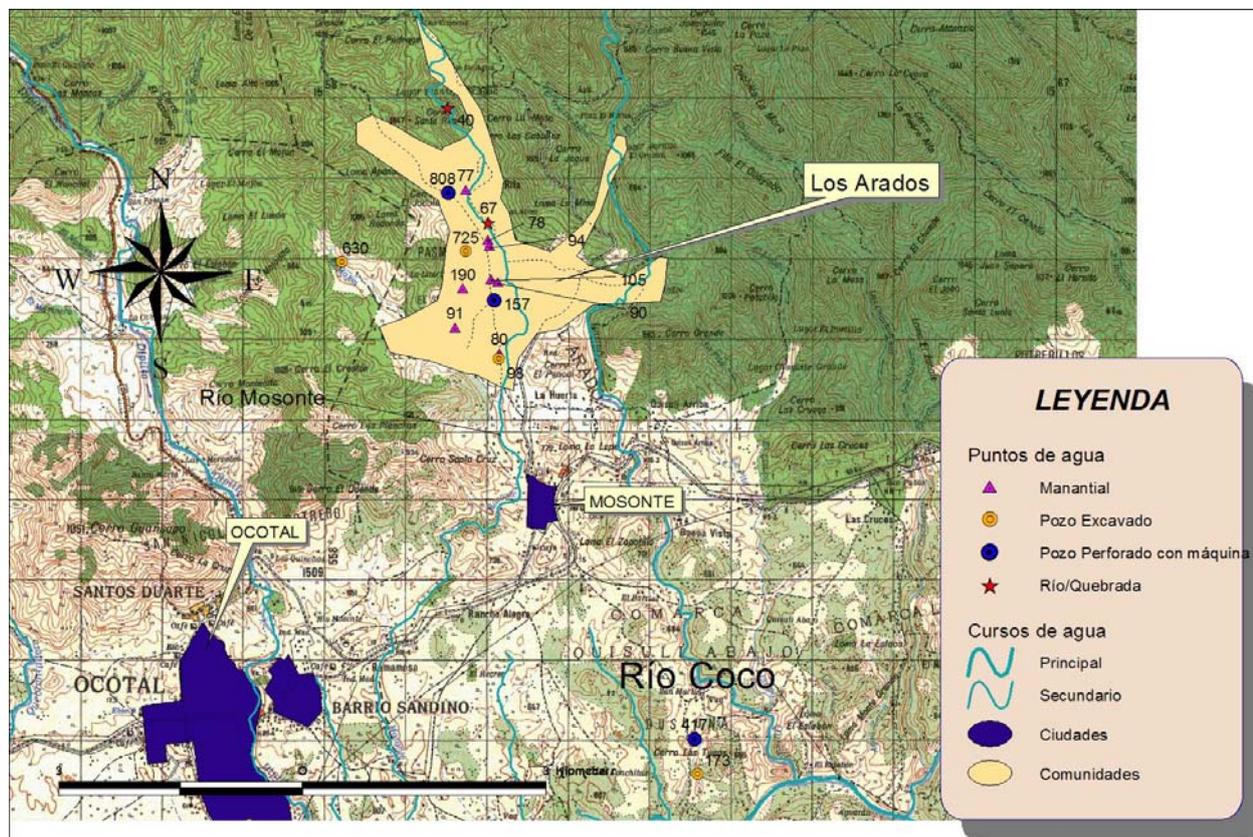
Finalmente, mencionar que el inventario se ha completado con la adquisición e implementación de trabajos realizados en la zona por diversas instituciones como ADRA, INETER y Médicos sin Fronteras. Éste último, por su proximidad, calidad y profundización del análisis, fue el de mayor utilidad. (Ver Anexo 5).



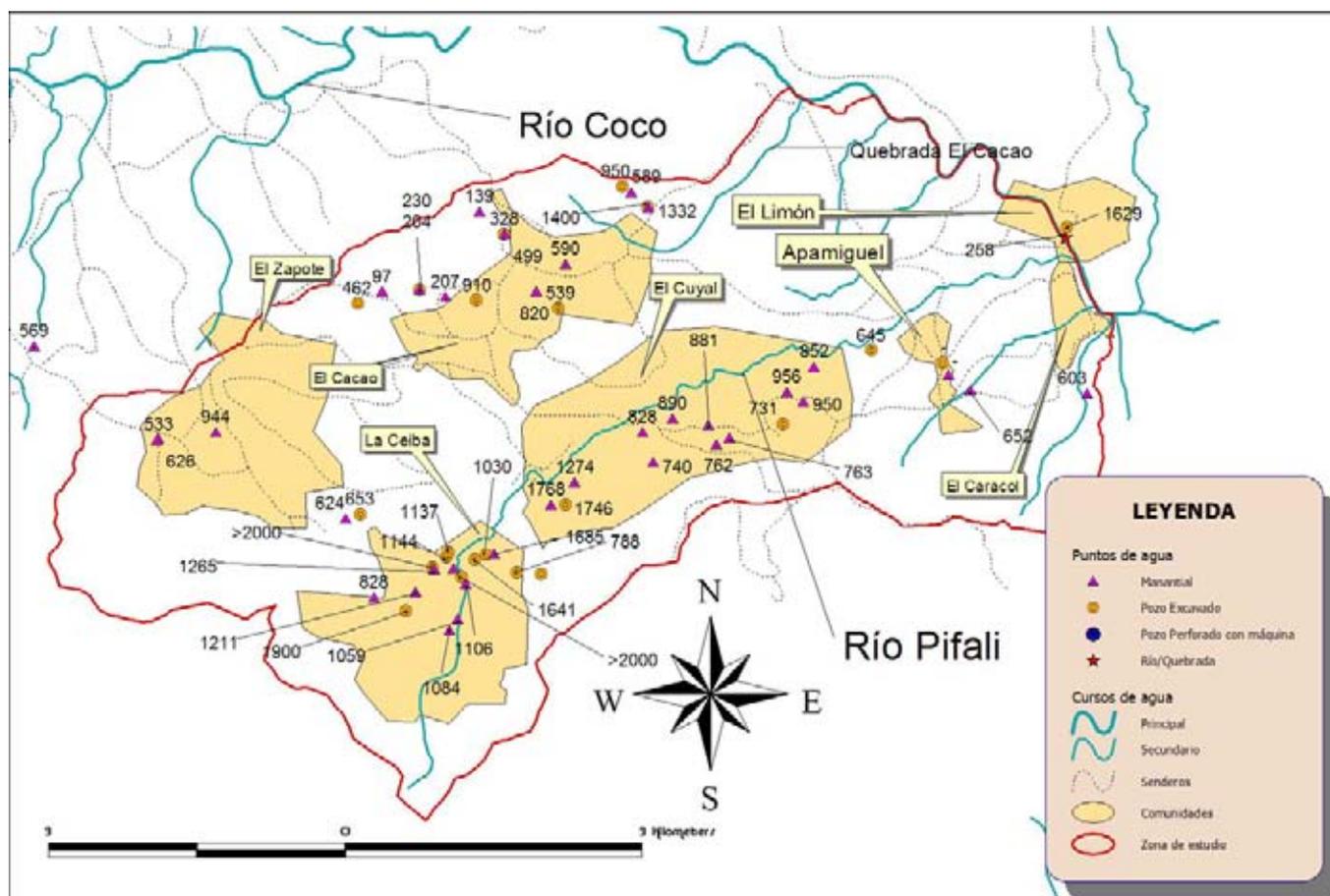
Mapa 4.1. Inventario de la Comunidad de Los Arados



Mapa 4.2. Inventario de puntos de agua de la Zona Sur de Mosonte



Mapa 4.3. Valores de Conductividad de la Comunidad de Los Arados



Mapa 4.4. Valores de Conductividad de la Zona Sur de Mosonte

## 5. Organización y Sistemas de abastecimiento

De las siete comunidades de la zona de estudio cuatro funcionan a través de sistemas de gravedad o miniacueductos. Estos, conocidos localmente por las siglas "MAG" (Mini-Acueductos por Gravedad), transportan el agua hasta las comunidades desde un curso de agua (quebrada, manantial o río) donde se coloca un sistema de captación de aguas. Esta captación suele protegerse con una cubierta de cemento, y en ocasiones incorpora desarenadores y filtros para eliminar impurezas. La eliminación de impurezas en el punto de captación se torna importante sobretodo en los ríos de caudal importante, donde el grado de turbidez es ya considerable, como es el caso de Los Arados (foto 5.1).

El agua captada se transporta mediante líneas de conducción de PVC o incluso de goma, comúnmente de poco diámetro, hasta las pilas de almacenamiento, normalmente situadas cerca de la comunidad.

En algunas comunidades, como el Zapote, estas pilas son el punto donde los pobladores toman el agua. En otras existen unos “puestos de agua” que facilitan el acceso del agua a la población, como son el caso de Apamiguel o El Limón.



**Fotografía 5.1. Captación del Sistema de Agua por Gravedad de la Comunidad de Los Arados en el Río Mosonte**

Las principales dificultades técnicas encontradas para cubrir la demanda de agua existente son:

- Poco caudal de agua en el punto de captación, situación que se agrava en la época seca;
- y el escaso mantenimiento de las infraestructuras que provoca un deterioro del sistema y una disminución de la eficacia del sistema (fugas en las líneas de conducción; utilización de mangueras en lugar de tuberías de PVC; cloración insuficiente).

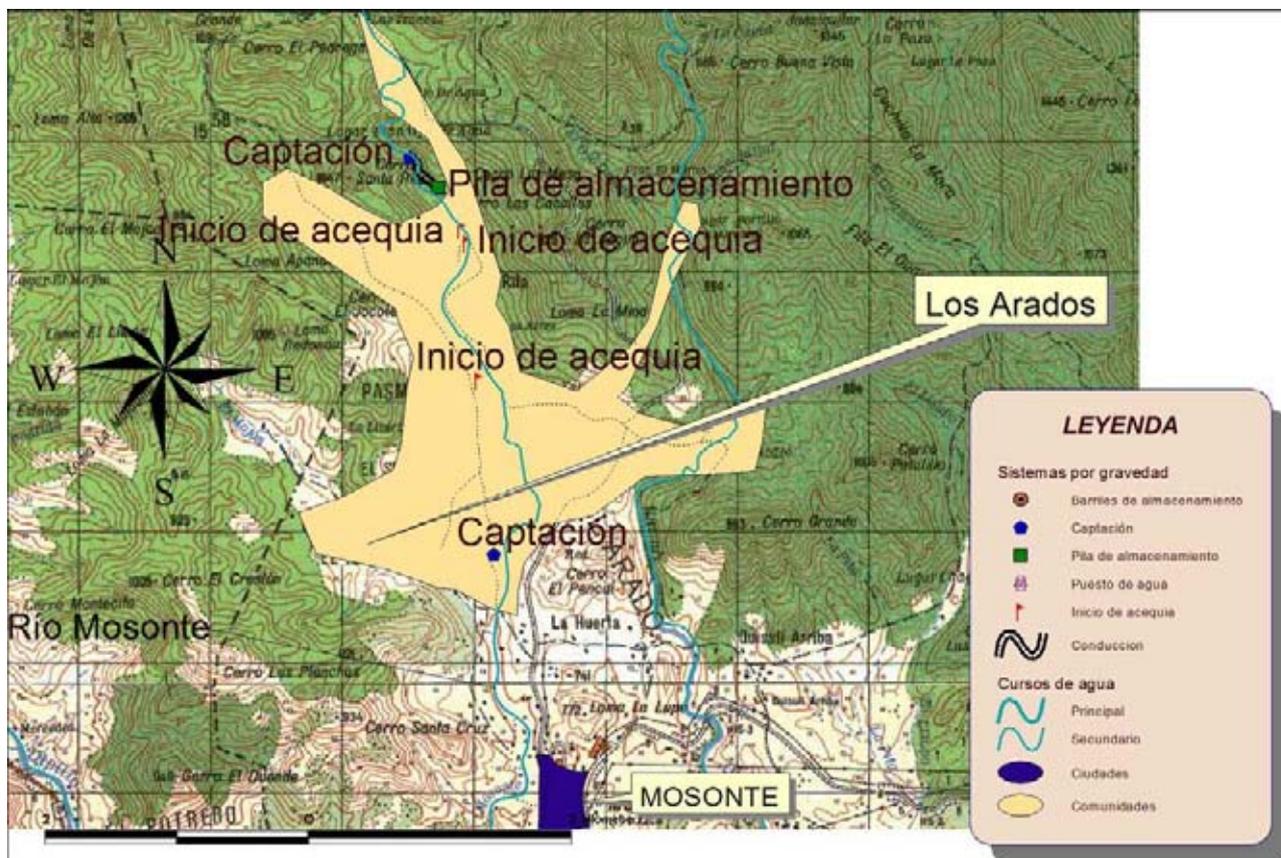


**Fotografía 5.2. Fuga de agua en manguera de conducción**

El sistema de agua por gravedad de la Comunidad de Los Arados, que tiene localizada su captación en el curso de agua del Río Mozonte, es la excepción. Este río presenta un caudal suficiente para satisfacer la demanda de agua potable en esta Comunidad, incluso en los períodos más secos. (Ver Fotografía 5.1).

La sostenibilidad de los sistemas de agua potable recae directamente en la comunidad, por lo que se hace imprescindible la creación de agrupaciones comunitarias voluntarias, llamadas “Comités de Agua

Potable y Saneamiento” (de ahora en adelante CAPS) para dar el seguimiento, mantenimiento y asegurar la salubridad de estos sistemas.



**Mapa 5.1. Localización del MAG en la Comunidad de Los Arados**

A nivel comunitario se encontraron serios problemas organizativos en los CAPS, que ponen en peligro la sostenibilidad de los proyectos:

- No suelen tener estatutos o reglamento interno de funcionamiento;
- Muchas figuras necesarias para el buen funcionamiento de los CAPS se encuentran vacantes;
- La falta de compromiso por parte de los beneficiarios de los sistemas de agua potable provoca que éstos no estén adecuadamente mantenidos, por lo que se disminuye su eficacia y se aumenta el riesgo sanitario.

Tras varias reuniones con PIM (Pueblo Indígena de Mosonte) y SNV (Agencia de Cooperación Holandesa), se determinó la necesidad de

comenzar por fortalecer estos comités. La metodología utilizada fue la siguiente:

**FASE 1: Identificación de la problemática del sistema de agua potable y de la gestión del CAPS en cada comunidad:**

Los miembros de cada CAPS de las distintas comunidades rellenaron un cuestionario (Ver ANEXO 6) del que se desprende información general de la organización (nº de abonados, cuota al mes, nº de deudores, miembros del CAPS, etc.) problemas que tienen con su sistema de agua y actividades que realiza el CAPS. Igualmente, mediante el inventario de puntos de agua realizado y conversaciones con los pobladores, se obtiene un perfil técnico del funcionamiento del sistema y del CAPS. Esta fase ya está concluida.

**FASE 2: Legalizar el CAPS como organización comunitaria.**

De los CAPS ya formados ninguno de ellos está inscrito legalmente, paso importantísimo para que los CAPS tengan la reglamentación y el soporte legal necesarios. Para conseguir su legalidad se procedió de la siguiente forma:

- Se realizó la formulación y aprobación de un reglamento de funcionamiento (recogido en los estatutos) por toda la comunidad y elección a través de voto mayoritario de los cargos del CAPS. (ANEXO 6).

- Se levantó el acta constitucional. En ella aparecen inscritos los nombres, apellidos y nº de cédula de todos los beneficiarios del sistema que se muestren conformes con las condiciones acordadas en los estatutos.



**Fotografía 5.1. Votación para aprobar los Estatutos de los CAPS de la comunidad de San Antonio**

- Se legalizaron los documentos de posesión de los terrenos de captaciones, pozos y pilas (depósitos), y los permisos de acceso a ellos y a las tuberías de la red de

distribución. La gran mayoría de las obras de abastecimiento de agua potable se encuentran en terrenos privados, donde su propietario ha donado esa parcela para el uso comunal. Este proceso consistió en legalizar por escrito y de manera permanente la cesión de estas parcelas a la comunidad.

- Reconocimiento del comité por parte de las diversas instituciones. Los estatutos y el acta constitucional llevarán el sello y la aprobación de organismos oficiales tales como Policía, PIM, MINSA y Alcaldía de Mosonte.

Tras estos pasos, el CAPS será inscrito como Organización Sectorial (según la Ley de Participación Ciudadana) en la Alcaldía y Pueblo Indígena de Mosonte.

Esta fase se ha iniciado con todas la comunidades de la zona de estudio, estando en la actualidad bastante avanzada y pendiente del último paso legal.

**FASE 3: Formación de la Junta Directiva de los CAPS según sus distintas funciones.** Una vez elegidos los cargos del CAPS, se realizará una serie de capacitaciones (talleres de formación) para que cada miembro de la Junta Directiva del CAPS tenga los suficientes recursos para cumplir con sus responsabilidades. Esta fase, llevada conjuntamente por Geólogos del Mundo, PIM, Alcaldía de Mosonte y SNV, continúa en la actualidad.

**FASE 4: Realizar un diagnóstico participativo y un seguimiento del CAPS.** Los miembros de la Junta Directiva deberán realizar un inventario de hábitos y usos del agua en sus comunidades, posible riesgos de contaminación, análisis del estado de la cuenca de recepción de la fuente de agua, y otros aspectos relacionados con el buen funcionamiento de sistema. Igualmente, PIM, Alcaldía de Mosonte y el Servicio Holandés de Cooperación al Desarrollo (SNV) se realizará un seguimiento continuo de las actividades de la Junta Directiva y de la respuesta de los pobladores.



**Fotografía 5.2. Puesto de agua roto por la quebrada**

Tres comunidades del Pueblo Indígena/Municipio de Mosonte que no están incluidas como beneficiarias del proyecto Eroski (Yaraje, Las Cruces y San Antonio) solicitaron entrar en las capacitaciones de sus CAPS, a lo cual accedimos.

De manera esquemática (figura 5.1) se presenta aquí el reconocimiento, las actuaciones y los resultados esperados/obtenidos con este proceso.

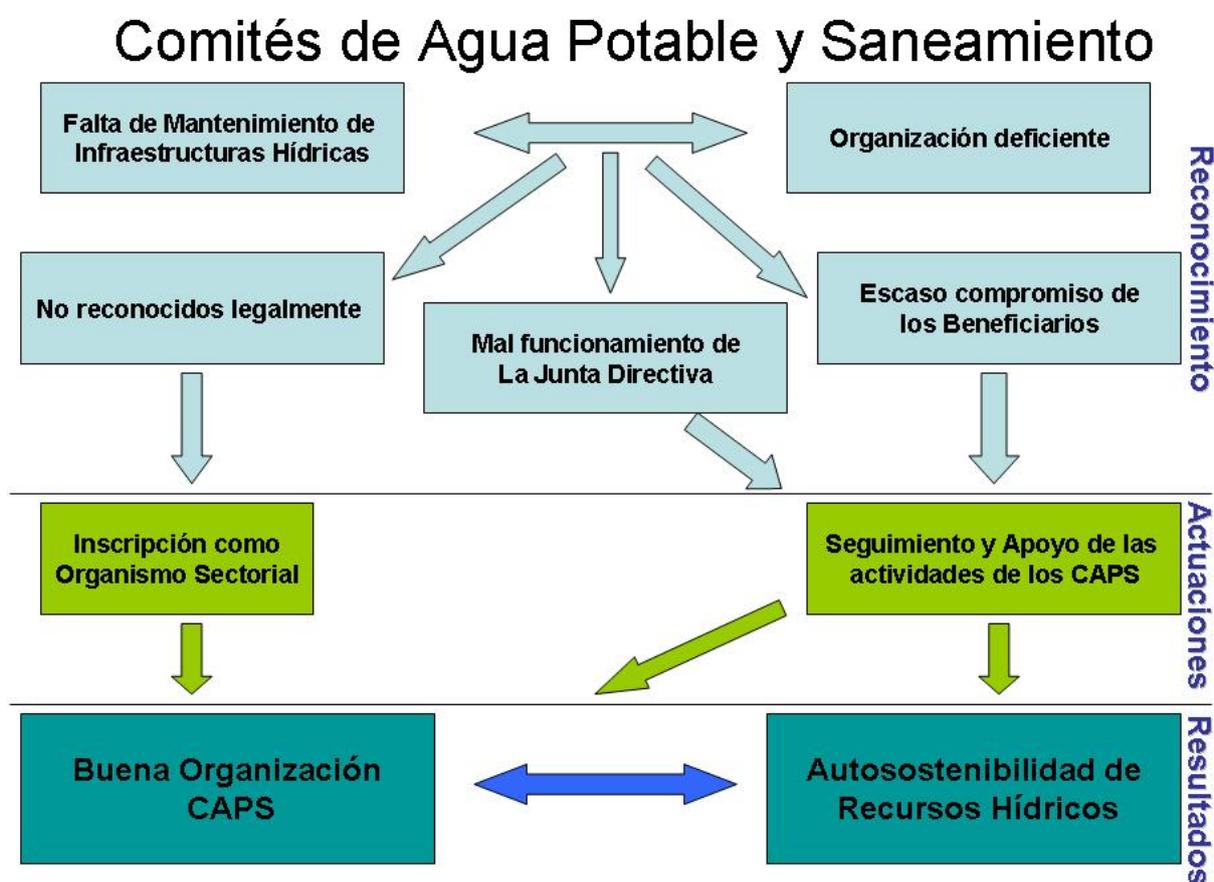
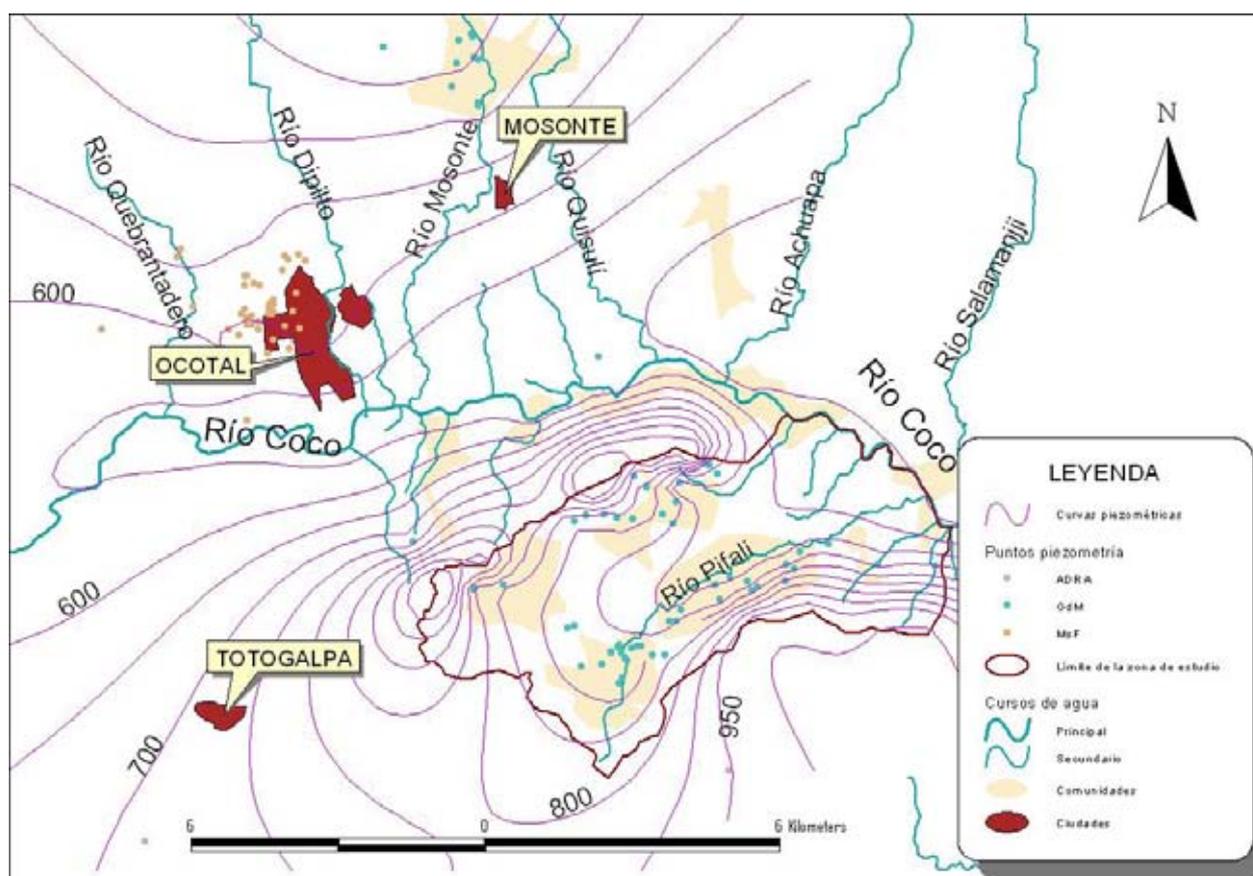


Figura 5.1 Diagrama esquemático de las fase de trabajo con los CAPS.

## 6. Piezometría

Durante el inventario de puntos de agua se recogieron datos de nivel piezométrico del agua subterránea (altura sobre el nivel del mar menos profundidad a la que se encuentra el agua) de 55 puntos repartidos por la zona de estudio. Esta información se amplió utilizando el inventario de puntos de agua del Municipio de Ocotal (realizado por Médicos sin fronteras, 2003) y con algunos puntos inventariados en Totogalpa (facilitados por ADRA, 2006). Gracias a esta información se ha podido elaborar un mapa de la profundidad a la que se encuentra el agua subterránea en la zona Sur de Mosonte (ver Mapa 6.1) utilizando los programas informáticos Surfer 8 y ArcView 3.2.

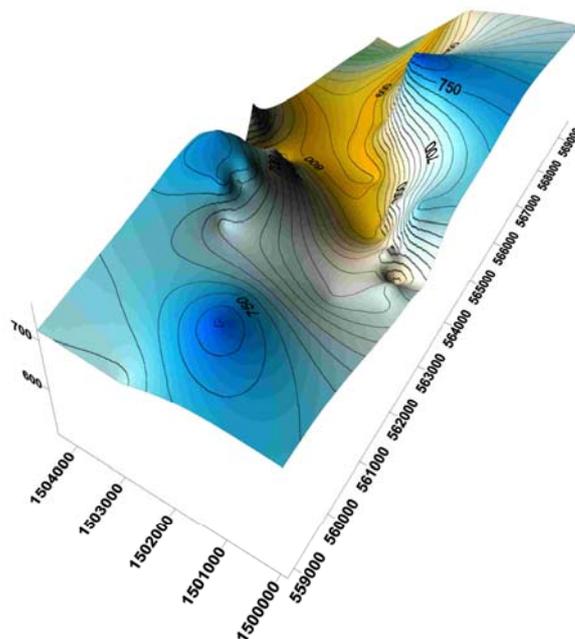


**Mapa 6.1.** Mapa piezométrico general de la zona de Mosonte, realizado con el inventario de puntos de agua de Geólogos del Mundo (zona sur), Medicos sin Fronteras (Ocotal) y ADRA (Totogalpa).

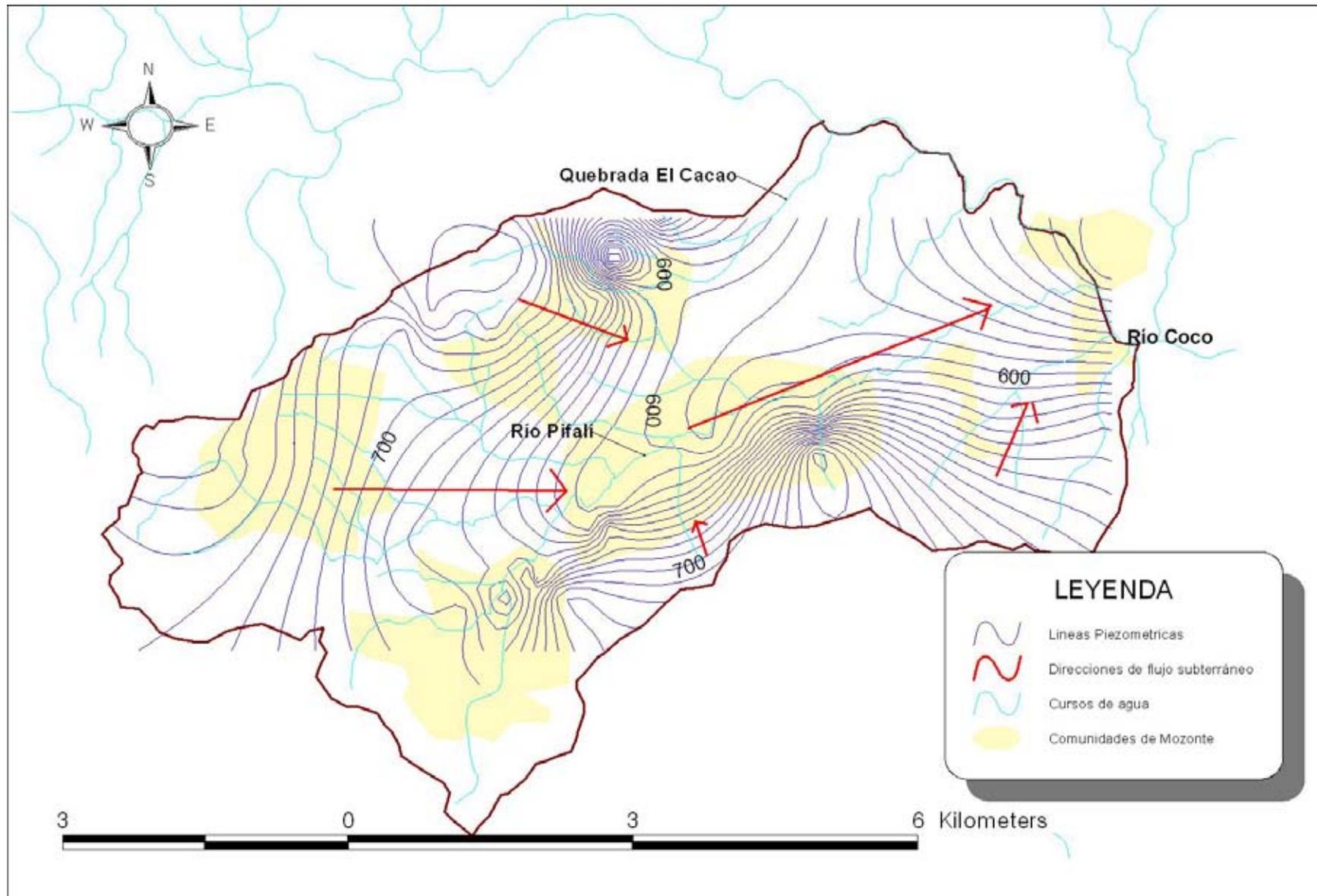
Del mapa obtenido se puede extraer los movimientos del agua subterránea, teniendo en cuenta que, debido a la desigual distribución de

los puntos de los que se ha extraído los valores de piezometría, estas curvas son meramente orientativas. Así, vemos que la tendencia general es la circulación de las aguas subterráneas hacia el Río Coco. En lo relativo a la zona de estudio se ve cómo las alturas de la zona Norte (Cerro Guásara y Santa María), hacen también de divisoria de aguas subterráneas, mientras que las alturas del Sur, lo son únicamente para las aguas superficiales. Tendríamos por lo tanto un aporte subterráneo, tal vez no muy significativo, desde la zona sur hacia el río Pifali.

Dentro de la zona de estudio (ver mapa 6.2 y 6,3) las curvas piezométricas están mejor definidas debido a la existencia de una mayor densidad de puntos de información. Las aguas subterráneas (indicado por la flechas en rojo) parecen fluir hacia el Río Pifali, lo que parece remarcar la importancia que tiene la falla sobre la que se ha encajado este curso de agua irregular. De allí el agua sale hacia el río Coco. Las zonas cercanas a la Falla del Pifali pueden resultar las mejores para captar agua subterránea, dado que esta estructura puede haber aumentado en gran medida la escasa permeabilidad de la zona, mejorando la facilidad de circulación de agua subterránea.



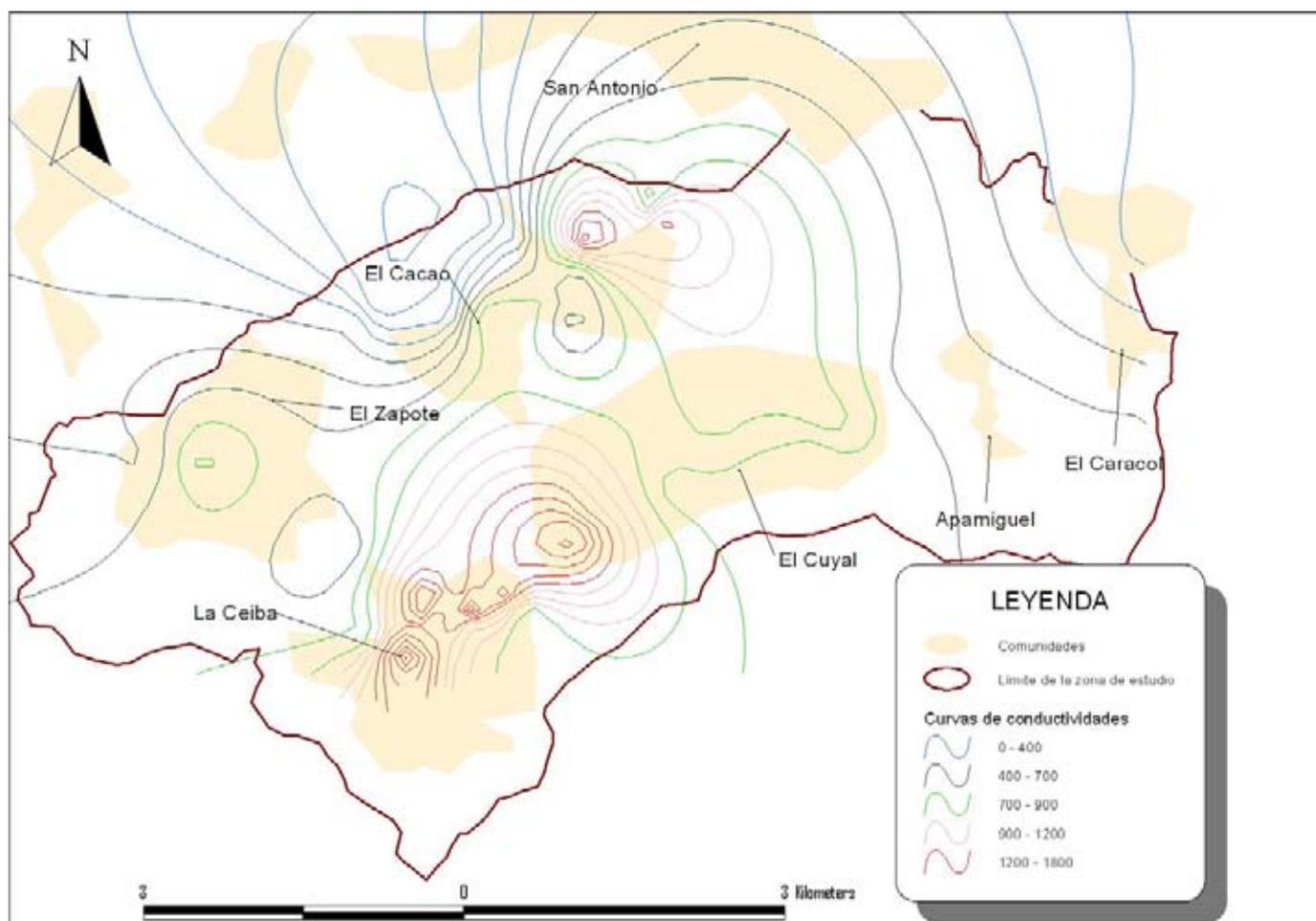
**Mapa 6.2. Representación 3D del mapa piezométrico de la zona de estudio.**



Mapa 6.3. Mapa piezométrico de la zona de estudio y flujos subterráneos.

## 7. Hidroquímica y calidad del agua

Durante el inventario de puntos de agua, se tomaron muestras de la salinidad de las aguas, midiendo la conductividad eléctrica de 74 puntos de agua (ver mapa 4.3 y 4.4). Con estos datos se elaboró un mapa de curva de igual conductividad (ver mapa 7.1) que pone de manifiesto las grandes diferencias presentes en la zona. Los sectores más afectados son: Toda la comunidad de La Ceiba, el Sector Oeste de El Cuyal, un pequeño sector de El Cacao y El Limón.



**Mapa 7.1. Mapa de Iso-Conductividades. Los rangos de conductividades de agua de estas comunidades se pueden correlacionar generalmente con potabilidades. En azul, agua potable, en verde límite entre agua potable e insalubre y en rojo, agua no potable.**

Se ha realizado una campaña de muestreo por los puntos considerados más importantes (en función de su distribución, pero sobretodo en su importancia para el abastecimiento de los habitantes de la zona). Las muestras fueron recogidas por un técnico de ENACAL y los técnicos de Geólogos del Mundo y Pueblo Indígena de Mosonte y analizadas, a petición del MINSA, por el laboratorio de ENACAL en Managua (ver resultados resumidos en la tabla 7.1 y los datos completos en el ANEXO 8). Se ha completado esta información con otros análisis realizados en las cercanías por otras instituciones.



**Fotografía 7.1. Técnica de ENACAL tomando una muestra de agua para los análisis físico-químicos y bacteriológicos**



**Fotografía 7.2. Tomando las muestras del Río Mosonte P-079.**

Co ord y	Pozo	VMA CAPRE	P-074 YAR	P-002 CEI	P-033 ZAP	P-059 CUY	P-012 CAR	P-039 CAO	P-079 RMZ	P-017	P-076- QAB	Jaguas 2	Ranchos	Río Dipilito	Mn-3	PE-1	PP-28	PE-10	PE-06	PE-07	PE-08	
	Fecha		16-ago-06	1502328	2E+06	2E+06	1507376	1515700	1502328	2E+06	1E+06	1495198	2E+06	1E+06	1E+06							
Organiza ción			MINSNA-GM	INETER	ACSUR	ACSUR	ACSUR	MINSNA	INETER	INETER	INETER	INETER	INETER	INETE R	INETER							
CE uS/cm	No especif		524,00	1725,00	471,00	757,00	565,00	489,00	39,00	652,00	438,00	409,00	1456,00	100,00	652,00	590,00		490,00	560,00	840,00	800,00	
pH	6,5-8,5		7,96	8,22	7,18	7,41	7,99	7,64	7,81		7,25	7,17	7,30	6,18	9,30	7,50		7,80	8,40	8,40	8,20	
TAC	No espec		225,20	334,70	203,30	362,80	278,40	206,40	12,50		22,80	23,00	42,00									
DUR	400		200,20	884,1	180,20	363,70	253,60	170,10	4,20		180,00	165,60	640,00	75,00								
TSD	1000		309,00	1369,00	294,00	406,00	307,00	674,90	661,30		251,00	258,00	1110,00	136,00		398,00		310,00	386,00	590,00	565,00	
aniones (mg/l)	CO3H-	No espec	274,60	408,00	247,90	442,00	339,40	251,70	15,30	351,00	22,80	23,00	42,00		351,00	262,00	195,00	159,00	244,00	299,00	390,00	
	SO4=	250	39,36	783,80	30,78	28,63	18,13	0,00	11,39	30,10	14,20	17,30	750,46	25,00	30,10	4,00	313,00	2,00	7,00	1,00	3,00	
	Cl-	250	23,20	20,70	34,10	25,60	20,70	20,70	3,70	35,00	26,20	11,20	15,10	7,00	35,00	24,00	24,00	34,00	31,00	45,00	19,00	
	NO3- sum aniones	50	0,00	0,00	8,30	3,90	0,00	0,00	0,00	16,00	2,90	3,35	2,53	3,16	16,00	60,00	3,30	70,00	25,00	100,00	12,00	
			337,16	1212,5	321,08	500,13	378,23	272,4	30,39	432,1	66,1	54,85	810,09	35,16	432,1	350	535,3	265	307	445	424	
cationes (mg/l)	Na+	200	39,20	47,60	26,30	17,70	19,50	32,80	0,00	52,00	20,10	22,30	53,70		52,00	18,00	68,00	19,00	10,00	64,00	40,00	
	K+	10	2,70	1,90	7,70	0,00	0,00	5,10	0,90	22,00	3,35	3,27	4,27		22,00	15,60	3,00	4,60	3,40	3,80	2,30	
	Ca++	100	53,40	255,20	49,40	60,10	46,80	53,40	1,70	43,00	42,48	47,13	101,00	12,00	43,00	78,00	77,00	19,00	68,00	52,00	74,00	
	Mg++ sum cationes	50	16,20	60,00	13,80	51,90	33,20	8,90	0,00	99,00	0,50	11,70	124,51	11,00	99,00	11,00	36,90	19,00	19,00	35,00	25,00	
			111,5	364,7	97,2	129,7	99,5	100,2	2,6	216	66,43	84,4	283,48	23	216	122,6	184,9	61,6	100,4	154,8	141,3	
			mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l								
	Hierro	0,3	0,184	< LDM	1,13	< LDM	0,047	0,047	4,71													
Nitritos	0,1	< LDM	< LDM	0,054	< LDM	< LDM	0,009	0,1														
Flúor	0,7 - 1,5	0,08	0,17	0,07	0,08	0,11	0,08	0,06														
Relaciones Iónicas	rNa/rK		6,14	10,60	1,45			2,72	0,00	1,00	2,54	2,89	5,32		1,00	0,49	9,59	1,75	1,24	7,13	7,36	
	rMg/rCa		0,13	0,10	0,12	0,38	0,31	0,07	0,00	1,00	0,01	0,11	0,54	0,40	1,00	0,06	0,21	0,43	0,12	0,29	0,15	
	rSO4/rCl		1,97	44,03	1,05	1,30	1,02	0,00	3,58	1,00	0,63	1,80	57,79	4,15	1,00	0,19	15,16	0,07	0,26	0,03	0,18	
	rCl/rCO3H		0,85	0,51	1,38	0,58	0,61	0,82	2,43	1,00	11,52	4,88	3,61		1,00	0,92	1,23	2,14	1,27	1,51	0,49	
	icb		-0,32	-0,69	0,12	0,53	0,37	-0,46	0,61	-1,00	0,28	-0,80	-1,84	1,00	-1,00	-0,54	-1,11	0,41	0,61	-0,09	-0,61	
Kr		0,91	2,00	0,83	1,30	1,01	0,86	0,04	1,00	0,16	0,17	0,32	0,00	1,00	1,00	0,82	0,45	0,91	0,96	1,29		
Bac ter.	Conforme s fecales	0		0,00	156,00	6,00	DPC	0,00	80,00													
	Error (%)		-3,28	-17,33	-15,79	-6,74	-9,52	5,23	-138,31	53,22	4,35	42,01	-136,56	64,98	53,22	-0,53	-5,04	-31,00	1,28	7,04	5,14	
	Laborato rio		ENACAL		LAQUISA	LAQUISA	LAQUISA	ENACAL														

VMA = Valor Máximo Admissible; < LDM = Por debajo del límite de detección del Método; DPC = Difícil para Contar.

$$icb = (rCl - (rNa + rK)) / rCl$$

$$kr = (rCa * (rHCO3)^2)^{1/3}$$

$$Error(\%) = 200 * (rCat - rAn) / (rCat + rAn)$$

Tabla 7.1. Resumen de los resultados de los análisis físico-químicos y bacteriológicos analizados (los 7 primeros) y otros análisis encontrados en la bibliografía. En rojo se muestran los resultados que sobrepasan el VMA de CAPRE, y en el caso de % de Error, indica los análisis poco fiables.

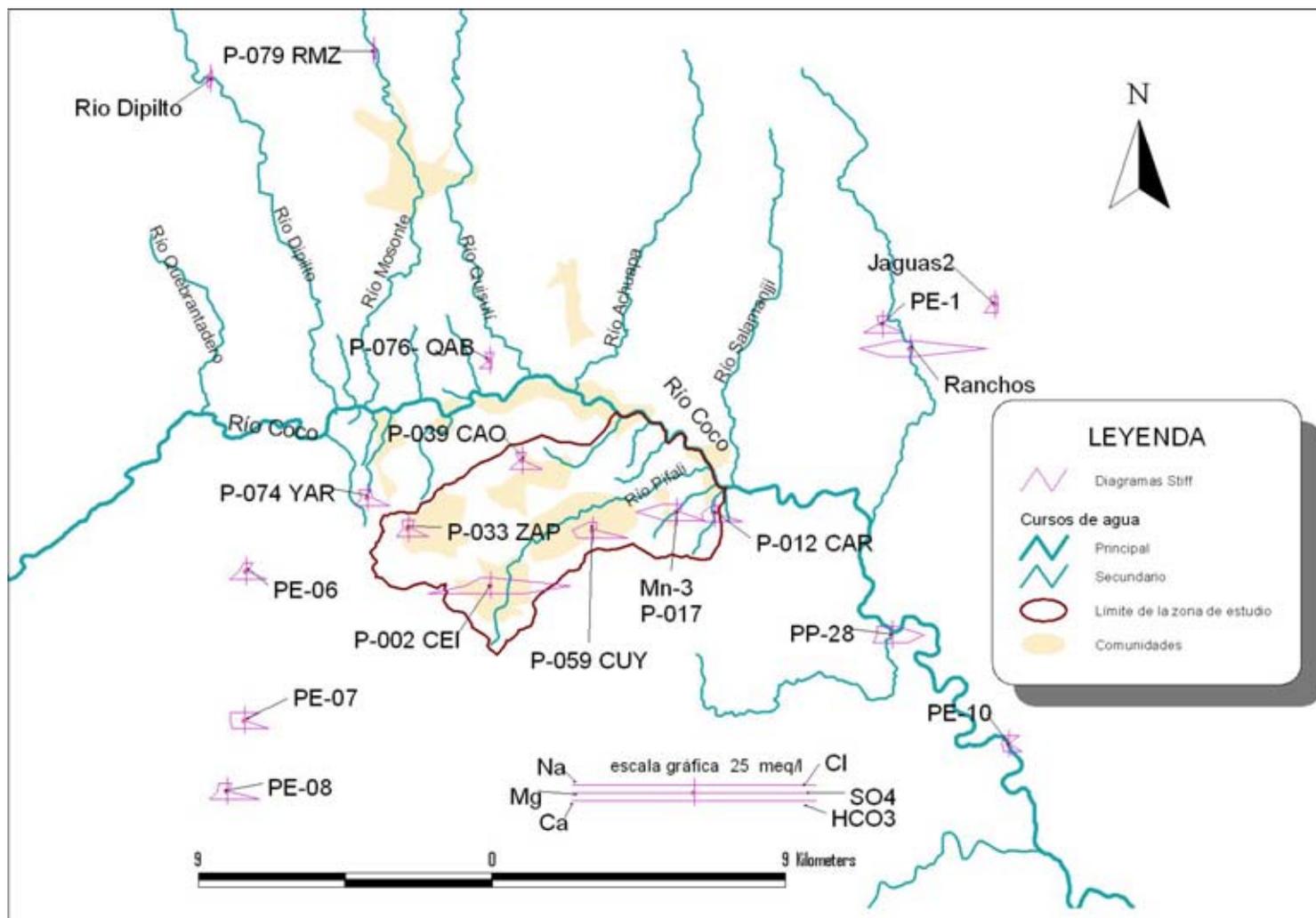
De estos análisis se ha aplicado un sencillo cálculo de balance de cargas de las aguas para verificar su validez, y en función de ellos (expresado en % de error) se ha tenido en cuenta sólo los resultados más coherentes según los criterios de Custodio et al, 1996. El análisis del Río Mosonte, siendo especialmente importante para las recomendaciones de este estudio para abastecimiento en agua potable, está más ampliamente comentado en el apartado 10 de Recomendaciones.

La alta concentración de sales parece estar relacionada con una alta concentración de  $\text{SO}_4$ , como puede observarse en el análisis del pozo de la Ceiba (punto P-002) y en el de Los Ranchos (hecho por Save the Children – ACSUR). La concentración de estos elementos es bastante rara ya que los materiales más presentes en la zona, los esquistos de Nueva Segovia, no presentan la mineralogía cuya disolución pueda dar estas concentraciones. No queda muy claro el origen de esta química de agua, pero se podría explicar con las siguientes hipótesis:

- La existencia de depósitos de yesos en los sedimentos paleozoicos que dieron lugar al Grupo Nueva Segovia. El yeso es altamente soluble y está compuesto principalmente por  $\text{CaSO}_4$ , por lo que podría ser el responsable de estas composiciones químicas del agua. No hemos observado ningún afloramiento de yesos en toda la zona, pero no trajeron una muestra de cristales de yeso (tal vez Selenita) provenientes de la comunidad de San Antonio.
- Esta alta concentración de  $\text{SO}_4$  podría venir también de la oxidación de sulfuros. Los esquistos y el lavado de las rocas volcánicas presentes en la cabecera de la microcuenca del Pifali, podría aportar las concentraciones de Azufre de los cristales de sulfuros, que disueltas en el agua darían  $\text{SO}_4$  disuelto. Esto explicaría las altas concentraciones presentes en la zona de cabecera, como es La Ceiba, que van siendo más equilibradas hacia las zonas bajas (ver análisis de Cuyal y El Caracol), pero el análisis de la fuente de El Zapote (P-033), pese a estar también en la cabecera y cercana a las rocas volcánicas, no tiene altas concentraciones de  $\text{SO}_4$ .

A partir de estos análisis, y en comparación a las recomendaciones para abastecimiento humano de CAPRE, se ha elaborado en un mapa aproximado de potabilidad de las agua, basándose principalmente en el mapa de salinidades (asumiendo que los puntos de igual conductividad, tendrán concentraciones iónicas similares) (ver zonificación de potabilidad en el mapa 7.1). Cabe resaltar que en este mapa es meramente aproximativo y que no refleja la contaminación bacteriológica, que es la causante de muchas enfermedades. A este respecto, los análisis bacteriológicos del Río Mosonte, del manantial de Apamiguel, y sobre todo el de El Zapote (P-033) son especialmente negativos. En este último sitio se puede correlacionar el elevado número de coniformes fecales encontrados con la anomalía en la concentración de Nitritos, contaminación producida seguramente por ganado que entre frecuentemente en los alrededores de la fuente.

El análisis más exhaustivo de los datos nos revela otro tipo de datos. La clasificación de los tipos de agua presentes, nos indica que existen dos grupo distintos de agua, la sulfatada cálcica, típica de la zona de la Ceiba y la bicarbonatada cálcica, típica de El Cacao y la zonas bajas de la cuenca.



**Mapa 7.2. Diagramas Stiff que muestran gráficamente la composición iónica principal de las aguas analizadas.**

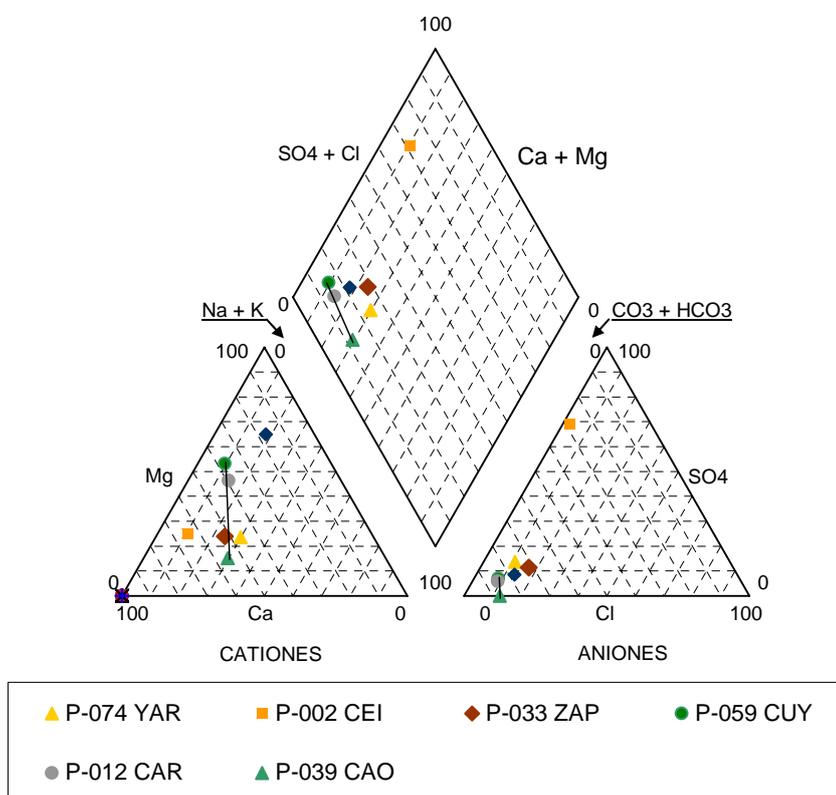
En la zona de estudio se pueden observar tres tipos distintos de agua. La proveniente de la zona situada en la Norte y Nor-Oeste del Río Pifali (Comunidades y Cacao, El Zapote e incluso el Yarage) son bicarbonatadas cálcicas, las de la zona Sur y Sur Este del río Pifali bicarbonatadas magnésicas (Cuyal, Apamiguel y Caracol) y finalmente, el agua de la zona de la cabecera de Pifali, en el Sur-Oeste (La Ceiba), es la más salina, de carácter sulfatadas cálcicas.

Lo primero que buscamos es la relación entre las aguas sulfatadas de La Ceiba y las bicarbonatadas de las zonas más bajas hacia las que, según la piezometría, debería fluir y por lo tanto mezclar su composición. Curiosamente no se ha encontrado ninguna relación clara, como muestra la figura 7.1, entre las aguas de La Ceiba y las analizadas aguas abajo . Tal

vez esto sea debido a que en la zona de mezcla no existe ningún muestreo, o porque el muestreo realizado aguas abajo sólo recoge agua del acuífero que proviene de otro lado. Las dos justificaciones parecen ser ciertas. Una relación más clara se observa entre el agua de El Cacao y las de El Cuyal, cuyas concentraciones mezcladas coinciden con las El Caracol, situado piezométricamente más bajo (ver relación en el diagrama de Piper, figura 7.1).

### DIAGRAMA DE PIPER

Sur de Mosonte



**Figura 7.1. Diagrama de Piper que representa las principales concentraciones iónicas de las aguas muestreadas al Sur de Mosonte. La línea une tres muestras que parecen estar relacionadas, siendo el agua del Caracol (P-012) mezcla de los dos extremos de la línea, que son El Cacao (P-039) y El Cuyal (P-059).**

Los análisis realizados han sido catalogados según su calidad para agua de riego. Pese a la dureza de algunas aguas (sobretudo las de la Comunidad de La Ceiba), todas las aguas no afectarían a la alcalinidad del suelo si se utilizaran para riego (Ver Diagrama en la Figura 7.2). En cambio, las aguas de salinidades superiores a los 700-800  $\mu\text{S}/\text{cm}^2$  de conductividad presentaría problema de salinización de los suelo en caso de riego más o menos extensivo. Habría que tener cuidado, por tanto, de utilizar correctamente el agua presente en las comunidades de La Ceiba, sector Oeste de El Cuyal y El Limón.

CLASIFICACION DE LAS AGUAS PARA RIEGO

Zona Sur de Mozonte

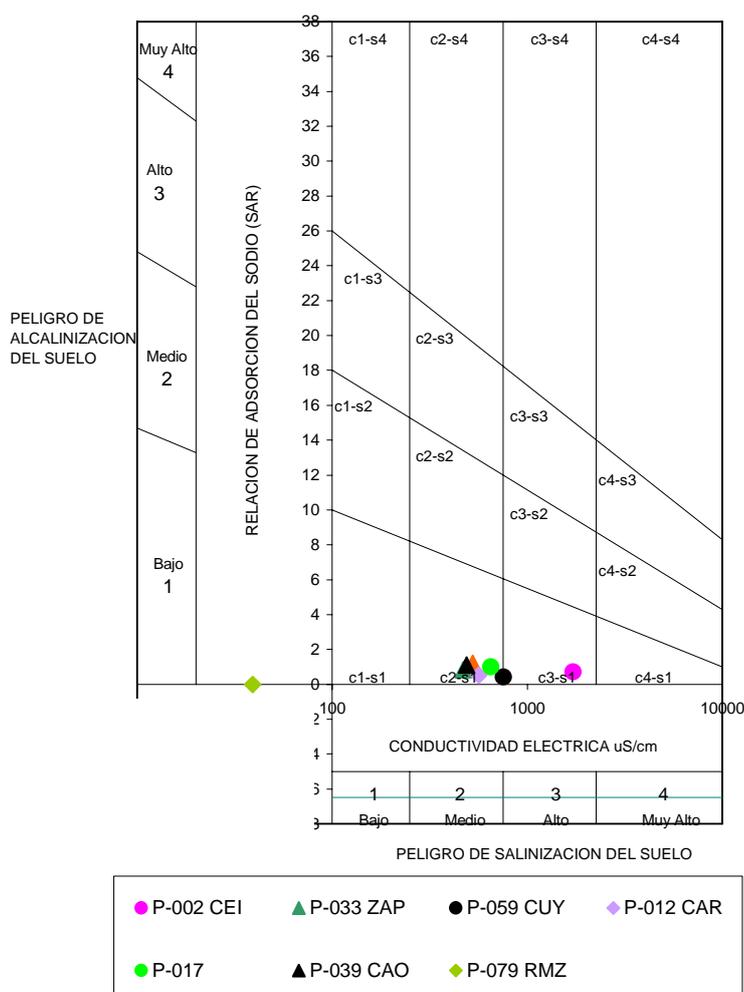


Figura 7.2. Diagrama de calidad de agua para riego. Únicamente el agua del Río Mosonte (P-079) no presenta riesgos de salinización del suelo. El agua de la muestra de La Ceiba (P-002) presenta un alto peligro de salinización del suelo

Se recomienda para posteriores estudio realizar un estudio más profundo sobre las causas de las altas concentraciones salinas de la cabecera del Pífali, que contra lo que suele ser habitual se van reduciendo agua abajo. Así mismo habría que realizar una segunda campaña de análisis físico-químicos del agua para poder completar algunos valores y tener mayor amplitud de datos; se recomienda en particular volver a hacer los análisis de Hierro del Río Mosonte-Los Arados (P-079), por ser anormalmente altos, y añadir en este punto un análisis del Manganese. También se recomiendan nuevos análisis en la comunidad de Apamiguel (P-017), cuyos análisis recogidos en el trabajo de INETER, 2004, son algo distintos al resto de análisis de la zona.

## 8. Balance Hídrico

Para conocer el funcionamiento del movimiento de las aguas, tanto superficiales como subterráneas, es necesario estimar, en la medida de lo posible, el balance entre las entradas y salidas de agua en la zona de estudio. Esta cuantificación es muy complicada de hacer detalladamente ya que depende de gran cantidad de factores cuyo cálculo es extremadamente difícil. Lo que a continuación se presenta es una estimación muy somera del balance hídrico, que en ningún caso debe usarse en sentido estricto sino como mera aproximación para poder inferir posibles tendencias.

Para calcular el balance del sistema es necesario conocer:

### Entradas:

1. **Precipitaciones:** calculada, en este caso a partir de los últimos 10 años de mediciones en la estación de Ocotál (sólo se tuvieron en cuenta los datos de esta estación por ser la única que por su proximidad y características se ajusta a lo que podría llover en la zona de estudio).

2. **Entradas Subterráneas:** en este caso no se ha estimado esta cantidad por carecer de datos. Se ha hecho el modelo suponiendo que es nula, a pesar que según la piezometría elaborada en este estudio se produce un aporte subterráneo proveniente de la zona sur hacia la falla del Pífalí y de allí hasta el Río Coco

Recarga en el acuífero:

3. **Infiltración:** Se trata de calcular que cantidad de la lluvia que ha penetrado a través del suelo para alcanzar el nivel freático. Para ello es necesario conocer una serie de parámetros que son difíciles de obtener o de aproximar a todo una zona, como el tipo de suelo (estimado como “franco a franco arcilloso”), espesor medio del suelo (30 cm.), densidad aparente del suelo (1.4), profundidad radicular (75 cm), Punto de Marchitez Permanente (0.15) y laminación (cantidad de lluvia a partir de la cual se produce escorrentía – estimado en 140 mm.).

Salidas:

4. **Evapo-Transpiración:** Se trata de la suma de la evaporación del agua de lluvia y la transpiración causada por los seres vivos, en su inmensa mayoría por la vegetación. Se ha calculado esta salida de agua a través de dos métodos. Con el método de Thornwaite (que mucho más complejo), se han obtenido valores más altos que con el método directo (se trata de aplicarle el 80 % a los datos de Evaporación Potencial medidos en la estación de Ocotal).

5. **Escorrentía superficial:** El total de agua de lluvia que no se evapora y no se infiltra en el suelo va ser incorporada por las aguas superficiales y sacada rápidamente del sistema a través de la red de drenaje.

6. **Escurrimiento subterráneo:** Es el total de agua que fluye subterráneamente fuera de los límites de la zona de estudio, en este caso al Río Coco. Para realizar este difícil dato hay que realizar una aproximación a través de la fórmula de Darcy:  $Q = T * i * L$ ; siendo Q = Caudal de salida (resultando , T = Transmisividad media de la zona (calculada a partir de

ensayos de bombeos realizados en la zona – expuestos en el ANEXO 9-),  $i$  = gradiente hidráulico (calculado gráficamente con el mapa piezométrico y  $L$  = La longitud de la sección por la que estima que se produce el escurrimiento (medida también gráficamente a partir del mapa piezométrico).  $Q = 24 \text{ m}^2/\text{día} * 0.057 * 5000 \text{ m.} = 2.5 \text{ Hm}^3/\text{año}$

7. **Extracciones:** Es el total del agua utilizada por el ser humano en la zona. En este caso se trata únicamente del consumo de abastecimiento y aseo, estimado en 20 l. por día y por persona, siendo el total de 0,15  $\text{Hm}^3/\text{año}$ .

### BALANCE HIDROMETEOROLÓGICO

A través de estos datos podemos saber muy aproximadamente como se distribuye, año tras año, el total de agua que llueve en la zona.

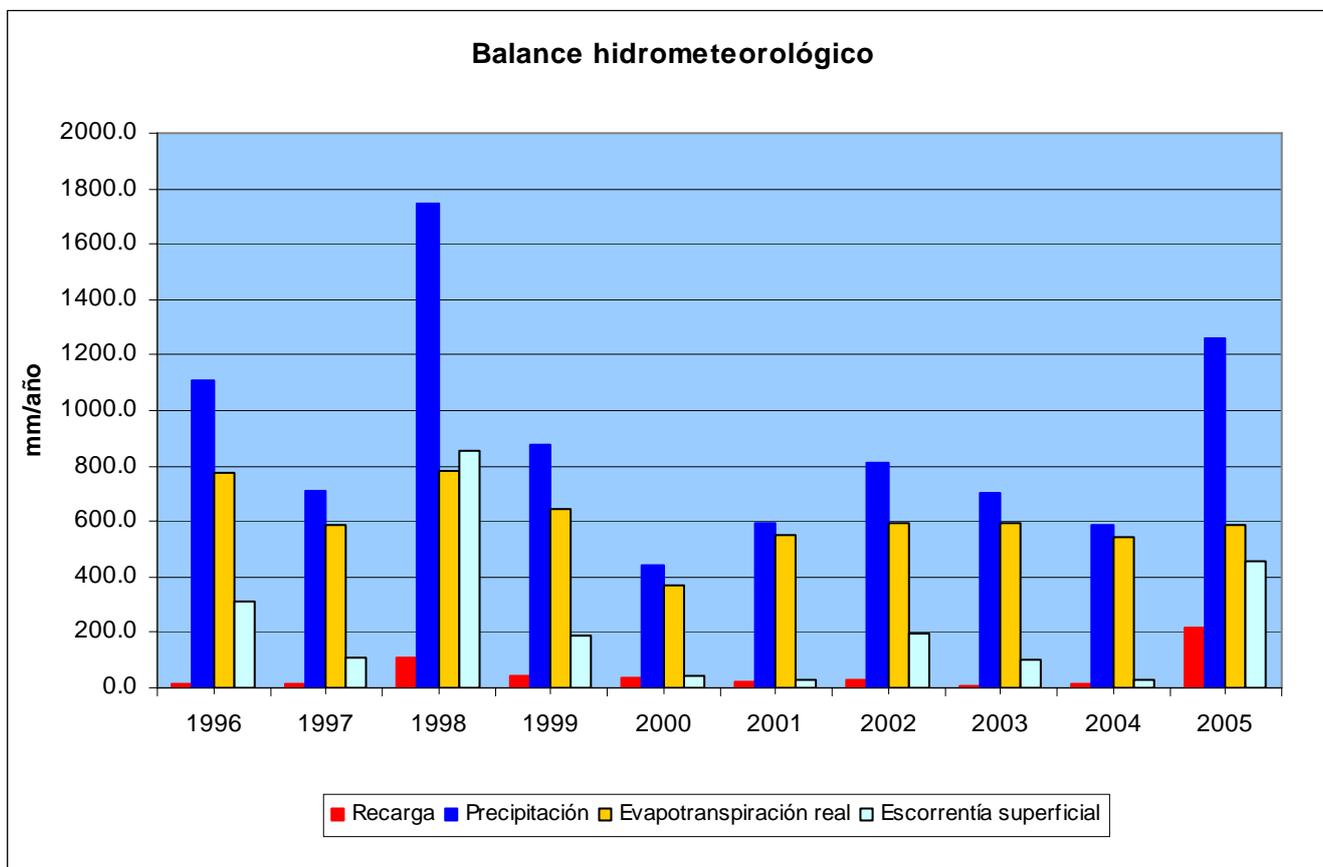
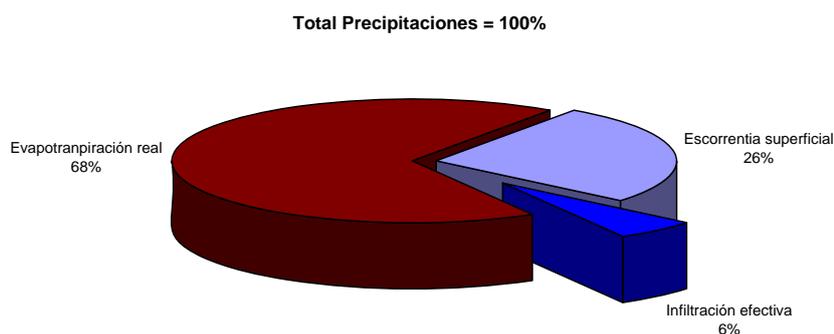


Figura 8.1. Balance Hidrometeorológico de 1996 a 2005 de la zona de estudio.

El año del Huracán Mitch (1998), fue si duda el que mayor precipitaciones recibió, pero la recarga del acuífero no fue la más alta. En ese año las agua superficiales fueron dramáticamente incrementadas, ya que llovió muy intensamente en poco tiempo, lo que provocó que los suelos sólo fueran capaces de infiltrar al acuífero un pequeña proporción de la lluvia. En el año 2005, hubo una temporada muy larga de lluvias tropicales, bien distribuida a lo largo de la estación húmeda, lo que permitió que se infiltrara mayor cantidad de agua al acuífero.

Si hacemos la media de los últimos diez años (de 1996 hasta 2005) tenemos que del total llovido (Precipitación = 885mm/año;100), casi dos tercio vuelve al cielo en forma de vapor (Evapo-Transpiración Real = 601.9 mm/año; 68%), + un cuarto fluye superficialmente aguas abajo (Escorrentía Superficial = 242.8 mm/año; 26.3%) y tan sólo un poco llega a formar parte del acuífero (Recarga = 50.3 mm/año; 5.6%).



**Figura 8.2. Media del Balance Hidrometeorológico de la zona de estudio.**

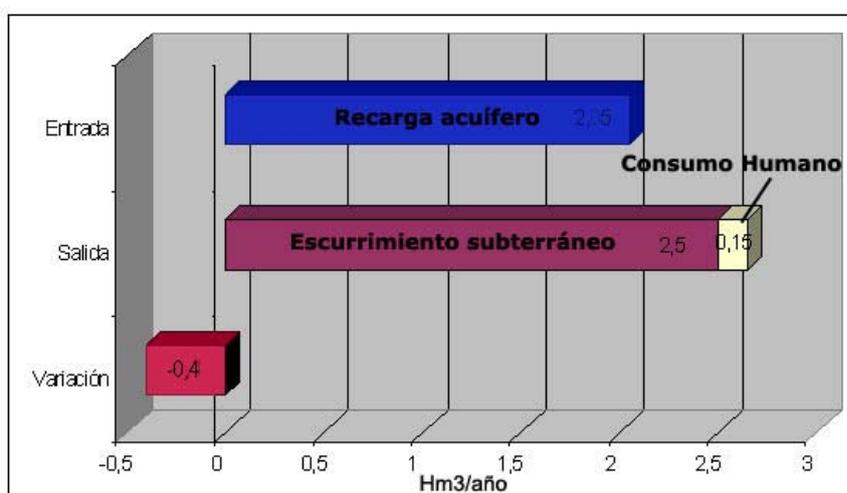
Del balance hidrometeorológico se deduce una recarga al acuífero por precipitación directa sobre la cuenca de 50.3 mm/año, por lo que siendo el área total de la zona de estudio de 40.85 km<sup>2</sup>, tenemos supuestamente una recarga del acuífero de 2 Hm<sup>3</sup>/año.

## BALANCE HIDROGEOLÓGICO

El cálculo de las entradas y salidas del agua subterránea nos indica posibles tendencias en el nivel freático.

Entrada (recarga del acuífero = 2 Hm<sup>3</sup>/año) = Salidas (Escorrentía subterránea = 2.5 Hm<sup>3</sup>/año + Extracciones = 0.15 Hm<sup>3</sup>/año) + Variación en el almacenamiento + error (entre los dos = -0.65 Hm<sup>3</sup>/año).

Las salidas calculadas son superiores a la entrada, lo que nos da una variación en el almacenamiento del acuífero negativo. Esto quiere decir que con el tiempo el nivel del acuífero tiende a descender. Una variación de un metro en el nivel freático provocaría una variación de 0,4 Hm<sup>3</sup>/año en el almacenamiento. Los pobladores de la zona han constatado que el nivel de sus pozos han ido descendiendo con el tiempo, incluso hemos observado que algunos manantiales se han secado. Sin embargo, un descenso de un metro en el nivel del agua subterránea por año es tal vez excesivo, por lo que se cree que tal vez el error sea mayor.



**Figura 8.3. Balance Hidrogeológico de la Microcuenca de Pifalí-Cacao.**

En resumen, el nivel de las aguas subterráneas tiende a disminuir con el tiempo debido a que la infiltración efectiva que recarga el acuífero es insuficiente por lo que existe una disminución progresiva del volumen de agua almacenada subterráneamente (variación entre salidas y entradas subterráneas negativa)

## 9. Conclusiones

La zona Sur del Municipio/Pueblo Indígena de Mosonte se encuentra en una situación de gran estrés hídrico de difícil solución. Son varios los factores que hacen que sea bastante complicado solucionar el gran problema de abastecimiento en agua potable que sufren estas comunidades; algunos de ellos evidentes, como la inexistencia que importantes fuentes de agua o ríos permanentes en la inmediaciones, la gran dispersión de las casas dentro de cada comunidad (a excepción de Apamiguel), la inexistencia de red eléctrica (lo que limita mucha las posibilidades de un completo abastecimiento con pozos profundos) o la propia condición de pobreza extrema en la que viven sus pobladores. Otros factores negativos han salido a relucir tras este estudio, y serán comentados a continuación. A pesar de todo ello, creemos que existen posibilidades reales para cumplir el objetivo de abastecimiento, sobre todo debido al interés y apoyo que hemos sentido tanto por parte de los pobladores como de las instituciones locales y nacionales.

La zona de estudio está conformada en más de 90% por un terreno de esquistos y cuarcitas muy antiguas (Grupo Nueva Segovia) que dan un acuífero de escaso rendimiento, en el que las aguas subterráneas circulan con mayor facilidad por la zona superficial del mismo, debido a la mayor meteorización, que en la zona más profunda, donde disminuye estas alteraciones y en consecuencia disminuye la permeabilidad hasta ser prácticamente nula.

Estas rocas conforman el basamento de toda Centro-América, por lo que no se cree que exista un mejor acuífero a mayor profundidad.

Todas las rocas se encuentran muy fracturadas, creando zonas preferentes de circulación tanto de las aguas superficiales como de las subterráneas. Con la piezometría realizada se ha observado que las aguas subterráneas tienden a circular hacia la falla del Río Pífalí y de allí hacia el Río Coco. Estas fracturas podrían ser buenos puntos para perforación de pozos.

Debido a la escasa transmisividad de la zona, la circulación de las aguas subterráneas es muy lenta, por lo que las aguas van disolviendo las rocas, alcanzando altas concentraciones salinas (reflejadas por elevadas conductividades). Mediante el muestreo de 8 puntos de agua, se ha comprobado que las altas salinidades presentes, sobre todo en la Comunidad de La Ceiba, pero igualmente en El Cuyal y en parte de El Cacao y El Limón, se debe principalmente a la disolución de Sulfato de Calcio, seguramente debido a existencia, aún no comprobada, de capas de Yesos intercaladas entre los esquistos. Se ha estimado que los puntos de agua con conductividades mayores a  $900-1000 \mu\text{s}/\text{cm}^2$ , tienen concentraciones de Sulfato, Ca y Mg más elevadas que lo recomendado por CAPRE, y por lo tanto se consideran no potables. Aparte de estas zonas, donde las aguas son sulfatadas cálcicas, los demás puntos de agua, con salinidades menores (por debajo de los  $600 \mu\text{s}/\text{cm}^2$ ), son bicarbonatadas cálcicas o magnésicas, y tienen concentraciones iónicas dentro de los límites de potabilidad.

En este estudio se ha realizado una estimación muy somera de las entradas y salidas de agua de todo el sistema hídrico de la zona. Encontramos que el acuífero se recarga muy lentamente y que de las lluvias casi todo se pierde por evaporación y escorrentía superficial. El balance hídrico de las aguas subterráneas es negativo, lo que explica la disminución del nivel freático de las aguas, hecho comprobado por los propios habitantes de la zona.

La organización local en torno al agua está poco estructurada, pero ha sido impulsada con un programa de apoyo a los Comités de Agua Potable y Saneamiento (CAPS) de 10 comunidades de Mosonte, realizado por Geólogos del Mundo, Pueblo Indígena de Mosonte y el Servicio Holandés de Cooperación al Desarrollo. Mediante estas acciones se está consiguiendo que los CAPS estén legalmente inscritos como organizaciones y tengan una organización lo bastante buena como para manejar presentes y futuras infraestructuras de agua potable.

Con todos estos datos se ha elaborado unas conclusiones para el abastecimiento en agua potable de las comunidades y se ha propuesto, en el siguiente apartado las recomendaciones.

### Conclusiones para abastecimiento

- Los manantiales y pozos de la zona no son suficientes para el abastecimiento de los habitantes de la zona y en época de verano suelen disminuir su caudal y profundizarse en varios metros,
- Las infraestructuras de los sistemas por gravedad y algunos pozos están en mal estado,
- El agua subterránea superficial disponible en la zona es escaso y en algunas ocasiones no potable,
- La perforación de pozos de mayor profundidad tienen numerosas posibilidades de resultar inadecuados para abastecimiento (por ser el acuífero de escaso rendimiento y mala calidad); Hay que realizar estudio geofísico (SEV) y buscar zonas de falla,
- Es imprescindible mejorar el funcionamiento de los CAPS para poder realizar cualquier inversión en agua potable y saneamiento en la zona.

## 10. Recomendaciones para abastecimiento

Una vez finalizado el estudio nos hemos centrado en hallar la mejor solución posible para el abastecimiento en agua potable de las comunidades incluidas en este proyecto.

La perforación de pozos no parece ser la mejor solución (siendo que además la zona no dispone de conexión a sistema eléctrico, por lo que sólo se podría bombear el agua manualmente) debido a que, buscando agua a mayor profundidad de la excavada hasta ahora (nunca más de 12 metros en la zona sur), tenemos bastante posibilidades de encontrarnos con un entorno de baja permeabilidad y con un aumento de la salinidad del agua.

De realizarse una perforación con máquina se recomienda realizar un estudio geofísico previo para localizar alguna zona de falla donde haya una circulación preferente del agua subterránea (mayor transmisividad) y situarse en la zona con aguas de conductividades medias a bajas (ver Mapa 7.1), para tener más posibilidades de conseguir agua potable.



**Posible lugar de ubicación de la captación**

Otra posible solución sería mejorar y ampliar los puntos de agua existentes en la zona. Se trataría de realizar un Saneamiento y ampliación de los principales manantiales (con el fin de mejorar su caudal y condiciones salubres), captar algún nuevo manantial (como por ejemplo el P-041 de El Cacao) y realizar una serie de pozos excavados en zonas desabastecidas. Estas obras podrían aportar una mejora a las condiciones de vida de los habitantes, pero creemos que sólo serviría como solución a corto plazo.

En el siguiente cuadro se presentan las distintas alternativas para el abastecimiento de las comunidades de estudio de la zona sur de Mosonte con un breve comentario sobre sus beneficios y problemática.

Alternativa	Beneficios	Inconvenientes
<b>Perforación de pozos perforados profundos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fuente cercana</li> <li>- Menor contaminación bacteriológica</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pocas posibilidades de éxito (escasos caudales)</li> <li>- Altas posibilidades de encontrar aguas de alta salinidad</li> <li>- No existe red eléctrica</li> <li>- Bomba solar = difícil mantenimiento</li> <li>- Bomba manual = solución a corto plazo</li> </ul>
<b>Perforación de pozos manuales</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Económico</li> <li>- Fuente cercana</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Riego de secarse con el tiempo</li> <li>- Solución a corto plazo</li> </ul>
<b>Mini-acueductos por sectores</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Agua químicamente más pura</li> <li>- Se puede realizar por fases</li> <li>- Mantenimiento sencillo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Requiere de muchas infraestructuras</li> <li>- En conjunto puede resultar más caro para abastecer a igual número de beneficiarios</li> </ul>
<b>Acueducto para todas las comunidades</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fuente de agua perdurable</li> <li>- Agua químicamente más pura</li> <li>- Economiza infraestructuras</li> <li>- Solución a largo plazo</li> <li>- Mantenimiento más o menos sencillo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alto presupuesto</li> <li>- Sostenibilidad</li> </ul>

Tras este análisis, recomendamos con mejor solución a la problemática de abastecimiento actual de estas comunidades, traer agua de un lugar externo a la microcuenca del Pífali. Esta solución, que hemos llamado “Proyecto de abastecimiento público integral de agua potable para la zona Sur del Municipio de Mosonte”, es un proyecto ambicioso que se fundamenta en la realización de una captación en el Río Mosonte (P-079), un acueducto de unos 17 kilómetros, un gran depósito de agua en El Zapote y una red de distribución que llevaría el agua potable hasta 10 comunidades.

Los beneficios de esta idea son:

- Solucionaría en una sola obra el abastecimiento en agua potable durante las dos estaciones a toda la población presente y la futura para un periodo de 20 años.
- Reduciría considerablemente la distancia a los puntos de toma de agua por lo que los pobladores, en especial las mujeres y los niños, dispondrían de mucho más tiempo.
- Las tareas de Higiene y Saneamiento podrían ser realizadas mucho más fácilmente.
- Dejaría las instalaciones de agua preexistentes para otros usos que mejorarían la calidad de vida de la población, como es el aguado de ganado y el riego (muchas de las aguas de la zona no son aptas para consumo humano pero sí lo son para



**Mapa 9.1. Mapa de ubicación de las conducciones y depósitos de la propuesta de abastecimiento**

agricultura y ganadería).

Los inconvenientes:

-Elevado coste del proyecto, para el que habría que buscar varios financiadores. Durante el foro del agua, actividad que se realizó para presentar y discutir los resultados de este estudio (ver ANEXO 10), se contactó con posibles financiadores para el proyecto.

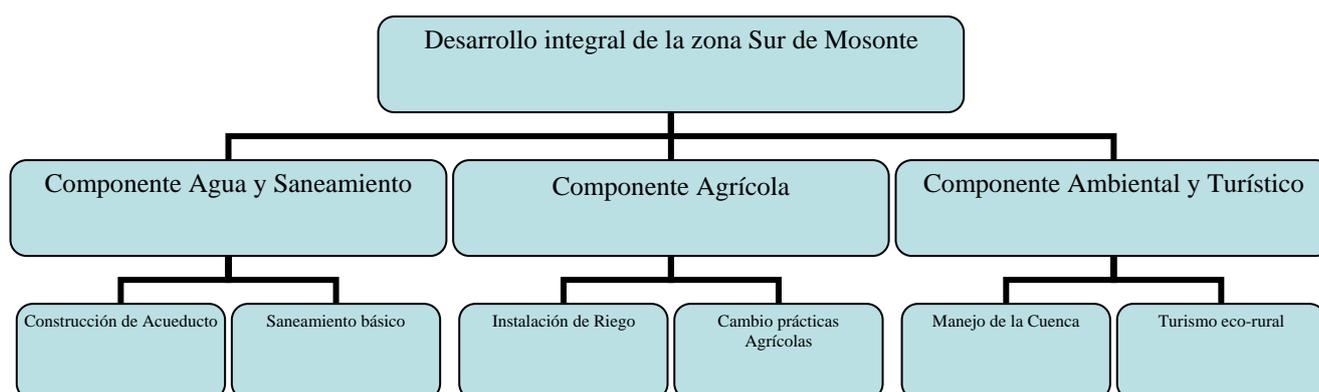
- El análisis físico-químico realizado en el posible punto de captación P-079 (ver fotografía 7.2), tiene un alto grado de error, tal vez inducido por las bajas concentraciones iónicas de esta agua superficial. El dato más preocupante es el altísimo valor que se encontró de Hierro, unas 15 veces superior al límite máximo recomendado por CAPRE (ver tabla análisis de agua). Esta concentración nos parece improbable debido a que un agua con tanta cantidad de Hierro presentaría un aspecto bien distinto al que presenta el Río Mosonte. Es imprescindible volver a realizar unos análisis químicos en este punto para comprobar este dato y mejorar las otras concentraciones (en este punto tal vez sería interesante realizar también un análisis de la concentración de Manganeso, por lo general muy unida al Hierro). Los datos físicos y bacteriológicos del agua indican que esta fuente debe ser filtrada (para eliminar los materiales suspendidos típicos de agua superficiales) y desinfectada (alta concentración de coniformes fecales).

-Finalmente, uno de los inconvenientes más delicados es la capacidad de las comunidades para dar el mantenimiento correcto a esta obra. Las zonas más pobres y con mayor hambruna suelen ser siempre las que más dificultades de organización presentan. A este respecto Geólogos del Mundo junto con Pueblo Indígena de Mosonte y SNV han estado desarrollando desde hace más de 4 meses un seguimiento de los Comités de Agua Potable y Saneamiento de las 10 comunidades incidiendo en su capacidad organizativa, legislativa y administradora. Este acompañamiento será continuado durante los próximos meses y reforzado con la entrada de la Unidad Municipal de

Agua y Saneamiento del Municipio de Mosonte, aportado por FISE y la Alcaldía de Mosonte.

Para que estas infraestructuras afectaran realmente en la calidad de vida de los habitantes del Sur de Mosonte, habría que realizar una tarea de desarrollo integral de la zona, trabajo complejo y prolongado que sería posible desarrollar únicamente si se dispone de agua, y si existe una coordinación de todas las instituciones y ONG que se interesan por el futuro de estas poblaciones indígenas.

En el siguiente cuadro se resumen los campos de acción que habría que desarrollar para conseguir un desarrollo integral de la zona.



## 11. Agradecimientos

- Población de las Comunidades del Estudio
- Pueblo Indígena de Mosonte
- Alcaldía de Mosonte
- Compañeros de Geólogos del Mundo, en especial a los de la Laguna de Apoyo
- MINSA
- ENACAL
- SNV
- FISE
- Otros organismos locales: AMUNSE, ACSUR, Ayuda en Acción, ADRA, UNAG, INETER, ...
- A Esther Alonso, Pedro Lucha y Andrés de Leyva
- .... y a todos los que nos han brindado su apoyo y aliento

## 12. Bibliografía

- Asociación de Cooperación con países del SUR- Las Segovias (ACSUR) - SAVE THE CHILDREN CANADA. *Informe final de supervisión de pozos perforados en comunidades de los Municipios de Mozonte y Ciudad Antigua, Departamento de Nueva Segovia.* 2004
- Asociación de Cooperación con países del SUR-Las Segovias (ACSUR) - SAVE THE CHILDREN CANADA. *Proyecto de emergencia para acceso a agua y semillas en el Municipio de Palacagüina.* Informe Final de Supervisión de 19 pozos perforados. 2004
- Adventist Development and Relief Agency (ADRA). *Informe de las perforaciones realizadas en el Municipio de Totogalpa,* 2006.
- Agencia de Desarrollo Económico Local de Nueva Segovia (ADEL-NS). VALLE G., C. *Recursos Hídricos del Municipio de Mosonte y propuestas de aprovechamiento.* 2001.
- BLANDINO, Bismark Petrografía de las rocas Metamórfica de Macuelizo, NS, Tesis de Maestría, UNAM. 2006
- HODGSON VALREY, G. *Introducción al léxico estratigráfico de Nicaragua.* UNAN, Managua. 2000.
- CAPRE, (1994). Normas de Calidad del Agua para Consumo Humano. Comité Coordinador Regional de Instituciones de Agua Potable y Saneamiento de Centro América, Panamá y República Dominicana. San José, Costa Rica.
- Custodio E. y Llamas M., (1996). Hidrología Subterránea. Tomo I. Ediciones Omega, Barcelona. España.
- Instituto Nacional de Estudios Territoriales (INETER) - Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE). *Informe final del Estudio de Mapificación Hidrogeológica e Hidrogeológica de la Región Central de Nicaragua.* 2004.
- Instituto Nacional de Estudios Territoriales (INETER). Datos Meteorológicos de las estaciones de Ocotal, Dipilto, Telpaneca. Años 1968-2006
- Instituto Nacional de Estudios Territoriales (INETER). Mapas Geológicos, Mapa Topográfico 1:50.000 Ocotal, San Fernando, Condega,. 1989
- OMS (Organización Mundial de la Salud - World Health Organization). Guidelines for Drinking-water Quality. Volume 1 Recommendations. Third Edition. Geneva. 2004
- Quintero Román, Roberta. Estudio Geológico del Metamorfismo de Contacto, San Fernando, Tesis de Maestría de UNAM. 2006
- -Servicio Geológico Checo (SGC) - Instituto Nacional de Estudios Territoriales (INETER). *Estudio geológico de riesgos naturales en la parte NOE de Nicaragua, Departamento de Nueva Segovia, en los alrededores de la ciudad de Ocotal.* 2005.