

# EVALUACIÓN CUANTITATIVA DEL RECURSO HÍDRICO SUBTERRÁNEO DE LA MICROCUENCA DEL RÍO SAN ANTONIO, MUNICIPIO DE NEJAPA, DEPARTAMENTO DE SAN SALVADOR

---

Elaborado por:

**Ing. M.Sc. Marcia Barrera de Calderón**

Evaluación hidrogeológica y de gestión del recurso.

Técnico en Evaluación Ambiental, GEA-DGECA-MARN

**Tec. Miguel Juarez**

Geoprocesamiento SIG

Auxiliar en Monitoreo Hídrico

en Sistemas de Información Geográfica

Programa Fondo de Agua –DGECA-MARN

## RESUMEN

El acuífero de Nejapa es uno de los recursos hídricos subterráneos de gran importancia para el abastecimiento de agua de importantes ciudades del departamento de San Salvador, hoy en día es utilizado principalmente para abastecimiento humano y en menor proporción para la producción de importantes industrias internacionales que tienen como materia prima el agua. Diferentes actores en tema de recursos hídricos reportan condiciones extremas en cuanto a la disponibilidad de agua subterránea en el acuífero, por una parte los interesados en obtener autorizaciones de extracción reportan disponibilidad a largo plazo, mientras que otros han indicado que la condición del acuífero es de sobreexplotación. Siendo el MARN el rector del recurso hídrico para el otorgamiento de permisos de aprovechamiento del agua, se consideró necesaria la evaluación cuantitativa del recurso, aplicando un método similar al aplicado por otros autores, a fin de obtener resultados objetivos que le permitan la toma de decisión sobre la viabilidad o no de emitir nuevas autorizaciones o ampliación de las extracción de agua e incrementar el bombeo en el acuífero garantizando la sostenibilidad del recurso. Los resultados indicaron que el sistema tiene una recarga potencial de 19.56 millones de metros cúbicos al año (MMCA) y que las extracciones por bombeo son de aproximadamente 12.73 MMCA, aflorando el resto (7.02 MMCA) en el nacimiento del río San Antonio, lo cual se ha estimado como el caudal base del río, dada la falta de registro de aforos en dicho cuerpo de agua. En base a los resultados, se ha recomendado que para prevenir la disminución del caudal en el río San Antonio a condiciones que puedan ser irreversibles, el MARN debe emitir un Acuerdo Ministerial de suspensión temporal de permisos de aprovechamiento de agua en la microcuenca del río San Antonio, hasta que se conozca con mayor certeza el comportamiento del sistema y la disponibilidad de agua en el acuífero, para lo cual se coloca como principal eje de trabajo, la elaboración de un estudio más profundo e integral, que contemple un modelo numérico y que permita valorar la posibilidad de aporte de otras microcuencas para que se definan las acciones de gestión del agua subterránea bajo las cuales se promueva la sostenibilidad del recurso hídrico subterráneo de la zona.

## 1. CONTEXTO

La zona de estudio está delimitada por la microcuenca hidrológica del río San Antonio (latitud Norte 13° 52' 27.85" - 13°44'08.40" y longitud Oeste 89°16'57.04" - 89°11'86.11), dicho río es afluente del río Acelhuate y luego se integra al flujo del río Lempa, por lo que pertenece a la región hidrográfica A de El Salvador (Mapa 1 en anexo 1). El río San Antonio tiene la particularidad de que todo su recorrido lo realiza dentro del municipio de Nejapa, sin embargo su microcuenca comprende a los municipios de Nejapa, Quezaltepeque, Mejicanos, Apopa, San Salvador y Nueva San Salvador de acuerdo a los datos presentados en la Tabla 1, la distribución espacial del territorio puede apreciarse en el mapa 2 del anexo 1. El área de la microcuenca del río San Antonio es de 56.85 km<sup>2</sup>.

Tabla 1 Porcentaje de territorio de los municipios dentro de la microcuenca

Municipios	Área (Km <sup>2</sup> )	%
Nejapa	46.78	82.3
Quezaltepeque	6.47	11.4
Santa Tecla	1.41	2.5
Apopa	1.07	1.9
San Salvador	1.00	1.8
Mejicanos	0.12	0.2
Total	56.85	100.0

Bajo el territorio de la microcuenca del río San Antonio, concentrado en la zona media baja de la misma, subyace el acuífero de Nejapa, un importante recurso de agua subterránea existente en Nejapa y en el área metropolitana de San Salvador (AMSS), y que actualmente se utiliza como fuente de abastecimiento para consumo humano además de tener captada la atención de la Industria para su aprovechamiento.

Considerando la alta importancia y demanda que tiene el acuífero de Nejapa, se hace necesario desarrollar una evaluación cuantitativa del recurso hídrico subterráneo de la microcuenca a fin de establecer el estado de dicha masa de agua.

## 2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El acuífero de Nejapa tiene gran importancia en términos de abastecimiento de agua a poblaciones, los sistemas de aprovechamiento de agua por medio de pozos y captación de manantiales forman parte de uno de los dos grandes sistemas de abastecimiento de la capital, el sistema Zona Norte, con el que se supe parte de las demandas de la zona sur occidental del AMSS. En los últimos años, se ha venido desarrollando vías de conexión en la zona de y sus alrededores, lo cual genera atracción a los inversionistas en cuanto al establecimiento de nuevas empresas, especialmente industriales o al traslado de otras hacia el sector, dicha situación a su vez conlleva

hacia el aumento de la demanda de agua en la microcuenca. Debido a la importancia creciente del uso del agua en la microcuenca, diferentes sectores de la sociedad (municipalidades, comunidades, empresarios, administradores del agua) tienen diferentes posiciones, a veces contrarias entre ellas, en cuanto a la viabilidad de que se continúe extendiendo permisos de aprovechamiento de agua del acuífero ya que se considera por una parte, que el acuífero tiene capacidad de aprovechamiento sin que ello afecte la disponibilidad, y por otra, que el acuífero ya no tiene capacidad de más extracciones y podría caer en una condición de sobreexplotación. Frente a esta situación, se hace determinante que el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN), como ente rector del recurso hídrico en El Salvador, realice una evaluación objetiva del estado cuantitativo del agua subterránea del acuífero para poder evaluar la condición de viabilidad ambiental del otorgamiento de permisos de aprovechamiento de agua sin que ello ponga en peligro la disponibilidad del recurso en el presente y en el futuro, y que los resultados permitan a su vez la adopción de medidas de gestión del recurso para garantizar la sostenibilidad del agua subterránea del acuífero de Nejapa.

### **3. OBJETIVOS DEL ESTUDIO**

- Realizar una evaluación cuantitativa del agua subterránea del acuífero de Nejapa, delimitando su área de Influencia como la microcuenca del río San Antonio, en el municipio de Nejapa, departamento de San Salvador.
- Establecer la condición de explotación del acuífero a partir del análisis oferta – demanda de agua subterránea en la microcuenca del río San Antonio.
- Proporcionar recomendaciones sobre la gestión del agua subterránea del acuífero de Nejapa, orientadas hacia la búsqueda de la disponibilidad del recurso para las futuras generaciones.

### **4. DELIMITACIÓN Y LIMITACIONES DEL ESTUDIO**

#### **Delimitación del estudio**

El presente estudio se llevó a cabo durante los meses de mayo y junio de 2013, el trabajo aquí presentado se limita a la evaluación del estado cuantitativo del agua subterránea de la microcuenca del río San Antonio, para lo cual el análisis se basa únicamente en la estimación de la oferta y la demanda del acuífero profundo existente en la microcuenca. No se realiza en este estudio una evaluación de las condiciones de flujo y su comportamiento, ni se realiza un análisis de los estratos acuíferos que son explotados. El estudio ha considerado que el sistema es cerrado y que las entradas de agua en el mismo únicamente corresponden a aquellas que se dan en la microcuenca del río San Antonio. Queda para futuras investigaciones complementar el estudio con la evaluación del estado cualitativo de las aguas subterráneas de la zona.

#### **Limitaciones del estudio**

Para el desarrollo del trabajo se han considerado como limitantes las siguientes situaciones:

- Falta de información de evapotranspiración potencial en la zona de estudio, especialmente en la parte alta del volcán de San Salvador, razón por la cual se utilizó las ecuaciones de correlación Altitud-Evapotranspiración de Referencia<sup>1</sup> (SNET,2005) para estimar los valores de las zonas altas del volcán de San Salvador.
- Falta de datos de campo de la permeabilidad vertical del suelo en la zona de estudio, lo cual obliga a que se asuman valores sobre la base de criterios técnicos, pero que puede generar diferencias en los resultados.
- Falta de información sobre densidad aparente, capacidad de campo y punto de marchitez del suelo, así como de profundidad media de las raíces de la cobertura vegetal de la zona, por lo que se asumieron valores de tablas al respecto.
- Carencia de macromedidores o medidores de caudal en algunas de las fuentes de agua que actualmente extraen agua del acuífero, así como falta de acceso a fuentes de agua existentes en la zona. Esta condición puede generar una pequeña variación en las demandas, además de que las mediciones de extracción se han realizado de manera puntual evaluando períodos muy cortos de registro (aproximadamente 1 mes) donde se contaba con ellos.
- Falta de monitoreo de caudales mensuales en el río San Antonio, lo cual limita la estimación del caudal base.

## 5. METODOLOGÍA

Para determinar el Balance de Masas de la Microcuenca del río San Antonio, Nejapa, se han estimado tanto las entradas como las salidas del sistema y se han consultado diferentes estudios de la zona realizados donde se establecen las condiciones de disponibilidad de agua en términos de su cantidad.

### Entradas al sistema

Se ha considerado como fuentes de ingreso al sistema, la recarga directa por precipitación y los retornos por fugas en el sistema de distribución de agua potable del municipio, la recarga de agua subterránea en la microcuenca se determinó en forma mensual para obtener finalmente una recarga anual; se utilizó el método de cálculo de la recarga potencial de acuíferos mediante un balance hídrico de suelos<sup>2</sup>, la cual considera como variables: la precipitación mensual, la retención pluvial, la capacidad de infiltración de los suelos y sus características, la cobertura vegetal, profundidad de raíces, evapotranspiración real, uso del suelo y pendiente del terreno. Esta metodología ha sido utilizada en Costa Rica, generando un error de recarga menor del ochenta por ciento en los casos que se ha podido comprobar, en forma confiable los valores de dicha recarga<sup>3</sup>.

Tanto la precipitación mensual como la evapotranspiración potencial fueron tomadas a partir de datos proporcionados por el observatorio ambiental, los cuales corresponden a un período de 30

---

<sup>1</sup> SNET (2005) Balance Hídrico Integrado y Dinámico de El Salvador

<sup>2</sup> Schosinsky N., Gunther (2006) Cálculo de la recarga potencial de acuíferos mediante un balance hídrico de suelos. Revista Geológica de América Central 13-30.

<sup>3</sup> Ibid, p.13.

años (1971-2001). Debido a la ausencia de datos de evapotranspiración potencial para la zona de estudio, especialmente para la parte alta del volcán de San Salvador, se utilizó las ecuaciones de correlación Altitud-Evapotranspiración de Referencia<sup>4</sup>. La capacidad de infiltración del suelo se determinó a partir de tres parámetros característicos del terreno, textura, pendiente y uso del suelo; la suma de estas tres características del territorio analizado proporciona la capacidad de infiltración del suelo, no así la recarga de agua subterránea.



Figura 1 Obtención del coeficiente de infiltración para el cálculo de la recarga acuífera

El análisis espacial del área de estudio se realizó por medio del procesamiento de mapas temáticos, utilizando técnicas como álgebra de mapas, conversión y reorganización de características del área, lo cual permite definir áreas de infiltración aproximadamente homogéneas para poder determinar para cada una de ellas, el aporte a la recarga potencial de agua subterránea en la microcuenca. La fracción que infiltra debido a la textura del suelo fue determinada utilizando el Mapa General de Suelos<sup>5</sup> para obtener las características por zona, para la asignación del coeficiente de infiltración se utilizó tablas de la tasa de permeabilidad del suelo<sup>6</sup>. Un criterio importante que se adoptó para aquellas zonas cuyas características indicaban un coeficiente de infiltración máximo igual a la unidad (100% de infiltración), fue establecer como valor de infiltración máximo en las zonas altas de la microcuenca una infiltración total de 0.90 (90%) esto debido a que, analizando las condiciones de relieve de la zona, se evidencia la presencia de una densa red de drenaje con orientación sur norte, que fluye desde el volcán hacia

<sup>4</sup> SNET.2005. Op. Cit.

<sup>5</sup> MAG. 1965. Levantamiento General de Suelos. Primera Edición. Nueva San Salvador, El Salvador. Esc. 1:50,000. 58 hojas, color.

<sup>6</sup> FAO. s/f. FAO Training Series- Soil. Capítulo 9 Permeabilidad del suelo. Recuperado en [ftp://ftp.fao.org/fi/CDrom/FAO\\_Training/FAO\\_Training/General/x6706s/x6706s09.htm](ftp://ftp.fao.org/fi/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/General/x6706s/x6706s09.htm), consultado el 1 de Julio de 2013.

la planicie de la microcuenca, en las zonas planas el máximo valor de infiltración se estableció como de 0.95 (95%) lo cual concuerda con la menor densidad de la red de drenajes en la zona (Ver mapa 3 en anexo 1).

El aporte a la infiltración por el efecto de las pendientes se determinó procesando el modelo de elevación digital a Esc. 1:5000, y el aporte por usos del suelo se clasificó en la zona partiendo del mapa de actualizado de usos de suelo, ambos elaborados en el período 2011-2012 en el proceso de desarrollo de las Directrices de la Zonificación Ambiental y Usos de Suelos<sup>7</sup>

Para definir las características de las variables que influyen en la evapotranspiración del terreno, se retomó datos de tablas características de capacidad de campo, punto de marchitez y densidad aparente para diferentes texturas de terreno.<sup>8</sup>, la profundidad de las raíces, fue estimada a partir de tablas<sup>9</sup> y considerando las condiciones características del suelo en cuanto a su profundidad y materiales subyacentes. El valor de la profundidad de raíces es determinante en el cálculo de la recarga ya que el método considera que en un prisma de sección unitaria y profundidad de raíces, se presentan las salidas por evapotranspiración en la zona analizada, así a mayor profundidad de raíces (sin que se modifiquen otras variables) se tendrá mayor evapotranspiración, esta zona se conoce como zona radicular.

El cálculo de los retornos por fugas en la red de abastecimiento de agua potable, se realizó considerando que un 25% del caudal abastecido a las poblaciones de la zona, retorna al acuífero para formar parte del agua subterránea nuevamente.

### **Salidas del sistema**

Las salidas del sistema están divididas entre los usuarios antropogénicos y el ecosistema hídrico formado por el río San Antonio.

Las demandas de uso del agua fueron depuradas a partir de diferentes inventarios de fuentes de agua de la zona, proporcionados por diversos usuarios del agua en la microcuenca, se realizó una intensiva jornada de verificación de las extracciones en aquellos sitios donde se contaba con macromedidor o registros de las extracciones, y en los casos en los que no se tuviese macromedidor, se estimó el caudal de extracción a partir de fuentes cercanas o de datos proporcionados en estudios de impacto ambiental e inventario de usuarios de la zona (Fotografía 1). El trabajo fue realizado con acompañamientos alternados de personal de la ANDA y con el apoyo permanente de la Alcaldía Municipal de Nejapa, quienes conocen mejor su territorio y que además gestionaron diversas autorizaciones para ingresar a los sitios de extracción administrados

---

<sup>7</sup> MARN. 2012. Directrices de la Zonificación Ambiental y Usos de Suelos

<sup>8</sup> Schosinsky, Op. Cit., p.18

<sup>9</sup> Allen, Richard G, et al. (2006) Evapotranspiración de Cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos (Estudio FAO Riego y Drenaje No. 56.), Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma, 2006. P. 153-155.

por usuarios privados. Se realizó además una búsqueda de fuentes de agua inventariadas, de las cuales se desconocía su existencia, lo cual permitió un completo, actualizado y verificado inventario de fuentes de agua y extracciones reales de agua del acuífero (Anexo 2)



Fotografía 1 Obtención de datos de caudal en fuentes de agua de la cuenca

Para estimar el flujo base del río San Antonio, en conjunto con el Observatorio Ambiental, se realizó el aforo en dos puntos del río mediante el método de aforo de corrientes por molinete en fecha 3 de julio de 2013, procurándose captar el agua de toda la zona de descarga del acuífero que conforma el flujo base del sistema (Fotografía 2).



Fotografía 2 Obtención de datos de caudal en fuentes de agua de la cuenca

## **Comparación de estudios del agua subterránea en el acuífero de Nejapa**

Luego de revisar diferentes estudios relativos a la disponibilidad del recurso hídrico de la microcuenca del río San Antonio, se realizó una evaluación comparativa de resultados y criterios adoptados, enfocándose principalmente en aquellos que corresponden a la obtención de resultados que definen situaciones de abundancia y escasez del recurso hídrico subterráneo de la zona.

## **6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **Demandas de agua subterránea**

#### **Abastecimiento**

Luego de evaluar y analizar los datos de extracciones de agua subterránea del acuífero, se obtuvo que actualmente las demandas ascienden a 12.73 millones de metros cúbicos al año (MMCA), equivalentes a 403.67 L/s (Tabla 1), este volumen está distribuido en tres sectores principales: abastecimiento humano (89.72%), industria (9.79%) y relleno sanitario (0.50%), ver Figura 2.

Los resultados de los sectores que utilizan el recurso hídrico subterráneo de la zona, demuestran la alta importancia para el abastecimiento humano que tiene el acuífero. A pesar de que en este estudio no se ha evaluado la calidad de agua de dicho acuífero, empresas como ILC<sup>10</sup> lo presentan como de muy buena calidad y usuarios como La Alcaldía de Nejapa comentan que solamente se clora el agua para su distribución a la población, esto también es evidenciado por los procesos de potabilización que la ANDA realiza con esta agua, los cuales consisten solamente en cloración con diferentes métodos.

---

<sup>10</sup> Duarte, J.R. 2012. Estudio Hidrogeológico, Hidrológico, Hidráulico y de Riesgo Zona Planta Nixapa, Industrias La Constancia ILC, Nejapa, Departamento de San Salvador. Estudio de Impacto Ambiental Modificación de Resolución MARN-N°065-2001. Ampliación de Operación para Envasado de Agua en Planta Nixapa”, Carretera San Salvador – Quezaltepeque, km 20 ½ Cantón Galera Quemada, Municipio de Nejapa, Santa Ana

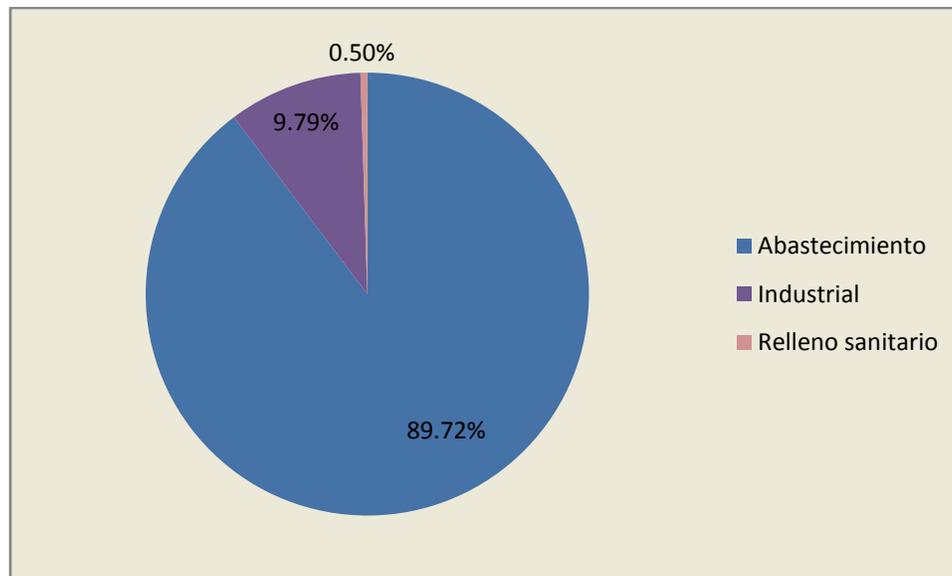


Figura 2 Distribución del uso del agua por sector

Los principales usuarios del agua en la microcuenca son: ANDA (81.13%), Industrias La Constancia (5.30%), Salazar Romero (4.97%), JUMEX de C.A. (3.72%), Alcaldía Nejapa (3.62%), otros usuarios (1.27%). Ver Figura 3.

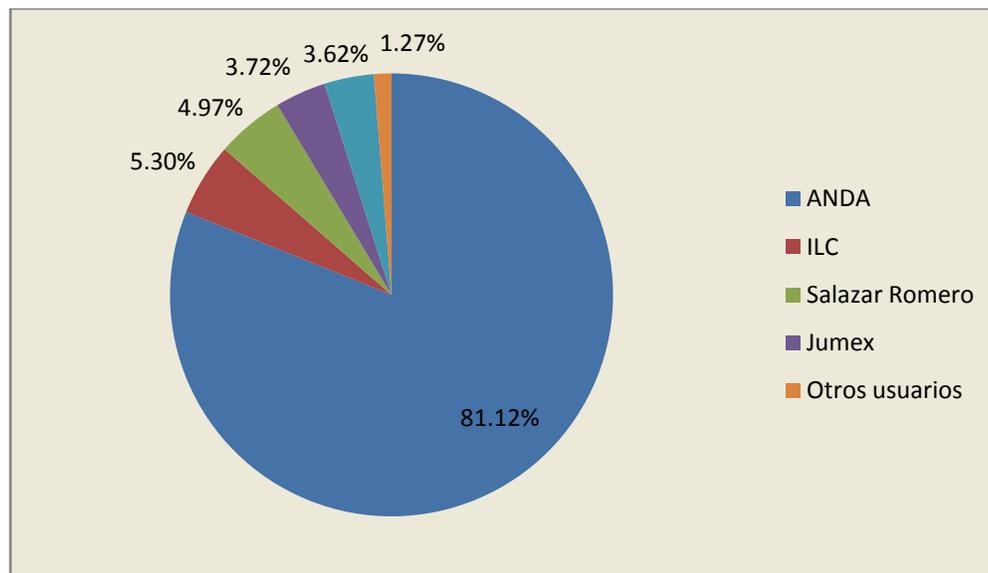


Figura 3 Distribución del uso del agua por usuarios

Puede apreciarse que la ANDA es el principal usuario del agua subterránea de la microcuenca, por lo que se evidencia nuevamente la alta importancia para abastecimiento humano que el acuífero tiene. Considerando una dotación de 250 lppd y un 25% de pérdidas, puede estimarse que el caudal explotado por la ANDA en el acuífero de Nejapa, puede abastecer a una población de 84 900 personas, lo cual representa aproximadamente el 65% de la población del municipio de Apopa.

El mapa 2 del anexo 1 presenta la distribución de los usuarios del agua en la microcuenca.

### **Caudal Base del río San Antonio**

El caudal del río fue medido el 3 de junio de 2013 en dos puntos después del nacimiento del río San Antonio, en un día sin lluvia previa en la región, los resultados dieron un caudal de 257 L/s en el punto 1, más inmediato al nacimiento, mientras que en el punto 2, el caudal fue de 256 L/s (Mapa 3 en anexo 1). Considerándose que el caudal no varía entre los dos puntos. Este valor de 256 L/s se ha considerado como ligeramente aumentado debido al efecto de las precipitaciones del mes de mayo y debido a que no se cuenta con aforos mensuales que permitan analizar la distribución de caudales medios mensuales en el río, se toma este valor como que se encuentra ligeramente influenciado en aumento por la entrada de la época de lluvia. El aumento que se considera es de un 15% el cual se ha tomado de una distribución de caudales medios mensuales en el río San Antonio, para una medición realizada en el mes de abril de 2007<sup>11</sup> la cual resultó de 251 L/s equivalentes a 7.92 MMCA. Pese a que la distribución de caudales mensuales indica un aproximado de aumento de mayo con respecto a abril, igual al 20%, se considero conservativo adoptar solamente un 15% de aumento, con el fin de tomar en cuenta el principio de precaución indicado en el Art. 2 de la Ley del Medio Ambiente. El valor de caudal base del río afectado por el índice de reducción antes mencionado resulta de 222.06 L/s equivalentes a 7.02 MMCA.

Al comparar los datos de caudal base adoptados para el año 2007 y el año 2013, puede evidenciarse que hay un descenso de 29 L/s equivalentes a 0.90 MMCA, sin embargo la falta de registro del comportamiento del caudal del río y su variación con la precipitación no permiten asegurar que tal condición exista, pero debe prestársele cuidadosa atención a su comportamiento. Importante es resaltar la información proporcionada por los lugareños quienes afirman que el río ha reducido su caudal en las últimas décadas, ellos miden la variación sobre la base del nivel que el agua alcanza en sus piernas cuando cruzan el río.

### **Demandas totales en la microcuenca**

Retomando los datos de las demandas para abastecimiento y la demanda del flujo base del río San Antonio, se obtuvo una demanda total en la microcuenca igual a 626.27 L/s, equivalentes a 19.75 MMCA. Dichas demandas se han cuantificado en su mayoría con base en datos verificados en campo, sin embargo no se conoce su condición en cuanto al estado de su permiso ambiental de aprovechamiento y por lo tanto no puede definirse la demanda autorizada en el acuífero.

### **OFERTA DE AGUA SUBTERRÁNEA**

La oferta de agua subterránea o las entradas al sistema por precipitación directa fueron estimadas por medio del cálculo de la recarga potencial de acuíferos mediante un balance hídrico de

---

<sup>11</sup> Gil, Laura. 2007. Evaluación hidrogeológica y vulnerabilidad intrínseca del sistema acuífero del municipio de Nejapa, San Salvador, El Salvador. Tesis Magister Scientiae en Geología con énfasis en manejo de recursos hídricos e hidrogeología. Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, Universidad de Costa Rica. p.51.

suelos.<sup>12</sup>. El análisis y procesamiento de los mapas permitió definir 5 zonas de infiltración que pueden considerarse como homogéneas, los resultados de la recarga potencial por zona se presentan en la Tabla 2. Los mapas 4A, 4B, 5A, 5B, 6 y 7 del anexo 1 presentan la distribución de valores de las fracciones que infiltran por efecto de la pendiente, cobertura vegetal y textura del suelo, así como la distribución del coeficiente de infiltración en la microcuenca, respectivamente.

Tabla 2 Recarga potencial del acuífero de Nejapa

Zona	Área (m <sup>2</sup> )	Recarga (mm)	Recarga Potencial	
			MMCA	L/s
I	1222500	621.25	0.76	24.09
II	20352500	401.07	8.16	258.75
III	12532500	303.78	3.81	120.81
IV	17692500	306.64	5.43	172.18
V	5052500	244.22	1.23	39
	56852500		<b>19.397</b>	<b>614.85</b>

En el anexo 3 se presentan los balances hídricos de cada una de las zonas de infiltración definidas como homogéneas en la microcuenca, en dichas hojas de cálculo puede apreciarse los valores asignados a cada variable que influyen en la recarga, en cada una de las zonas de infiltración.

El retorno de agua por fugas en el sistema de agua potable fue estimado considerando que tanto el sistema de agua potable de la Alcaldía de Nejapa como el sistema de distribución de ANDA en la ciudad, aportan aproximadamente un 25%, esto significa un pequeño aporte de 5.36 L/s (0.17 MMCA).

Debido a la carencia de información sobre los usuarios de riego para caña de azúcar que toman agua del río San Antonio, se ha despreciado el retorno de agua por riego, sin embargo en futuras evaluaciones del recurso, debería profundizarse en este aporte y estimarlo para incorporarlo en la cuantificación de la recarga potencial del acuífero. Otro posible aporte difícil de estimar con la información disponible, es el que podría darse en el boquerón, que corresponde a una cuenca cerrada donde las únicas salidas se deben a la evapotranspiración. El análisis de este aporte requiere técnicas de investigación especiales como geofísica, trazadores y evaluación de la hidrogeoquímica por un período más largo que el analizado en el presente estudio.

Adicionando las dos ofertas de agua subterránea en la microcuenca, se determinó que la recarga total del acuífero es de 620.24 L/s equivalentes a 19.56 MMCA.

### BALANCE DE MASAS DEL ACUÍFERO

Se presenta en la Tabla 3, los resultados del balance de masas de la microcuenca del río San Antonio.

<sup>12</sup> Schosinsky, Op. Cit.

Tabla 3 Balance de masas en la microcuenca del río San Antonio

DESCRIPCIÓN	ENTRADAS		SALIDAS	
	MMCA	L/s	MMCA	L/s
Recarga potencial	19.39	614.85		
Extracciones por bombeo			12.73	403.67
Flujo base río San Antonio			7.02	222.6
Retornos por fugas abastecimiento	0.17	5.39		
<b>TOTAL</b>	<b>19.56</b>	<b>620.24</b>	<b>19.75</b>	<b>626.27</b>
% diferencia	-0.96%			
	-0.19		MMCA	
	-6.02		L/s	

Los resultados indican que existe una diferencia de -0.96%, entre las entradas y las salidas con respecto a las salidas del sistema esto puede interpretarse como un sistema en equilibrio (oferta igual a demanda), sin embargo si observamos la distribución de las zonas de infiltración y el mapa hidrogeológico de la zona (Mapa 8 en anexo 1)<sup>13</sup> se puede apreciar que en general el flujo tiene una dirección predominante suroeste noreste y que es interceptado por la red de pozos existentes en la zona del pie de monte donde las pendientes sufren un cambio radical volviéndose más planas; por lo tanto, no toda la recarga estimada en la microcuenca es aprovechada por los pozos actualmente en explotación. Puede considerarse entonces que las principales zonas de aporte a la recarga de agua subterránea que actualmente se aprovecha en la zona viene proporcionada por las zonas I, II, III y parte de las zonas IV y V, reduciéndose en este caso la oferta disponible para aprovechamiento de agua si consideramos que no existen otras entradas desde afuera de la microcuenca, esto sería concordante con el resultado obtenido sobre la variación del caudal base en el río San Antonio, el cual indicaba reducción del caudal del 12.40% en 6 años.

#### Modelo Conceptual del sistema de agua subterránea en la microcuenca

Con base a los resultados obtenidos puede establecerse la condición actual como una condición de equilibrio para el sistema, dado que no se conoce el comportamiento previo del mismo, por lo tanto, el modelo conceptual (Figura 4) refleja una condición de entradas externas al sistema consistentes en precipitación directa y retornos por fugas en el sistema de agua potable, y salidas rápidas en forma de retención en el follaje, evapotranspiración y escorrentía superficial y subsuperficial rápida; luego de estas salidas se considera que el resto es infiltración profunda y da lugar al sistema de agua subterránea del acuífero profundo actualmente aprovechado en el municipio de Nejapa. El acuífero tiene dos salidas, las artificiales consistentes en extracciones por medio de pozos perforados profundos y las naturales que conforman el caudal base del río San Antonio ubicado en el centro del municipio de Nejapa y que da lugar a un importante ecosistema

<sup>13</sup> ANDA. 2008. Mapa Hidrogeológico de El Salvador. Primera Edición. San Salvador, El Salvador. Esc. 1:100,000. 6 hojas, color.

lótico cumpliendo diferentes funciones a lo largo de su recorrido (abastecimiento para riego, depuración de aguas residuales, usos domésticos, entre otros).

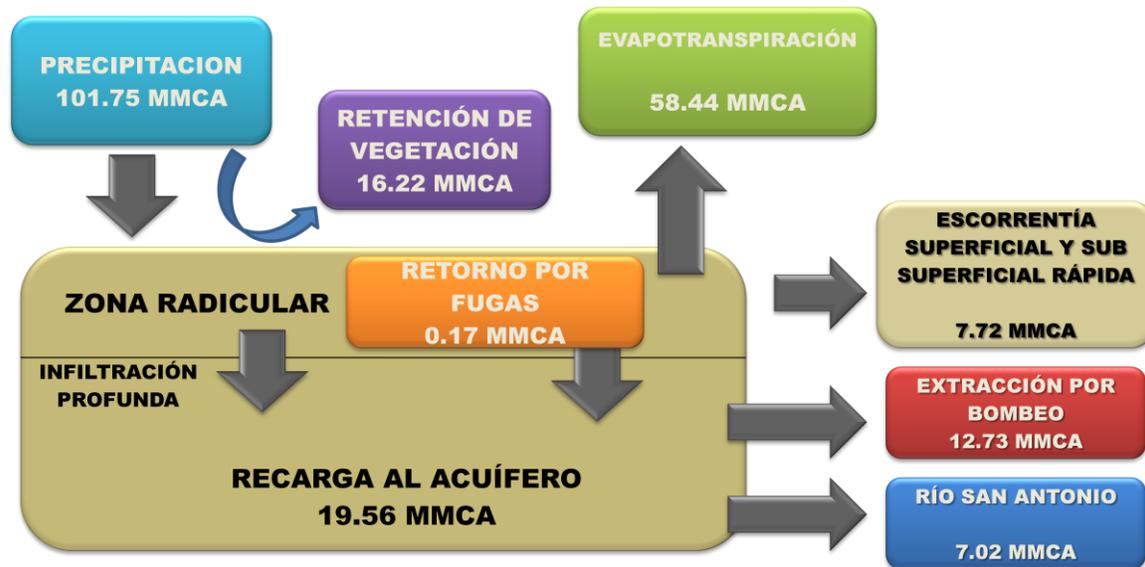


Figura 4 Modelo conceptual del sistema de agua subterránea en la microcuenca del río San Antonio.

Una condición que no ha sido cuidadosamente evaluada a la fecha es la probabilidad de que pueda haber un aporte de agua subterránea desde la cuenca alta del río Acelhuate (Ver Figura 5), debido a que existe una importante zona de flujo del acuífero de San Salvador, que tiene su recarga en la parte alta del volcán de San Salvador y que de acuerdo a estudios previos se considera que no fluye hacia el sector de Soyapango sino que se dirige hacia la zona de Apopa y el Valle del Ángel<sup>14</sup>, este aporte, con la información existente hasta el momento no puede ser demostrado y por lo tanto no puede ser cuantificado, razón por la que no es aconsejable considerarlo como parte de la oferta en la microcuenca, ya que no se tomarían las precauciones de protección del recurso y se podría llegar a sobreestimar la recarga, corriéndose el riesgo de sobreexplotar el acuífero en el corto plazo si las estimaciones resultan erradas. En este estudio no se ha considerado dicho aporte.

<sup>14</sup> Barrera, Marcia. 2010. Caracterización hidrogeoquímica e isotópica de áreas de recarga en el acuífero de San Salvador. Tesis de Maestría en Gestión de Recursos Hidrogeológicos. Ciudad Universitaria, San Salvador. Universidad de El Salvador.

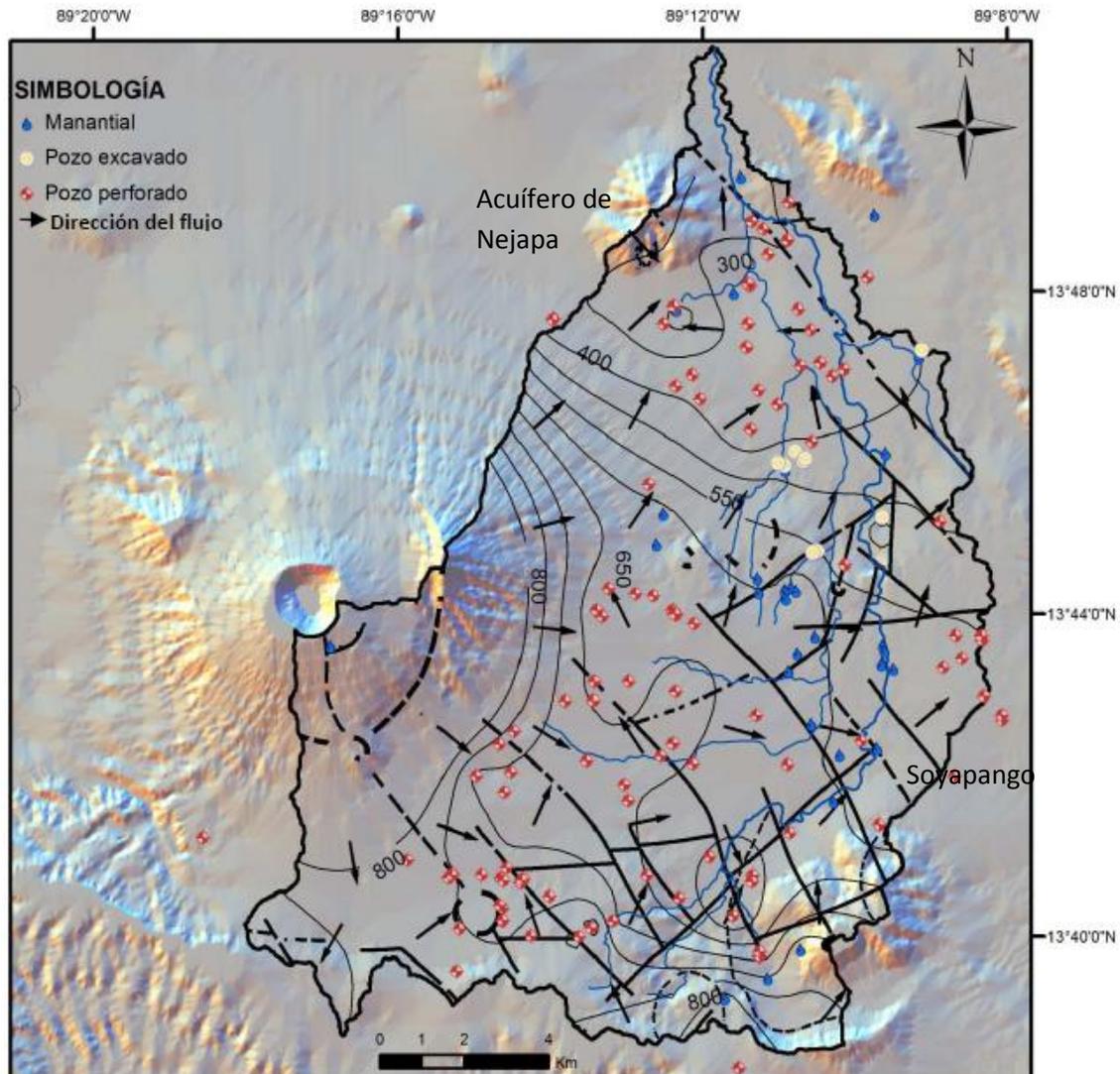


Figura 5 Mapa potenciométrico del acuífero de San Salvador<sup>15</sup>

#### POZO DE MONITOREO EXISTENTE

En la microcuenca se cuenta con un pozo de monitoreo que se encuentra aguas arriba de la mayoría de puntos de extracción, dicho pozo se encuentra en la estación de bombeo del Pozo-6 Nejapa-ANDA y el Observatorio Ambiental cuenta con registro de 3 años de datos de variación de niveles potenciométricos (Figura 6), el registro de datos refleja una variación en el nivel del pozo de aproximadamente 4.8 metros en los tres años, se evidencia además que los niveles más altos se presentan entre los meses de noviembre y diciembre y que los mínimos se reflejan entre los meses de julio a septiembre, lo cual indica que el efecto de la precipitación directa tarda aproximadamente 4 meses en evidenciarse en el pozo, es decir para iniciar el ascenso en la curva, pero solamente dos meses luego de que las lluvias cesan, inicia la tendencia

<sup>15</sup> Barrera, Marcia. Op. Cit. p. 80.

descendente, lo cual posiblemente obedezca a que a pesar de que la recarga continua llegando al pozo, las tasas de ingreso van reduciéndose ya que el período seco se encuentra en marcha.

La tendencia general del registro de tres años de niveles potenciométricos en el acuífero no evidencia una reducción de niveles en el tiempo, esto puede asociarse a que en ese punto el pozo de monitoreo solamente se encuentra influenciado por el pozo de extracción Pozo 6 Nejapa-ANDA y no se percibe en la gráfica la influencia del bombeo de dicho pozo en los niveles registrados por el pozo de monitoreo, aunado a esto se tiene la condición particular del pozo de monitoreo ya que se encuentra aguas arriba de la mayoría de puntos de extracción y por lo tanto la utilidad de este pozo es relativa al control de la recarga de agua subterránea por precipitación directa en la zona alta de la cuenca, es decir en las faldas del volcán de San Salvador; además de indicar el comportamiento de los niveles antes de que se presente la explotación en el resto de puntos de aprovechamiento.

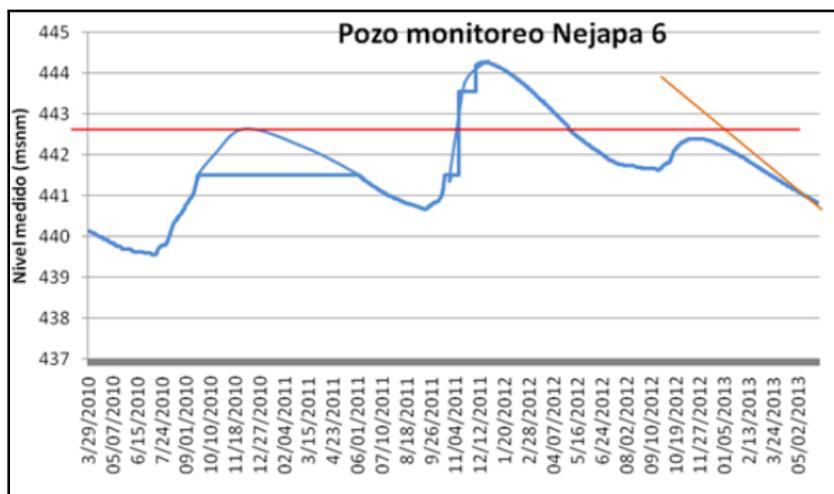


Figura 6 Variación de niveles potenciométricos dinámicos en pozo de monitoreo 6 NEJAPA-ANDA (Fuente: DGOA)

#### ANÁLISIS COMPARATIVO DE ESTUDIOS DEL AGUA SUBTERRÁNEA DEL ACUÍFERO DE NEJAPA

Se presenta en la **Tabla 4** la información más relevante de tres estudios realizados en la zona, todos utilizaron el método cálculo de la recarga potencial de acuíferos mediante un balance hídrico de suelos<sup>16</sup>, también aplicado en este estudio.

<sup>16</sup> Schosinsky, Op. Cit.

Tabla 4 Análisis comparativo de estudios del agua subterránea del acuífero de Nejapa

Información sobre el estudio	Caracterización de los riesgos geológicos y dimensionamiento de los recursos hidrogeológicos. Directrices para la ordenación territorial del municipio de Nejapa	Evaluación hidrogeológica y vulnerabilidad intrínseca del sistema acuífero del municipio de Nejapa, San Salvador, El Salvador	Estudio Hidrogeológico, Hidrológico, Hidráulico y de Riesgo Zona Planta Nixapa, Industrias La Constancia ILC, Nejapa, Departamento de San Salvador.
Fecha de elaboración	2003	2007	2012
Elaborado por	Geólogos del Mundo con el apoyo de la Diputación de Barcelona.	Laura Beatriz Gil Urrutia. Tesis de maestría en Geología con énfasis en Manejo de Recursos hídricos e hidrogeología., UCR	J.R. Duarte para Industrias La Constancia.
Objetivo del estudio	Facilitar a la alcaldía, las bases necesarias para el desarrollo de una política de ordenación territorial, prevención y mitigación de los riesgos geológicos presentes en el municipio, así como un mayor conocimiento de la hidrogeología del mismo para una mejor gestión de sus recursos hídricos.	Realizar una evaluación hidrogeológica integral del sistema acuífero del municipio de Nejapa, analizando la información recopilada en el campo, conjuntamente con la ya existente en la zona, como insumo para la gestión apropiada del recurso hídrico.	Elaboración del análisis hidrogeológico, hidrológico, hidráulico, de vulnerabilidad y de riesgos de la zona de la Planta Nixapa y de la microcuenca del río San Antonio en la que se encuentra inmerso,, para determinar el comportamiento del sistema de flujo subterráneo y superficial, además de determinar el conocimiento de la vulnerabilidad de la contaminación del recurso hídrico, y el riesgo ambiental de la zona.
Área analizada	Aproximadamente igual a la microcuenca río San Antonio 42 km <sup>2</sup> (deja fuera del análisis zonas de la cuenca sin infiltración)	Microcuenca del río San Antonio 56 km <sup>2</sup>	Microcuenca alta del río San Antonio, definida como la zona de recogimiento aguas arriba que abarca a la planta Nixapa. 29.36 km <sup>2</sup>
Hallazgos sobre la cantidad del agua subterránea	<p><b>Se aproxima a</b></p> <p><b>SALIDAS (MMCA) 10.61</b>                      Bombeos 6.79                      Salida al río 0.017                      Salida a otro acuífero 3.78</p> <p><b>ENTRADAS (MMCA) 10.59</b>                      Recarga lluvia 8.38                      Retorno fugas A.P. 2.21</p>	<p><b>SALIDAS (MMCA) 20.86</b>                      Bombeos 8.72                      Salida al río 12.14</p> <p><b>ENTRADAS (MMCA) 23.45</b>                      Recarga lluvia 23.45</p>	<p><b>SALIDAS (MMCA) 20.86</b>                      Bombeos 15.63</p> <p><b>ENTRADAS (MMCA) 21.78</b>                      Recarga lluvia 21.78</p>

Tabla 4 Análisis comparativo de estudios del agua subterránea del acuífero de Nejapa

Información sobre el estudio	Caracterización de los riesgos geológicos y dimensionamiento de los recursos hidrogeológicos. Directrices para la ordenación territorial del municipio de Nejapa	Evaluación hidrogeológica y vulnerabilidad intrínseca del sistema acuífero del municipio de Nejapa, San Salvador, El Salvador	Estudio Hidrogeológico, Hidrológico, Hidráulico y de Riesgo Zona Planta Nixapa, Industrias La Constancia ILC, Nejapa, Departamento de San Salvador.
Fecha de elaboración	2003	2007	2012
Hallazgos sobre la calidad del agua subterránea	Se evalúa la calidad físico química y bacteriológica con datos de la ANDA entre 1999-2001, Esquivel, en 1996 y propios.	Se evalúa las características físico químicas del agua. La evaluación microbiológica no es parte del estudio.	Fuera del alcance del estudio
Conclusiones	Define el comportamiento del río San Antonio como efluente (recibe aportes de agua subterránea del acuífero) <b>Según el balance hídrico considerado, la extracción de agua en el municipio supera la recarga del mismo. Esto produciría un vaciado del acuífero de Nejapa</b> Calidad microbiológica indica necesidad de tratamiento y río con mala calidad.	Define el comportamiento del río como efluente (recibe aportes de agua subterránea del acuífero) Identifica al acuífero profundo actualmente aprovechado con pozos en el miembro S2 de la Formación San Salvador, el cual corresponde a lavas fracturadas del cuaternario <b>Identifica a la ANDA como el principal usuario del sistema acuífero, menciona que el 11.2% de los 7.68 MMCA que extrae son distribuidos en el municipio de Nejapa, citando el boletín estadístico de ANDA (2005).</b> Identifica que el acuífero es medianamente vulnerable en la mayor parte del territorio por lo que llama a la necesidad de realizar un ordenamiento territorial adecuado para su protección.	Identifica la principal área de recarga de los sistemas acuíferos de la zona, en las estructuras volcánicas del volcán de San Salvador, mencionando que parte surge en las cercanías del río San Antonio Define valores de transmisividad del acuífero entre 45 a 60 m <sup>2</sup> /día a partir de prueba de bombeo realizada en la Planta. Determina que la recarga estimada es capaz de abastecer las demandas.

Tabla 4 Análisis comparativo de estudios del agua subterránea del acuífero de Nejapa

Información sobre el estudio	Caracterización de los riesgos geológicos y dimensionamiento de los recursos hidrogeológicos. Directrices para la ordenación territorial del municipio de Nejapa	Evaluación hidrogeológica y vulnerabilidad intrínseca del sistema acuífero del municipio de Nejapa, San Salvador, El Salvador	Estudio Hidrogeológico, Hidrológico, Hidráulico y de Riesgo Zona Planta Nixapa, Industrias La Constancia ILC, Nejapa, Departamento de San Salvador.
Fecha de elaboración	2003	2007	2012
Recomendaciones	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Detener el aumento de explotación y permitir nuevas extracciones en el acuífero</li> <li>• Iniciar control de niveles piezométricos</li> <li>• Realizar análisis de agua y en pozos cercanos al relleno sanitario evaluar contaminación por lixiviados</li> <li>• Estudiar con más detalle la conexión entre acuíferos</li> </ul>	<p>Implementar monitoreo permanente de la calidad</p> <p>Rotomar la vulnerabilidad acuífera para los planes de desarrollo del municipio e implementar medidas de control.</p> <p>Crear un modelo numérico del sistema acuífero que permita evaluar el comportamiento del mismo ante el incremento de la explotación.</p>	<p>Prestar atención a las áreas de recarga acuífera, tanto en protección como para manejo del recurso</p> <p>De construir nuevo pozo, recomienda ubicación de nuevo pozo de aprovechamiento para la planta.</p>
Comentarios	<p>Para el cálculo de la recarga se aplicó el método de Schosinsky<sup>17</sup> utilizó datos de lluvia y ETP de la estación Ilopango y se considera la recarga de la zona norte y el cerro de Nejapa como Nula.</p> <p><b>Recarga de la microcuenca varía entre 144 mm/año – 302.67 mm/año</b></p> <p>El aforo del río no se realizó y se obtiene un caudal de 0.54 L/s, lo cual no refleja las condiciones reales de flujo superficial del río. Presenta mapa piezométrico del acuífero indicando flujo hacia el nacimiento del río (lo cual implicaría un aporte de la zona norte al <math>Q_{base}</math> del río.</p> <p>Opta por considerar que no hay flujo desde el acuífero hacia otras cuencas.<sup>o</sup></p>	<p>Para el cálculo de la recarga potencial se aplicó el método de Schosinsky.</p> <p><b>Recarga de la microcuenca varía entre 0 mm/año – 750 mm/año</b></p> <p>Los datos de lluvia que se consideraron fue el promedio de la estación El Boquerón (L-18) e Ingenio San Francisco-Aguilares (C-8) para un período de 4 años. La ETP fue considerada igual a la estación Ilopango (S10)</p> <p>No se tuvo acceso a los valores de variables adoptados para la estimación de la recarga. Se evidencia la estrecha diferencia entre las entradas y las salidas del acuífero.</p> <p>Se estima el caudal base del río a partir de un aforo realizado en abril 2006. Y se elabora el hidrograma del río tomando en consideración la distribución de caudales medios mensuales según metodología de Erazo (2004)<sup>18</sup></p>	<p>Para el cálculo de la recarga potencial se aplicó el método de Schosinsky.</p> <p><b>Recarga de la microcuenca varía entre 290 mm/año – 1077.9 mm/año</b></p> <p>Define como estaciones de referencia para el análisis, la estación Boquerón (L-18) en la zona alta y la estación Santa Tecla (L-08) en la parte baja, sin embargo los valores de PP superan los promedios máximos registrados. El valor de ETP tomado para la parte alta del volcán de S.S. es inferior al valor mínimo promedio registrado en el país.</p> <p><b>El análisis de balance hídrico no considera el caudal base del río San Antonio.</b></p> <p>Se asumen valores de profundidad de raíces inferiores a los valores promedio registrados en tablas.</p>

<sup>17</sup> Schosinsky, Op. Cit.<sup>o</sup>

<sup>18</sup> Erazo, A. 2004. Regionalización de caudales máximos y medios en El Salvador. <http://www.snet.gob.sv/estudios/uploads/cuadales.pdf>

Del cuadro anterior puede deducirse que la evaluación del recurso hídrico subterráneo de la microcuenca del río San Antonio es compleja y para realizar estimaciones cuantitativas de la disponibilidad, diferentes autores adoptan para un mismo método criterios muy distantes, dependiendo de la información a la que tengan acceso y de criterios propios basados en la experiencia y necesidades de cada uno.

En cuanto al estado cuantitativo del agua subterránea en la microcuenca, dos de los estudios, Geólogos del Mundo (2003) y Gil (2007) pese a tener grandes diferencias en cuanto a la estimación de las recargas, identifican un estado de carencia de reservas en el acuífero, es decir las entradas al sistema son aproximadamente iguales a las salidas del sistema; por su parte Duarte (2012) llega a resultados, en cuanto a la carencia, similares si se considera el caudal base del río San Antonio estimado en el presente estudio con las mediciones del año 2013 (7.02 MMCA), lo cual puede resumirse de la siguiente manera:

<b>SALIDAS (MMCA)</b>	<b>22.65</b>	
Bombeos	15.63	
Salida al río	7.02	
<b>ENTRADAS (MMCA)</b>	<b>21.78</b>	
Recarga lluvia	21.78	
<b>Cambio en almacenamiento</b>		<b>-0.87 MMCA</b>

El valor de cambio en almacenamiento negativo refleja un descenso en el sistema, el cual sería evidenciado en este caso en una reducción del caudal base del río (tal y como se mencionó anteriormente).

El acuífero del río San Antonio tiene la bondad de que existe un indicador de su estado cuantitativo muy vulnerable en superficie, este corresponde al río San Antonio y esto permite que los tomadores de decisión puedan tomar acciones de gestión del agua subterránea frente a descensos en el caudal del río, lo cual es una gran ventaja relativa a sistemas donde solamente los niveles de agua subterránea dan indicios de su comportamiento y si no se tiene acceso a dicha información se hace imperceptible una afectación en la disponibilidad del recurso (caso del acuífero de Guluchapa, por ejemplo)

Otro aspecto relevante de los tres estudios es que hay importantes diferencias en cuanto a la estimación de las demandas por bombeo, Geólogos del Mundo y Gil definen valores de extracciones de 6.79 MMCA y 8.72 MMCA, respectivamente, que se encuentran abajo del valor obtenido en la actual investigación, mientras que Duarte estima un valor de 15.63MMCA, por arriba del valor determinado en este estudio (12.73 MMCA). Los datos permiten evidenciar una tendencia de aumento en las extracciones y una gran disparidad en la información que se maneja en la evaluación de la disponibilidad del recurso hídrico subterráneo.

Los resultados de los estudios evidencian la necesidad de implementar un sistema de monitoreo cuantitativo y cualitativo en el acuífero que permita evaluarlo de forma más acertada.

## 7. CONCLUSIONES

- Los usos del agua están principalmente concentradas en el abastecimiento de agua a poblaciones que representan aproximadamente el 89.7% del total mientras que el 9.3% restante se concentra en las empresas establecidas en la zona. Dentro de los principales usuarios del agua subterránea de la microcuenca, destaca la ANDA como el más importante, la cual utiliza el 81.10 % del agua de usuarios antropogénicos, mientras que el usuario que más consume luego de la ANDA es Industrias La Constancia, que utiliza 5.30% del agua subterránea de la microcuenca, le siguen con menos del 5% cada uno, el sistema de Villa Constitución y el sistema de la alcaldía de Nejapa (pozo El Coyolito), cuyo uso del agua es para abastecimiento humano.
- Las demandas de agua subterránea calculadas corresponden a datos reales de extracción de la mayoría de los pozos profundos existentes en la microcuenca, los cuales fueron verificados en campo, sin embargo no se tiene en este momento una correspondencia con la autorización de extracciones de agua en la microcuenca, por lo que no se puede establecer la demanda de agua autorizada hasta el momento.
- Los resultados del estudio indican que en la microcuenca del río San Antonio la recarga varía entre 244 mm/año y 621.25 mm/año, los cuales representan una masa de agua ingresando al sistema de agua subterránea de 19.56 MMCA, los cuales incluyen 0.17 MMCA de retorno por fugas en el sistema de AP. Las salidas de agua del sistema se encuentran divididas entre las extracciones por bombeo y la descarga de agua subterránea al río San Antonio y suman un total de 19.75 MMCA. El Balance Hídrico refleja que bajo las condiciones analizadas, no existe almacenamiento de agua en el acuífero, indicando que la reserva de agua subterránea que se tiene en este momento es nula.
- Si el almacenamiento en el sistema es actualmente nulo, puede preverse que futuros cambios en el balance como reducción de la oferta ya sea por el efecto de cambio climático (menos lluvia anual o lluvias más intensas) o simplemente variabilidad climática, o por pérdida de áreas de recarga, así como aumentos de extracción comenzarán a reflejarse en una reducción proporcional del caudal de agua en el río San Antonio, ya que todos los pozos que aprovechan el recurso se encuentran aguas arriba del río en el acuífero, dicha situación representa una condición delicada, ya que actualmente el río es utilizado por diversos usuarios de la zona, entre los que figuran el mantenimiento de especies y ecosistemas, trabajo doméstico, el riego de cultivos, abastecimiento para animales y una de las funciones principales que actualmente tiene el río es la dilución de las aguas residuales tratadas del municipio, presentando cierta capacidad depuradora, la cual se vería disminuida al reducirse su caudal. Adicionalmente se perdería uno de los pocos recursos de agua superficial de condiciones aceptables que actualmente se encuentran en el área metropolitana de San Salvador.
- Dadas las condiciones de almacenamiento nulo en el acuífero, reflejado en este estudio, puede deducirse que las condiciones de aumento en la demanda o reducción en la oferta colocarán a los distintos usuarios del acuífero en una situación de competencia, haciéndose necesario de manera urgente la adopción de medidas de gestión del agua subterránea especialmente diseñadas para la microcuenca.

## 8. RECOMENDACIONES

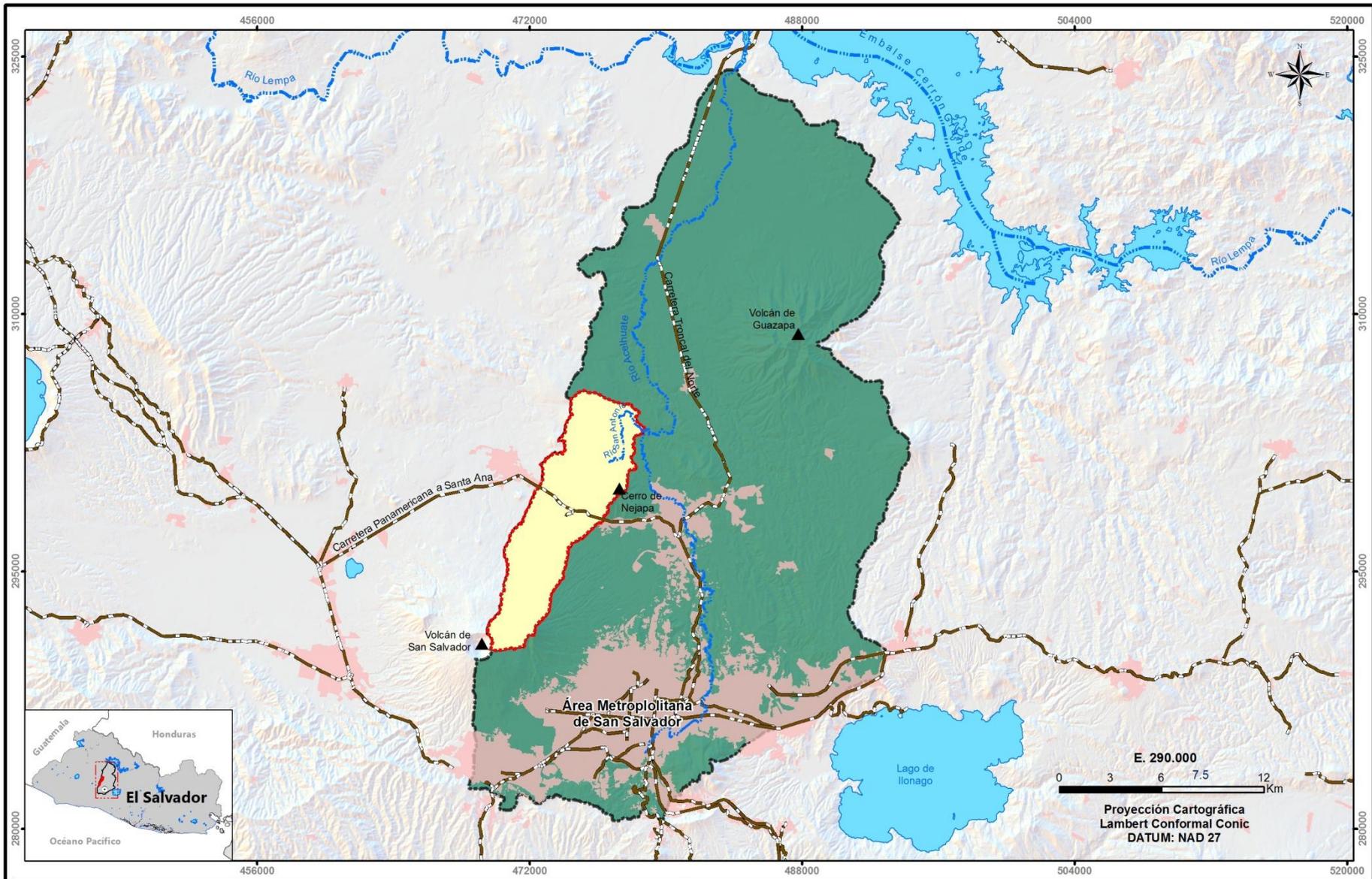
- Establecer de inmediato un acuerdo ministerial de suspensión temporal de permisos de aprovechamiento de agua en la microcuenca del río San Antonio, hasta que se conozca con mayor certeza el comportamiento del sistema y la disponibilidad de agua en el acuífero. Se tiene precedentes de este tipo de decisión en la Confederación Hidrográfica del Ebro, España.
- Adoptar de manera urgente, medidas de gestión del agua subterránea orientadas a la sostenibilidad del recurso, entre las que pueden proponerse: la definición de niveles de alerta y alarma que permitan la toma de decisiones sobre la reducción de las extracciones de acuerdo a criterios de prioridad del uso del recurso; regular los permisos ambientales en la zona, definiéndose claramente los caudales máximos de aprovechamiento anual para cada punto y usuario del recurso; implementar medidas de mejora de las zonas de recarga acuífera, especialmente de las que se encuentran en las faldas del volcán de San Salvador; restringir los permisos de cambio de uso del suelo en las zonas de recarga acuífera ya que la pérdida de la misma tiene efectos catastróficos para el abastecimiento de las poblaciones del AMSS, implementar una red de monitoreo cuantitativa y cualitativa del agua subterránea, que permita valorar permanentemente la evolución del acuífero en cantidad y en calidad, y estimar con mayor certeza la disponibilidad del agua en la microcuenca así como la potencialidad de uso del agua en la misma; implementar de manera inmediata el monitoreo de caudal en el río San Antonio (mínimo una vez al mes), de forma que se pueda calibrar el hidrograma del río para poder definir con mayor precisión el flujo base del mismo, puede considerarse la incorporación de una estación limnigráfica en el río.
- Implementar un abanico de opciones de compensación ambiental en la microcuenca del río San Antonio, que permita el desarrollo de acciones concretas de gestión del recurso hídrico subterráneo y que se convierta en un modelo de gestión del agua subterránea y compensación ambiental en el país. Pueden considerarse como opciones: estación limnigráfica, pozos de monitoreo de agua subterránea, equipamiento de pozos de monitoreo, mejoras en zonas de recarga acuífera, financiamiento de estudios técnicos, recuperación de la planta de tratamiento del municipio de Nejapa (algunas de estas opciones pueden requerir la creación de fideicomiso o el uso del FONAES).
- Utilizar el pozo de monitoreo Pozo 6 Nejapa-ANDA como indicador de la estabilidad de las condiciones de recarga en la zona alta de la cuenca, identificadas como zonas de infiltración I y II en este estudio, de forma tal que de presentarse reducciones en el caudal del río, pueda determinarse su relación con las extracciones o la oferta de agua subterránea en la microcuenca.
- Instalar un data logger en el pozo El Coyolito (Alcaldía de Nejapa) para medir niveles dinámicos en el acuífero en la parte media de la microcuenca, ya que este pozo se encuentra aguas abajo de varios puntos de extracción, entre ellos ILC, Nejapa 9, Villa Constitución, El Salitre. El pozo cuenta con tubo piezométrico que permite la medición de niveles en el acuífero. De manera inmediata puede iniciarse el monitoreo de niveles mensuales o diarios si se provee a la

municipalidad del equipo necesario (puede solicitarse apoyo a otros usuarios del agua en la microcuenca).

- Iniciar una jornada de sello sanitario de los pozos que actualmente se encuentran sin uso y sin protección en la microcuenca y que se convierten en puntos potenciales de ingreso de contaminación al acuífero.
- Realizar un estudio que permita la evaluación más profunda e integral del comportamiento del acuífero, que incluya el análisis cuantitativo y cualitativo del sistema y la elaboración de un modelo numérico que permita conocer y monitorear su comportamiento. Puede implementarse a través de proyectos de cooperación internacional interesados en invertir en el tema de aguas. Este estudio sería la pauta para tomar decisión permanente en cuanto al levantamiento de la suspensión temporal de autorización de permisos ya que se tendría una cuantificación de la oferta ya calibrada y un sistema de monitoreo para el control del comportamiento del acuífero. Este estudio brindaría elementos adicionales para la toma de decisiones sobre los usos prioritarios que el agua subterránea del acuífero tendría de forma tal que se conozca claramente cuáles serán (si existiesen) los aprovechamientos de agua permitidos en el acuífero y las condiciones bajo las cuales se podría autorizar dicho aprovechamiento.
- Crear una mesa de trabajo con los principales usuarios y actores relacionados con el aprovechamiento del recurso hídrico en la microcuenca a fin de obtener compromisos de cooperación para realizar la evaluación integral del acuífero y donde se establezcan compromisos de las partes en búsqueda de la disponibilidad del agua en la microcuenca.

# **ANEXO 1**

## **Mapas temáticos de la microcuenca del río San Antonio**



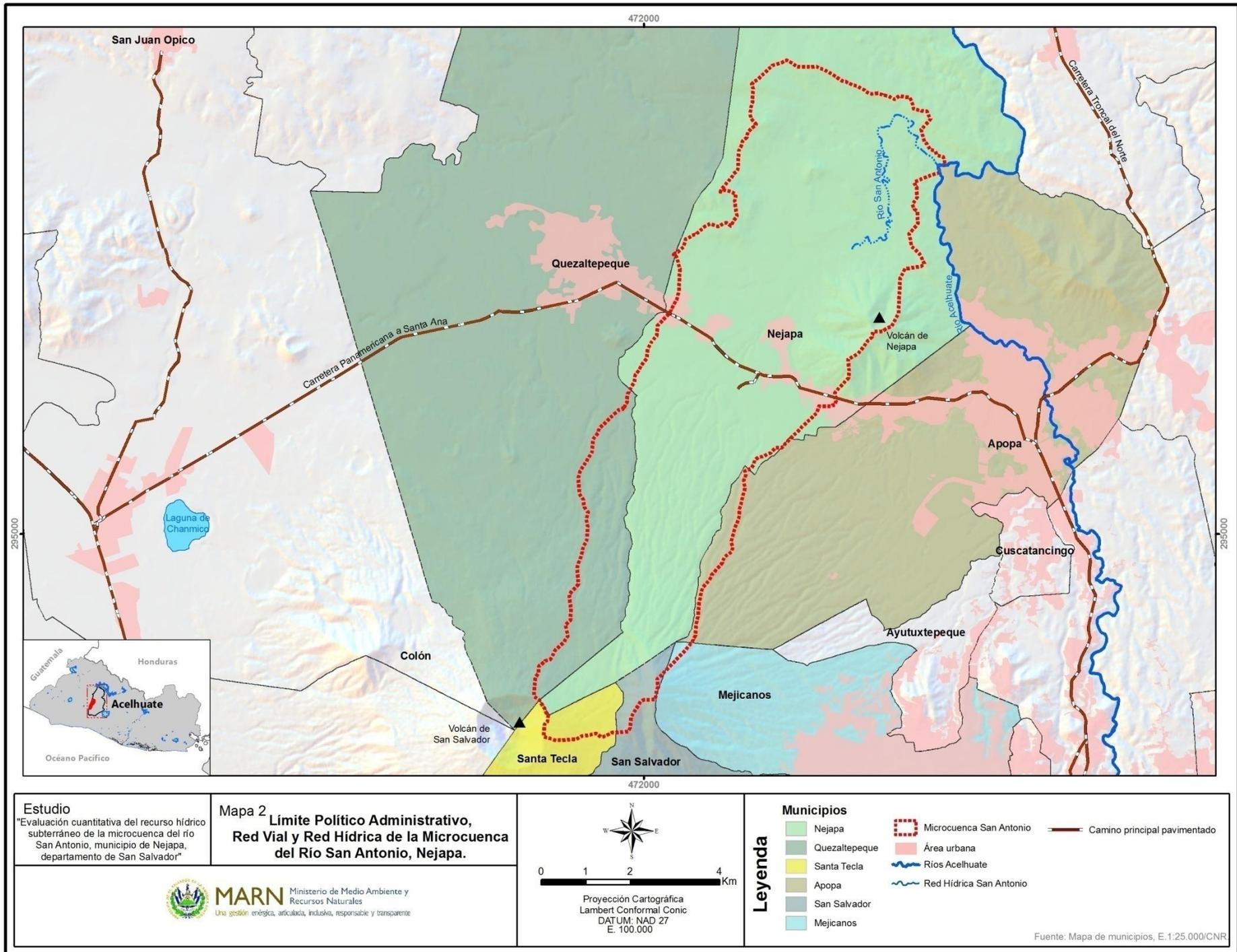
**Estudio**  
 "Evaluación cuantitativa del recurso hídrico subterráneo de la microcuenca del río San Antonio, municipio de Nejapa, departamento de San Salvador"

**Mapa 1**  
**Ámbito Hidrográfico de la Microcuenca del Río San Antonio, Nejapa.**



- Leyenda**
- Microcuenca Río San Antonio
  - Subcuenca Río Acelhuate
  - Área Urbana
  - Cuerpos de Agua
  - ▲ Volcanes
  - · — · — · Río Lempa
  - · — · — · Río Acelhuate
  - · — · — · Red vial principal

Fuente: Cuencas hidrográficas/MARN.



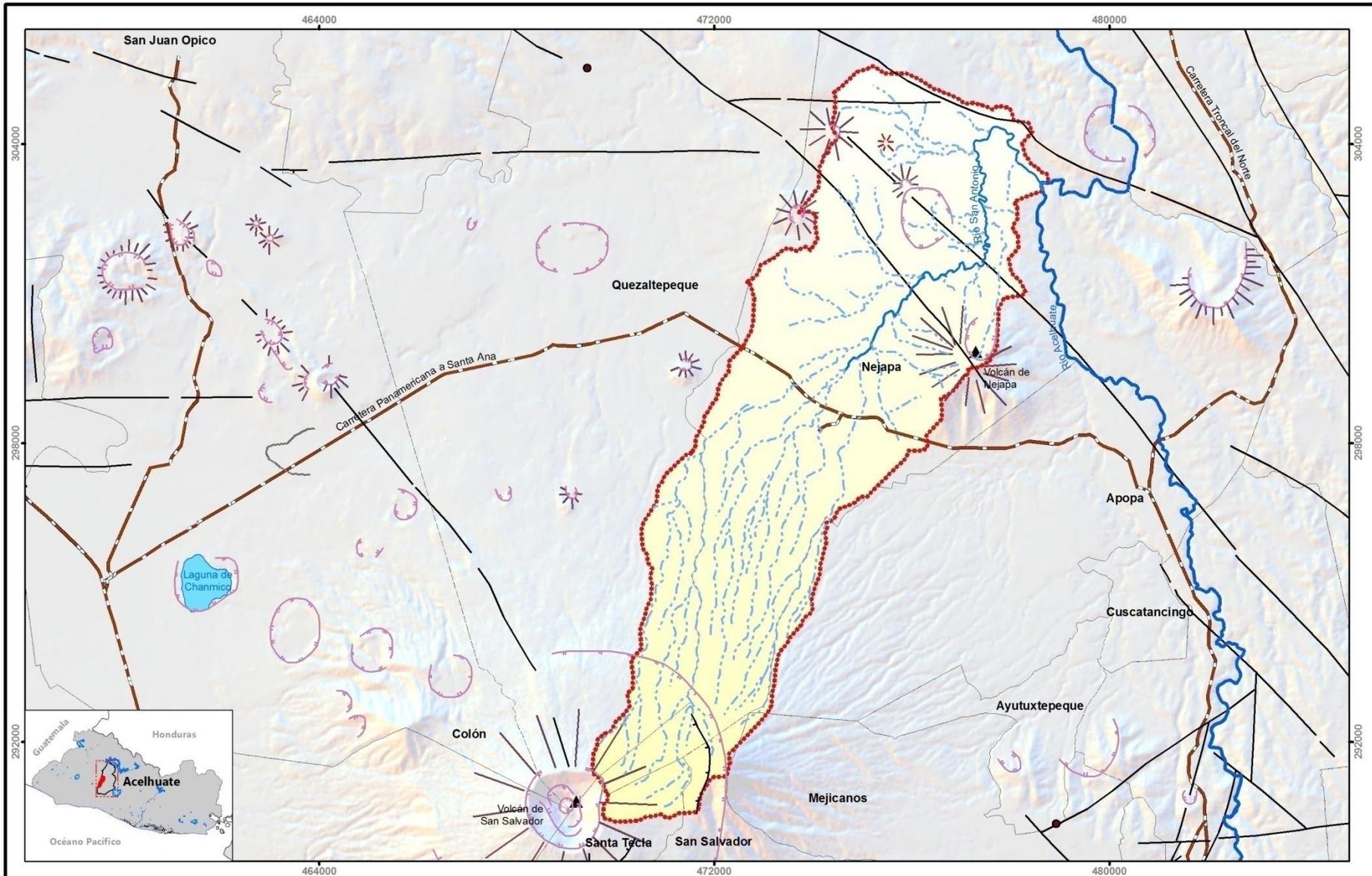
**Estudio**  
 "Evaluación cuantitativa del recurso hídrico subterráneo de la microcuenca del río San Antonio, municipio de Nejapa, departamento de San Salvador"

**Mapa 2**  
**Limite Político Administrativo, Red Vial y Red Hídrica de la Microcuenca del Río San Antonio, Nejapa.**



Municipios		Microcuenca San Antonio		Camino principal pavimentado	
Nejapa	Quezaltepeque	Santa Tecla	Apopa	San Salvador	Mejicanos
Área urbana	Ríos Acelhuate	Red Hídrica San Antonio			

Fuente: Mapa de municipios, E:1:25.000/CNR



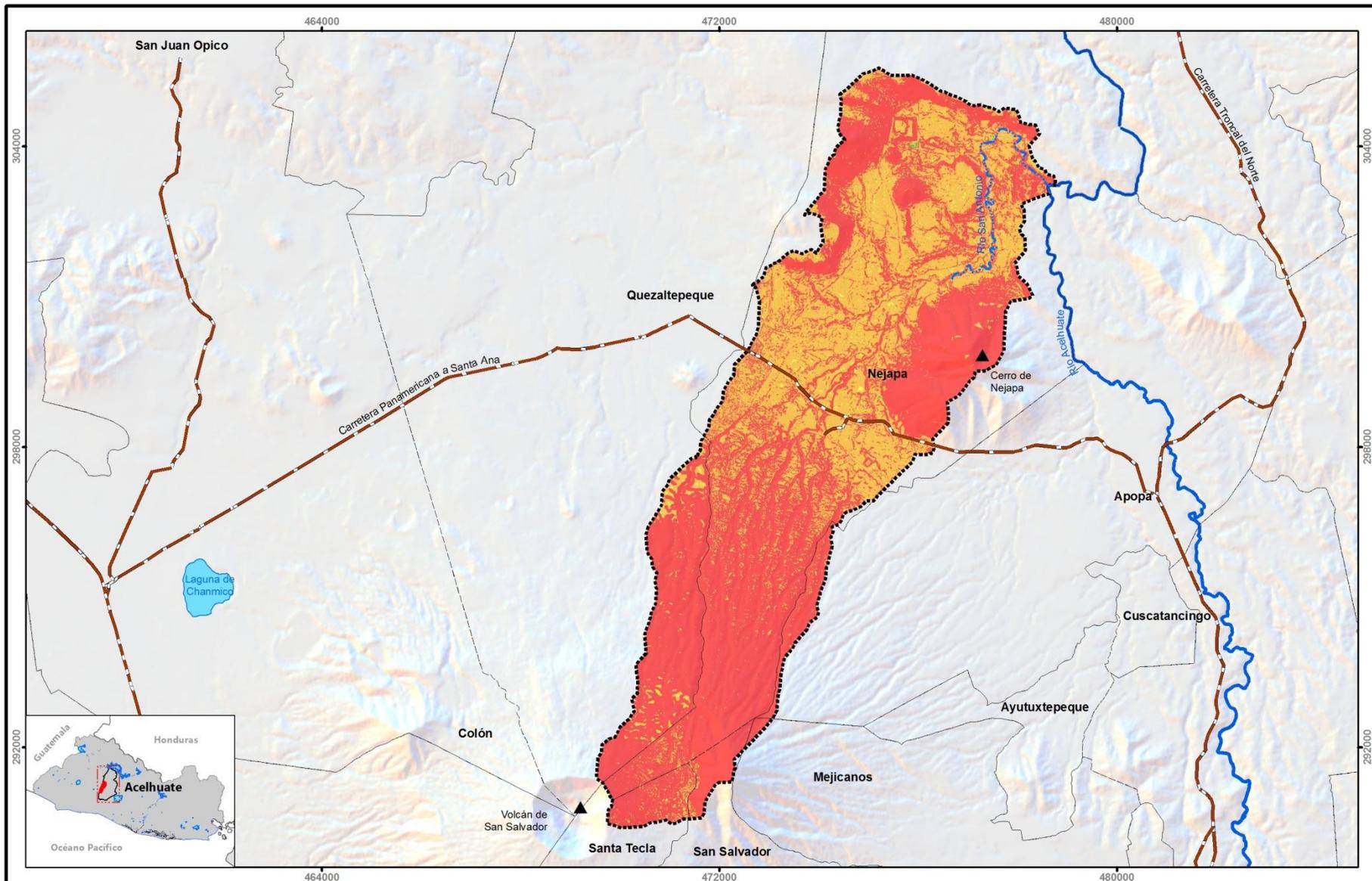
**Estudio**  
 "Evaluación cuantitativa del recurso hídrico subterráneo de la microcuenca del río San Antonio, municipio de Nejapa, departamento de San Salvador"

**Mapa 2**  
**Red de Drenajes de la Microcuenca del Río San Antonio, Nejapa.**



- Red de drenajes**
- TIPO**
- Ríos principales
  - Ríos secundarios
  - Ríos pequeños
  - Quebradas intermitentes
  - Microcuenca San Antonio
- Leyenda**

Fuente: Cuadrantes 1:25.000/CNR



**Estudio**  
 "Evaluación cuantitativa del recurso hídrico subterráneo de la microcuenca del río San Antonio, municipio de Nejapa, departamento de San Salvador"

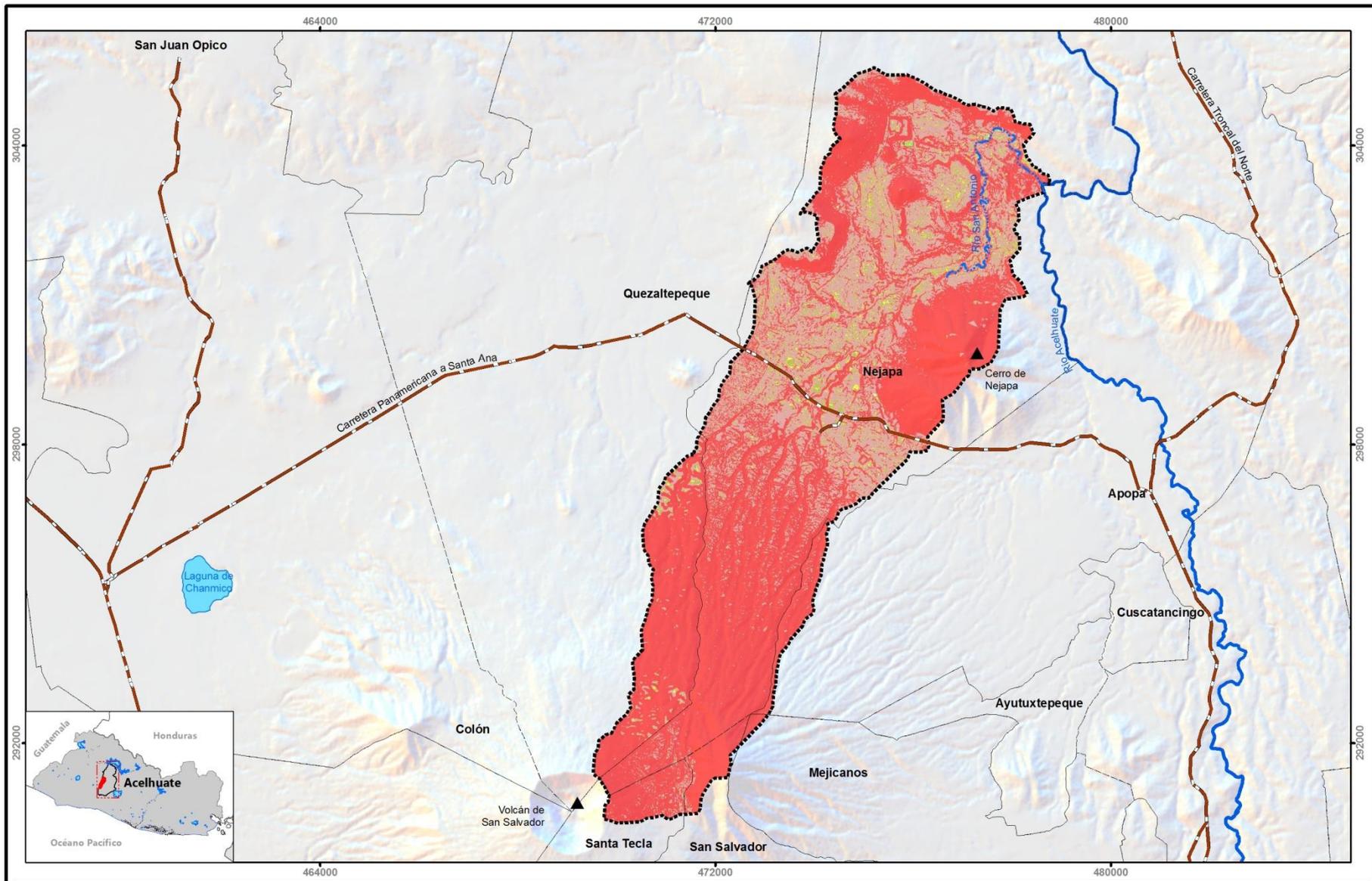
**Mapa 4A**  
**Rangos de Pendientes de la Microcuenca del Río San Antonio, Nejapa.**



Clasificación	Rangos
Muy plana,	0.00% - 0.30%
Plana,	0.30% - 1.00%
Algo Plana,	1.00% - 7.00%
Fuertes,	Mayor de 7.00%

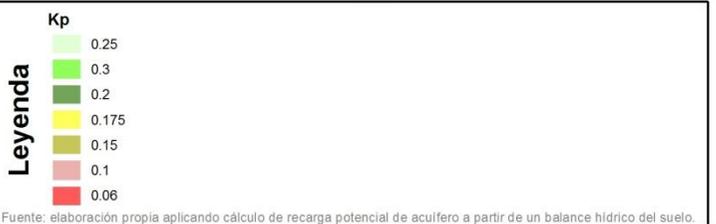
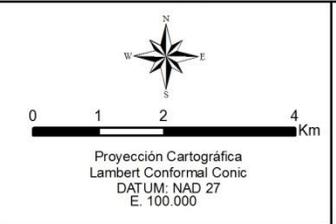
**Leyenda**

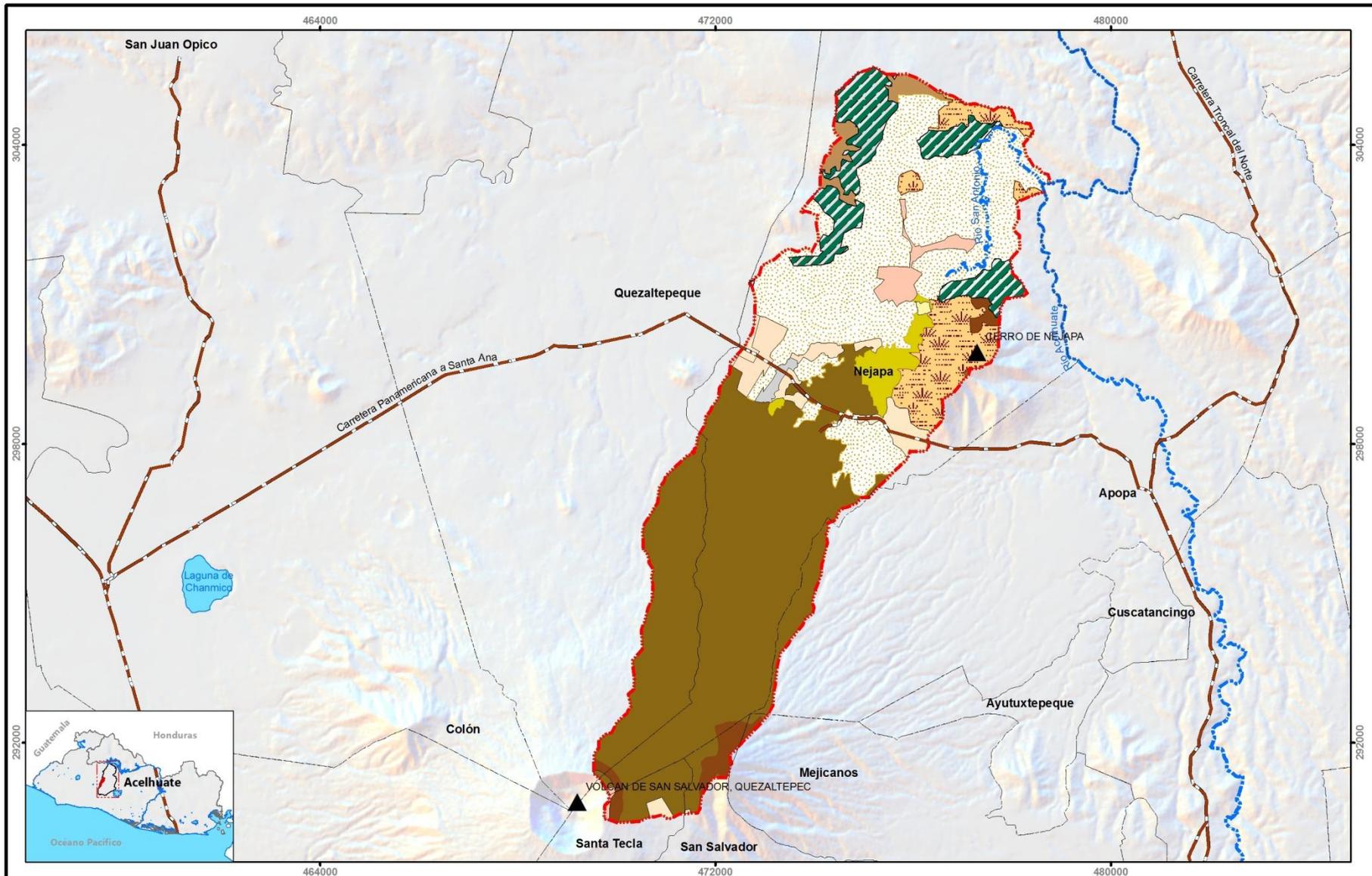
Fuente: elaboración propia aplicando cálculo de recarga potencial de acuífero a partir de un balance hídrico del suelo.



**Estudio**  
 "Evaluación cuantitativa del recurso hídrico subterráneo de la microcuenca del río San Antonio, municipio de Nejapa, departamento de San Salvador"

**Mapa 4B**  
**Kp de la Microcuenca del Río San Antonio, Nejapa.**





**Estudio**  
 "Evaluación cuantitativa del recurso hídrico subterráneo de la microcuenca del río San Antonio, municipio de Nejapa, departamento de San Salvador"

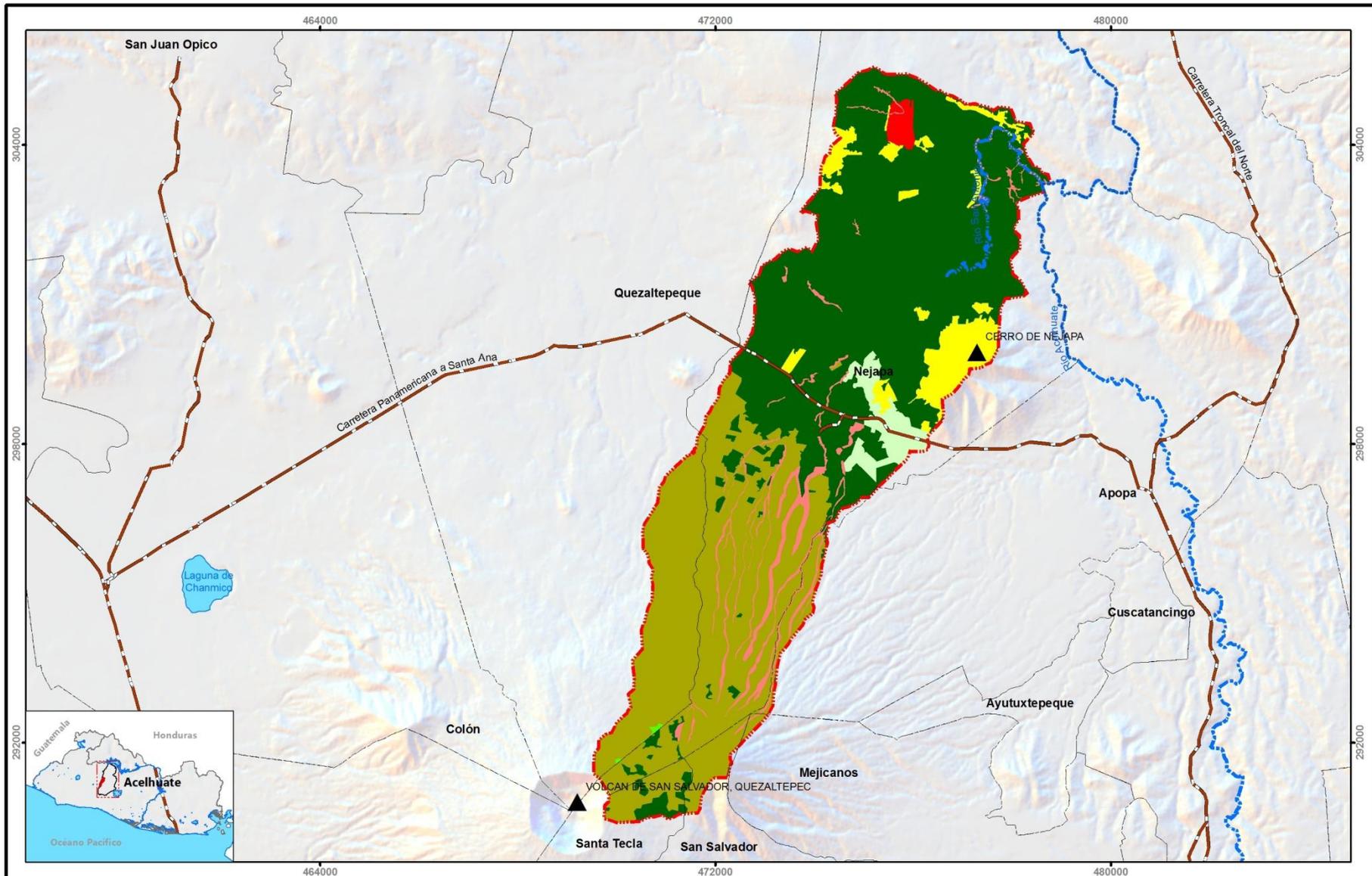
**Mapa 5A**  
**Uso del Suelo de la Microcuenca del Río San Antonio, Nejapa.**



**Leyenda**

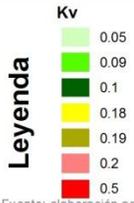
Café	Zonas en Construcción
Caña de Azúcar	Bosque mixto semi caducifóleos
Mosaico de Cultivos y Pastos	Zonas Comerciales o Industriales
Granos Básicos	Roccosidad, lavas
Tejido Urbano Precario	Vegetación Arbustiva Baja
Tejido Urbano Discontinuo	Terrenos principalmente agrícola, pero con importante espacios de vegetación natural
Bosque Siempre Verdes	

Fuente: elaboración propia aplicando cálculo de recarga potencial de acuífero a partir de un balance hídrico del suelo.

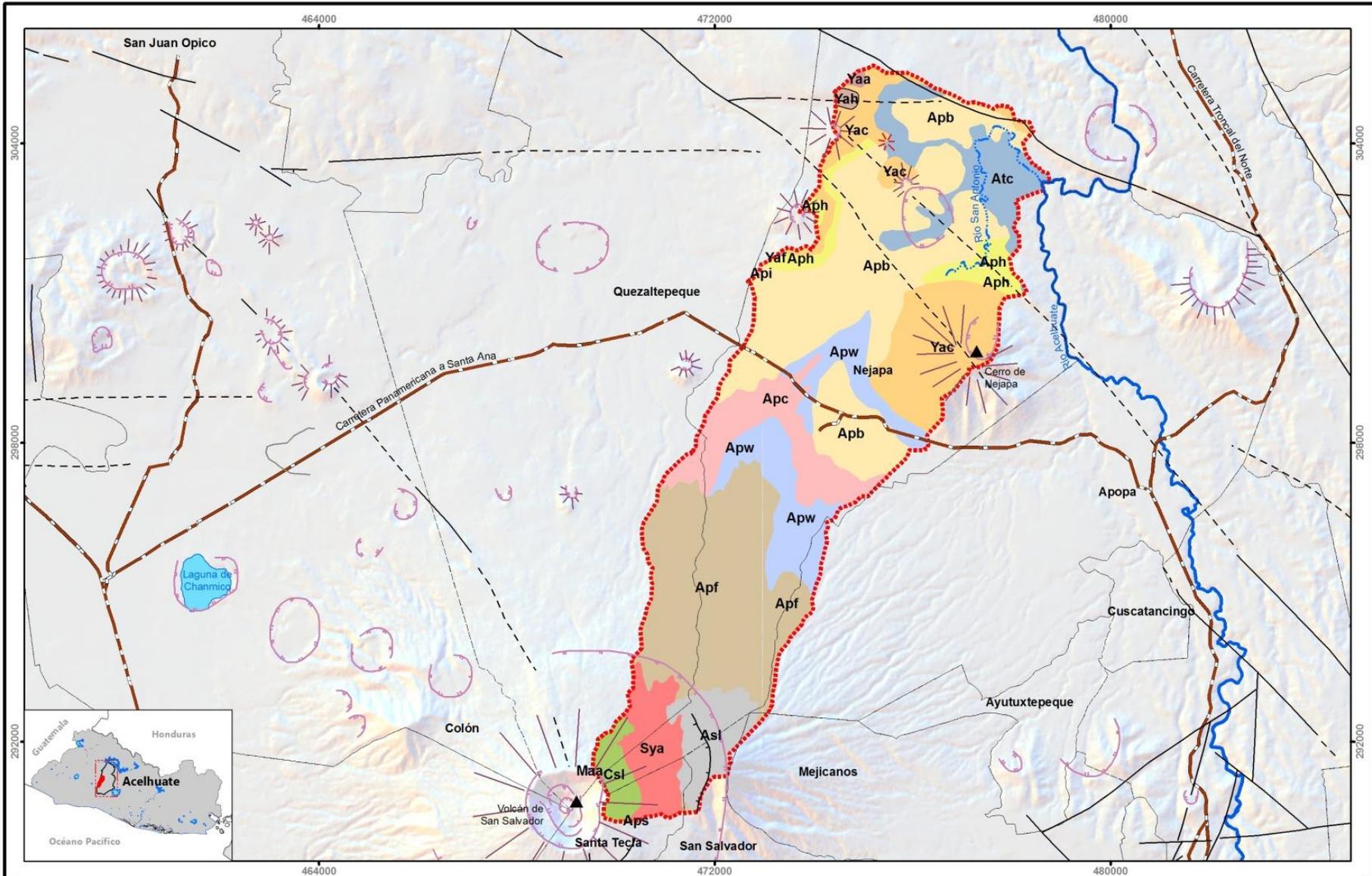


**Estudio**  
 "Evaluación cuantitativa del recurso hídrico subterráneo de la microcuenca del río San Antonio, municipio de Nejapa, departamento de San Salvador"

**Mapa 5B**  
**Kv de la Microcuenca del Río San Antonio, Nejapa.**



Fuente: elaboración propia aplicando cálculo de recarga potencial de acuífero a partir de un balance hídrico del suelo.



**Estudio**  
 "Evaluación del recurso hídrico subterráneo de la microcuenca del río San Antonio, municipio de Nejapa, departamento de San Salvador"

**Mapa 6**  
**Levantamiento General de Suelos de la Microcuenca del Río San Antonio, Nejapa.**

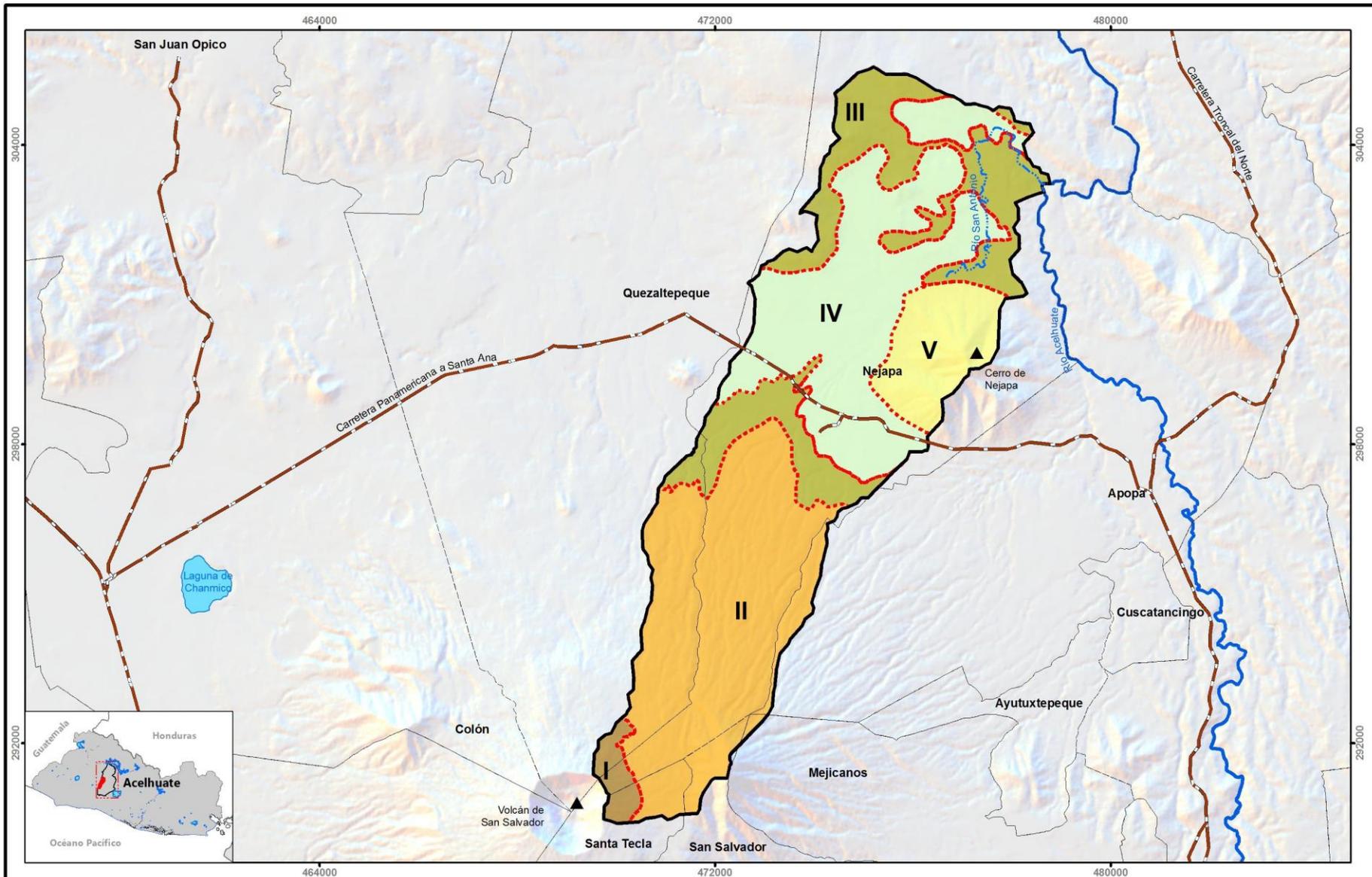


**Legenda**

Código	Kfc	Código	Kfc	Código	Kfc
Apb	0.73	Asl	0.73	Yaf	0.65
Apc	0.67	Atc	0.73	Yah	0.65
Apf	0.65	Csl	0.65	Apw	0.65
Aph	0.65	Maa	0.65	Yac	0.65
Api	0.73	Sya	0.65		
Aps	0.73	Yaa	0.65		

Nota: ver descripción en anexo 4.

Fuente: Centa 2002.



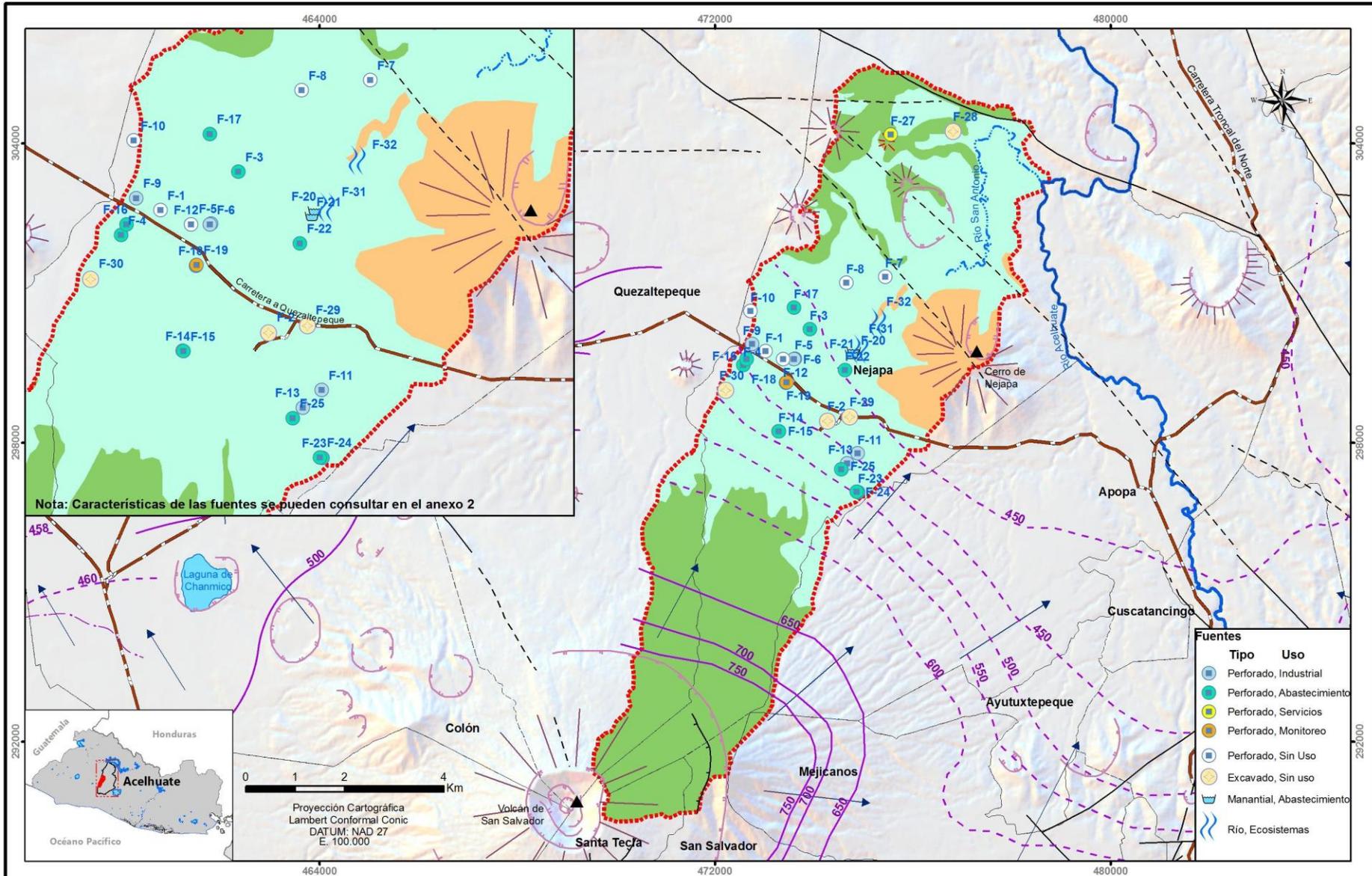
**Estudio**  
 "Evaluación cuantitativa del recurso hídrico subterráneo de la microcuenca del río San Antonio, municipio de Nejapa, departamento de San Salvador"

**Mapa 7**  
**Recarga acuífera en la Microcuenca del Río San Antonio, Nejapa**



Zonas	Ci	Recarga (mm/año)
Zona I	0.90	621.25
Zona II	0.90	401.07
Zona III	0.90	303.78
Zona IV	0.95	306.64
Zona V	0.83	244.22

Fuente: elaboración propia aplicando cálculo de recarga potencial de acuífero a partir de un balance hídrico del suelo.



**Estudio**  
 "Evaluación cuantitativa del recurso hídrico subterráneo de la microcuenca del río San Antonio, municipio de Nejapa, departamento de San Salvador"

**Mapa 8**  
**Hidrogeológico de la Microcuenca del Río San Antonio, Nejapa.**

Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales  
 Una gestión energética, articulada, inclusiva, responsable y transparente

Fuente: Mapa Hidrogeológico/ANDA.

**Clasificación Hidrogeológica**

- Unidad Acuífero Poroso de Gran Extensión y Productividad Media
- Unidad Acuífero Volcánico Fisurado de Gran Extensión y Posiblemente Alta Producción
- Unidad Rocas No Acuíferas

**Fallas Geológicas**

- Cono Volcánico
- Estructura Volcánica sin Cráter

**Leyenda**

- Cráteres
- Estructura Anular
- Escarpes de Terraza
- Fallas Supuestas
- Escarpes de Colada
- Fallas
- Paleocauces

**Nivel Piezométrico**

- Acuífero Fisurado
- Acuífero Poroso
- Acuífero Confinado

**Lineas de Flujo**

-

# **ANEXO 2**

## **Inventario de fuentes y extracciones de agua en el acuífero de Nejapa**

## Anexo 1 Inventario de fuentes y extracciones de agua en el acuífero de Nejapa

Cod.	X	Y	Nombre	Caudal	Uso	Propietario	Tipo	Observación
F-1	-89.249	13.820	Pozo 7B	0.00	Sin uso	ANDA	Perforado	Coincide con Pozo 7B-Fuera de uso
F-2	-89.238	13.807	El Castañito	0.00	Sin uso	Salazar Romero	Excavado	Conocido como El Castañito
F-3	-89.241	13.824	Alcaldía Nejapa	14.62	Abastecimiento	Alcaldía	Perforado	Conocido como El Coyolito, macromedidor dañado, acceso a medición de niveles
F-4	-89.254	13.817	Villa Constitución	20.06	Abastecimiento	Salazar Romero	Perforado	Verificado en campo Q, conocido como Pozo Las Américas
F-5	-89.244	13.818	Pozo No. 1 Nixapa	21.39	Industrial	ILC	Perforado	Tomado del Esla
F-6	-89.244	13.818	Pozo No. 2 Nixapa	0.00	Industrial	ILC	Perforado	Extracción compartida con pozo 1 Nixapa
F-7	-89.227	13.833	Hda Mapilapa	0.00	Sin Uso	Desconocido	Perforado	El pozo encontrado corresponde con ELS-2 No.17
F-8	-89.234	13.832	Hda Atalpo	0.00	Sin Uso	Desconocido	Perforado	Conocido como Ceiba Hueca, sin uso y rellenado de rocas
F-9	-89.252	13.821	Felipe López	1.00	Industrial	Felipe López	Perforado	Existente pero no se tuvo acceso al pozo, consumo en bodega
F-10	-89.252	13.827	El Jabalí	0.00	Sin Uso	Desconocido	Perforado	Fuera de uso, posible evaluarlo como pozo de monitoreo
F-11	-89.232	13.801	Jumex	15.00	Industrial	Jumex	Perforado	De datos del titular Q<1L/s, se toma datos de ILC, se desconoce Q de PA
F-12	-89.246	13.818	Matadero ES	0.00	Sin Uso	ILC	Perforado	Propuesto como pozo de Monitoreo
F-13	-89.234	13.799	LACTOSA 1	2.10	Industrial	Lactosa	Perforado	En funcionamiento. Sin datos del medidor
F-14	-89.247	13.805	El Cambio 2	0.00	Sin uso	ANDA	Perforado	Está en el mismo plantel de bombeo en desuso, puede evaluarse como monitoreo
F-15	-89.247	13.805	Pozo El Salitre Nejapa - ANDA	20.00	Abastecimiento	ANDA	Perforado	Estimado sobre la base de pozos de la zona
F-16	-89.253	13.818	Pozo 9 Nejapa-ANDA	20.00	Abastecimiento	ANDA	Perforado	Se verifico caudal en campo
F-17	-89.244	13.827	Pozo 8 Nejapa-ANDA	21.86	Abastecimiento	ANDA	Perforado	En operación de 24 horas, no cuenta con macromedidor, tomado de datos ILC
F-18	-89.246	13.814	Pozo 6 Nejapa-ANDA	16.67	Abastecimiento	ANDA	Perforado	En operación de 22 horas con Q=18 L/s, sí cuenta con macromedidor
F-19	-89.246	13.814	Pozo 6-A ANDA	0.00	Monitoreo	ANDA	Perforado	Se cuenta con tres años de registros con niveles dinámicos al 06-2013
F-20	-89.233	13.820	Pozo Tres Piedras	60.00	Abastecimiento	ANDA	Manantial	Toma agua del nacimiento del río, manantial, asumida alta producción, igual que el Castaño 1
F-21	-89.233	13.819	Pozo Castaño 1 Nejapa-ANDA	60.00	Abastecimiento	ANDA	Manantial	Toma agua del nacimiento del río, manantial, asumida alta producción tomada de Geólogos del
F-22	-89.235	13.816	Pozo Castaño 2 Nejapa-ANDA	60.00	Abastecimiento	ANDA	Perforado	Pozo perforado, verificado en campo, 60L/s, se toma valor de ILC
F-23	-89.232	13.794	Pozos Estación Central 1 Nejapa-ANDA	30.65	Abastecimiento	ANDA	Perforado	No se tuvo acceso al sitio, se asume 20L/s
F-24	-89.232	13.794	Pozos Estación Central 2 Nejapa-ANDA	34.47	Abastecimiento	ANDA	Perforado	No se tuvo acceso al sitio, se asume 20L/s
F-25	-89.235	13.798	Pozo Los Moranes	3.92	Abastecimiento	ANDA	Perforado	Permiso ambiental en proceso, se toma solicitud del permiso
F-26	-89.209	13.899	Pozo Tutultepeque Nejapa-ANDA	0.00	Abastecimiento	ANDA	Perforado	Permiso ambiental en proceso, Q=10.82 L/s de solíc. PA, fuera de la cuenca
F-27	-89.226	13.859	MIDES	2.00	Servicios	MIDES	Perforado	La empresa no brindó acceso al pozo (se presume igual a Lactosa)
F-28	-89.214	13.859	2 de Mayo	0.00	Sin uso	Privado	Excavado	Pozo excavado en desuso
F-29	-89.234	13.808	Mecafé	0.00	Sin uso	Privado	Excavado	Pozo excavado en desuso
F-30	-89.257	13.812	Finca Chévez	0.00	Sin uso	Privado	Excavado	Pozo excavado en desuso
F-31	-89.232	13.820	Aforo-río1	257.00	Ecosistemas	Nacional	Río	fecha aforo 03-06-2013
F-32	-89.228	13.825	Aforo-río2	256.00	Ecosistemas	Nacional	Río	fecha aforo 03-06-2014

Nota: Todos los pozos a excepción del Cod. F-30 Finca Chévez, se encuentran en el municipio de Nejapa, Depto. De San Salvador

# **ANEXO 3**

## **Balances hídricos por zona de infiltración**

## BALANCE HIDRICO DE SUELOS Gunther Schosinsky

**Zona de Estudio:** Zona I  
**Fecha:** 3 de julio de 2013

**Textura de Suelo:** Csl, suelos de textura franco a franco arenosa, Cuscatlán muy accidentado en mont.

### Simbología

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

fc [mm/d]	191.00		
Kp [0.01%]	0.06		
Kv [0.01%]	0.19		
Kfc [0.01%]	0.6499		
I [0.01%]	0.8999		
DS (g/cm <sup>3</sup> ):	1.48		
PR (mm)	1200.00		
HSi (mm)	248.64		
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	10		
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12	0.20		

	por peso		
	(%)	(mm)	
CC	14.00	248.64	
PM	6.00	106.56	
(CC-PM)	8.00	142.08	

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	4.29	2.48	14.02	48.93	174.11	356.01	387.33	389.52	397.87	240.10	43.89	14.95	2073.49
Ret [mm]	4.29	2.48	5.00	9.79	34.82	71.20	77.47	77.90	79.57	48.02	8.78	5.00	424.32
Pi (mm)	0.00	0.00	8.12	35.23	125.35	256.31	278.86	280.44	286.45	172.86	31.60	8.95	1484.16
ESC (mm)	0.00	0.00	0.90	3.92	13.94	28.50	31.00	31.18	31.85	19.22	3.51	1.00	165.01
ETP (mm)	105.33	106.66	134.34	136.05	128.13	116.34	129.28	127.72	107.35	106.29	140.83	97.63	1435.96
HSi (mm)	159.22	134.65	121.48	118.11	129.99	181.96	248.64	248.64	248.64	248.64	248.64	193.55	
C1	0.37	0.20	0.16	0.33	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.68	
C2	0.10	0.05	0.01	0.01	0.15	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.23	0.21	
HD (mm)	52.66	28.09	23.03	46.78	148.78	331.71	420.94	422.52	428.53	314.94	173.68	95.94	
ETR (mm)	24.57	13.17	11.48	23.35	73.38	116.34	129.28	127.72	107.35	106.29	86.70	43.27	862.91
HSf (mm)	134.65	121.48	118.11	129.99	181.96	248.64	248.64	248.64	248.64	248.64	193.55	159.22	
DCC (mm)	113.99	127.16	130.53	118.65	66.68	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	55.09	89.42	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	73.29	149.58	152.72	179.09	66.57	0.00	0.00	621.25
NR (mm)	194.75	220.64	253.39	231.35	121.43	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	109.23	143.77	1274.56

## BALANCE HIDRICO DE SUELOS Gunther Schosinsky

**Zona de Estudio:** Zona II  
**Fecha:** 3 de julio de 2013

**Textura de Suelo:** Apf, Apw, Asi, suelo Gralmente. profundos, franco a franco arenoso fino

### Simbología

fc: Capacidad de Infiltración.

I: Infiltración.

CC: Capacidad de Campo.

PM: Punto de Marchitez.

PR: Profundidad de Raíces.

(CC-PM): Rango de Agua Disponible.

DS: Densidad de Suelo.

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

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

Kp: Factor por pendiente ( ver léame)

Kv: Factor por vegetación ( ver léame)

Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración

P: Precipitación Media Mensual.

Pi: Precipitación que infiltra.

ESC: Escorrentía Superficial

ETP: Evapotranspiración Potencial.

ETR: Evapotranspiración Real.

HSi: Humedad de Suelo Inicial.

HD: Humedad Disponible

HSf: Humedad de Suelo Final.

DCC: Déficit de Capacidad de Campo.

Rp: Recarga Potencial

NR: Necesidad de Riego.

Ret: Retención de lluvia

fc [mm/d]

191.00

Kp [0.01%]

0.06

Kv [0.01%]

0.19

Kfc [0.01%]

0.6499

I [0.01%]

0.8999

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

1.48

PR (mm)

1200.00

HSi (mm)

248.64

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

10

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

0.20

por peso

(%)

(mm)

CC

14.00

248.64

PM

6.00

106.56

(CC-PM)

8.00

142.08

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	4.08	1.25	15.42	58.64	161.21	327.13	352.74	381.50	365.68	215.47	36.38	10.82	1930.32
Ret [mm]	4.08	1.25	5.00	11.73	32.24	65.43	70.55	76.30	73.14	43.09	7.28	5.00	395.08
Pi (mm)	0.00	0.00	9.37	42.22	116.07	235.52	253.95	274.66	263.27	155.13	26.19	5.24	1381.62
ESC (mm)	0.00	0.00	1.04	4.69	12.90	26.19	28.24	30.54	29.27	17.25	2.91	0.58	153.61
ETP (mm)	128.43	131.09	162.69	164.68	155.55	140.15	153.06	149.44	129.34	129.66	140.50	120.59	1705.19
HSi (mm)	152.35	129.66	118.18	115.53	128.09	168.83	248.64	248.64	248.64	248.64	248.64	190.85	
C1	0.32	0.16	0.15	0.36	0.97	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.63	
C2	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.20	0.10	
HD (mm)	45.79	23.10	20.99	51.19	137.59	297.79	396.03	416.74	405.35	297.21	168.27	89.53	
ETR (mm)	22.68	11.48	12.02	29.67	75.32	140.15	153.06	149.44	129.34	129.66	83.98	43.74	980.55
HSf (mm)	129.66	118.18	115.53	128.09	168.83	248.64	248.64	248.64	248.64	248.64	190.85	152.35	
DCC (mm)	118.98	130.46	133.11	120.55	79.81	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	57.79	96.29	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	15.57	100.89	125.22	133.94	25.46	0.00	0.00	401.07
NR (mm)	224.72	250.07	283.78	255.56	160.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	114.31	173.14	1461.63

## BALANCE HIDRICO DE SUELOS Gunther Schosinsky

**Zona de Estudio:** Zona III  
**Fecha:** 2 de julio de 2013

**Textura de Suelo:** Franco a franco arenoso fino, Apc y Aph, sobre suelos rojo arcilloso a 1.5 m de prof.

### Simbología

fc: Capacidad de Infiltración.

I: Infiltración.

CC: Capacidad de Campo.

PM: Punto de Marchitez.

PR: Profundidad de Raíces.

(CC-PM): Rango de Agua Disponible.

DS: Densidad de Suelo.

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

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

Kp: Factor por pendiente ( ver léame)

Kv: Factor por vegetación ( ver léame)

Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración

P: Precipitación Media Mensual.

Pi: Precipitación que infiltra.

ESC: Escorrentía Superficial

ETP: Evapotranspiración Potencial.

ETR: Evapotranspiración Real.

HSi: Humedad de Suelo Inicial.

HD: Humedad Disponible

HSf: Humedad de Suelo Final.

DCC: Déficit de Capacidad de Campo.

Rp: Recarga Potencial

NR: Necesidad de Riego.

Ret: Retención de lluvia

fc [mm/d]

210.00

Kp [0.01%]

0.08

Kv [0.01%]

0.15

Kfc [0.01%]

0.6723

I [0.01%]

0.9023

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

1.60

PR (mm)

1200.00

HSi (mm)

345.60

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

10

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

0.12

por peso

(%)

(mm)

CC 18.00 345.60

PM 8.00 153.60

(CC-PM) 10.00 192.00

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	5.08	1.71	17.03	61.19	141.52	295.42	284.94	337.28	319.89	192.92	37.94	6.53	1701.48
Ret [mm]	5.00	1.71	5.00	7.34	16.98	35.45	34.19	40.47	38.39	23.15	5.00	5.00	217.70
Pi (mm)	0.07	0.00	10.85	48.59	112.38	234.58	226.26	267.82	254.01	153.19	29.73	1.38	1338.88
ESC (mm)	0.01	0.00	1.17	5.26	12.16	25.39	24.49	28.99	27.49	16.58	3.22	0.15	144.91
ETP (mm)	131.74	135.69	167.30	170.54	161.76	146.12	156.76	152.64	135.17	134.89	133.99	123.76	1750.35
HSi (mm)	224.28	192.46	174.70	169.84	186.42	228.00	327.55	345.60	345.60	345.60	345.60	277.72	
C1	0.37	0.20	0.17	0.34	0.76	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.65
C2	0.12	0.06	0.02	0.04	0.12	0.85	1.00	1.00	1.00	1.00	0.46	0.23	
HD (mm)	70.75	38.86	31.96	64.83	145.20	308.98	400.21	459.82	446.01	345.19	221.73	125.50	
ETR (mm)	31.89	17.76	15.71	32.01	70.80	135.03	156.76	152.64	135.17	134.89	97.61	54.83	1035.09
HSf (mm)	192.46	174.70	169.84	186.42	228.00	327.55	345.60	345.60	345.60	345.60	277.72	224.28	
DCC (mm)	153.14	170.90	175.76	159.18	117.60	18.05	0.00	0.00	0.00	0.00	67.88	121.32	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	51.45	115.18	118.84	18.30	0.00	0.00	303.78
NR (mm)	252.99	288.83	327.34	297.71	208.56	29.14	0.00	0.00	0.00	0.00	104.26	190.26	1699.08

## BALANCE HIDRICO DE SUELOS Gunther Schosinsky

**Zona de Estudio:** Zona IV  
**Fecha:** 3 de julio de 2013

**Textura de Suelo:** Franco a franco arenoso fino, Apb: Apopa ondulado en planicies

### Simbología

fc: Capacidad de Infiltración.

I: Infiltración.

CC: Capacidad de Campo.

PM: Punto de Marchitez.

PR: Profundidad de Raíces.

(CC-PM): Rango de Agua Disponible.

DS: Densidad de Suelo.

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

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

Kp: Factor por pendiente ( ver léame)

Kv: Factor por vegetación ( ver léame)

Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración

P: Precipitación Media Mensual.

Pi: Precipitación que infiltra.

ESC: Escorrentía Superficial

ETP: Evapotranspiración Potencial.

ETR: Evapotranspiración Real.

HSi: Humedad de Suelo Inicial.

HD: Humedad Disponible

HSf: Humedad de Suelo Final.

DCC: Déficit de Capacidad de Campo.

Rp: Recarga Potencial

NR: Necesidad de Riego.

Ret: Retención de Lluvia

fc [mm/d]

270.00

Kp [0.01%]

0.11

Kv [0.01%]

0.11

Kfc [0.01%]

0.7302

I [0.01%]

0.9502

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

1.48

PR (mm)

1600.00

HSi (mm)

520.96

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

10

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

0.12

por peso

(%)

(mm)

CC 22.00 520.96

PM 10.00 236.80

(CC-PM) 12.00 284.16

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	4.73	1.45	17.85	62.89	140.29	295.05	281.50	335.01	325.85	191.76	37.47	5.64	1699.49
Ret [mm]	4.73	1.45	5.00	7.55	16.84	35.41	33.78	40.20	39.10	23.01	5.00	5.00	217.06
Pi (mm)	0.00	0.00	12.21	52.59	117.31	246.71	235.38	280.12	272.46	160.34	30.85	0.61	1408.60
ESC (mm)	0.00	0.00	0.64	2.76	6.15	12.93	12.34	14.68	14.28	8.40	1.62	0.03	73.83
ETP (mm)	131.96	135.95	167.51	170.86	161.98	146.38	156.97	152.75	135.42	135.15	133.73	123.95	1752.60
HSi (mm)	372.61	324.18	292.38	276.41	290.23	337.95	459.58	520.96	520.96	520.96	520.96	442.29	
C1	0.48	0.31	0.24	0.32	0.60	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.73	
C2	0.26	0.16	0.10	0.13	0.26	0.71	1.00	1.00	1.00	1.00	0.64	0.41	
HD (mm)	135.81	87.38	67.79	92.20	170.74	347.87	458.16	564.28	556.62	444.50	315.01	206.10	
ETR (mm)	48.42	31.81	28.18	38.77	69.58	125.09	156.97	152.75	135.42	135.15	109.52	70.29	1101.96
HSf (mm)	324.18	292.38	276.41	290.23	337.95	459.58	520.96	520.96	520.96	520.96	442.29	372.61	
DCC (mm)	196.78	228.58	244.55	230.73	183.01	61.38	0.00	0.00	0.00	0.00	78.67	148.35	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	17.03	127.37	137.05	25.19	0.00	0.00	306.64
NR (mm)	280.32	332.72	383.87	362.82	275.40	82.67	0.00	0.00	0.00	0.00	102.87	202.01	2022.69

## BALANCE HIDRICO DE SUELOS Gunther Schosinsky

Zona de Estudio: Zona V  
Fecha: 3 de julio de 2013

Textura de Suelo: Suelos poco profundos arcillosos s/ capas inf. lavas fracturadas y plegadas poco intemp.

### Simbología

fc: Capacidad de Infiltración.

I: Infiltración.

CC: Capacidad de Campo.

PM: Punto de Marchitez.

PR: Profundidad de Raíces.

(CC-PM): Rango de Agua Disponible.

DS: Densidad de Suelo.

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

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

Kp: Factor por pendiente ( ver léame)

Kv: Factor por vegetación ( ver léame)

Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración

P: Precipitación Media Mensual.

Pi: Precipitación que infiltra.

ESC: Escorrentía Superficial

ETP: Evapotranspiración Potencial.

ETR: Evapotranspiración Real.

HSi: Humedad de Suelo Inicial.

HD: Humedad Disponible

HSf: Humedad de Suelo Final.

DCC: Déficit de Capacidad de Campo.

Rp: Recarga Potencial

NR: Necesidad de Riego.

Ret: Retención de Iluvia

fc [mm/d]

Kp [0.01%]

Kv [0.01%]

Kfc [0.01%]

I [0.01%]

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

PR (mm)

HSi (mm)

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

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

192.00
0.07
0.11

0.6512

0.8312

1.25
600.00
232.50

10

0.12
------

por peso

(%)

(mm)

CC	31.00	232.50
PM	17.00	127.50
(CC-PM)	14.00	105.00

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	4.39	1.63	17.28	60.23	140.57	292.29	281.39	330.09	326.46	192.61	37.43	5.62	1690.00
Ret [mm]	4.39	1.63	5.00	7.23	16.87	35.07	33.77	39.61	39.17	23.11	5.00	5.00	215.86
Pi (mm)	0.00	0.00	10.21	44.05	102.82	213.79	205.82	241.44	238.78	140.89	26.95	0.52	1225.28
ESC (mm)	0.00	0.00	2.07	8.95	20.88	43.42	41.80	49.04	48.50	28.61	5.47	0.11	248.86
ETP (mm)	132.06	136.00	167.55	170.78	161.75	146.51	157.11	152.86	135.42	135.21	133.52	123.95	1752.73
HSi (mm)	154.43	137.49	131.02	130.28	136.25	158.19	230.37	232.50	232.50	232.50	232.50	192.69	
C1	0.26	0.10	0.13	0.45	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.63	
C2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.93	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	
HD (mm)	26.93	9.99	13.73	46.83	111.57	244.48	308.70	346.44	343.78	245.89	131.95	65.71	
ETR (mm)	16.93	6.47	10.96	38.08	80.88	141.61	157.11	152.86	135.42	135.21	66.76	38.79	981.07
HSf (mm)	137.49	131.02	130.28	136.25	158.19	230.37	232.50	232.50	232.50	232.50	192.69	154.43	
DCC (mm)	95.01	101.48	102.22	96.25	74.31	2.13	0.00	0.00	0.00	0.00	39.81	78.07	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	46.59	88.58	103.37	5.68	0.00	0.00	244.22
NR (mm)	210.14	231.01	258.82	228.95	155.18	7.03	0.00	0.00	0.00	0.00	106.57	163.24	1360.95

# **ANEXO 4**

## **Características del suelo en la microcuenca del río San Antonio**

## **Anexo 4 Características de suelos en la microcuenca<sup>19</sup>**

### **Apb: Apopa Ligeramente ondulado en planicies**

Pertenecen al gran grupo Regosol. Son suelos con horizontes superiores de textura franca y franco arenosa fina de color gris oscuro a gris muy oscuro, con una profundidad promedio de 40 cms. Sobre un subsuelo franco arenoso fino, color gris claro, de estructura masiva. Son friables, permeables, no plásticos, no pegajosos, muy profundos, de alta capacidad de producción y buena capacidad de retención de humedad. Se encuentran en algunos lugares corrientes de lava.

### **Apc: Apopa ondulado en planicies**

Pertenecen al gran grupo Regosol. Los horizontes superiores son francos a franco arenoso finos de color café grisáceo muy oscuro, estructura débilmente granular y con espesor variable de 15 a 25 cm. Los estratos inferiores son francos, franco arenosos finos de colores café grisáceos claros con estructura terronosa a ligeramente granular. A profundidades mayores de 1.5 metros se encuentran suelos rojos arcillosos. En resumen son suelos francos, friables, permeables, no plásticos, no pegajosos y con moderada capacidad de retención de humedad. La capacidad de producción es buena. 0.20

### **Apf: Apopa-Ilopango accidentado en montañas**

Pertenecen al gran grupo Regosol. Son suelos originados de polvos pomicíticos con estratos superficiales friables, de estructura granular fina, de textura franca a franco arenosa fina de colores que varían de negro o café muy oscuro a café grisáceo oscuro hasta una profundidad de 40 cm en los suelos de Apopa y de 10-15 cms. En los de Ilopango. Los horizontes inferiores son por lo general de color gris claro de textura franco arenosa, friables, no plásticos, no pegajosos. Generalmente son suelos profundos. En algunas áreas se encuentran a una profundidad mayor de 1 m. un suelo enterrado bien desarrollado de textura franco arcillosa a arcillosa y de color café rojizo, así como estratos de lava que aflora en algunos lugares. En general la capacidad de producción es buena.

### **Aph. Apopa sobre suelos rojos, ligeramente ondulado en planicies**

Regosoles. Los horizontes superficiales son de menor espesor que los de la unidad "Apb"; siempre son francos a franco arenosos finos. Los estratos inferiores son de ceniza blanca, fina, friable, hasta una profundidad que varía de 50 a 100 cm. Que es donde aparece el suelo rojo arcilloso. En algunas partes este último aflora a la superficie debido a efectos de la erosión. La diferencia con los "Apb" se debe al suelo enterrado y a que aparecen algunas piedras en la superficie. La capacidad de producción es bastante similar a los "Apb".

---

<sup>19</sup> MAG. 1965. Levantamiento General de Suelos. Primera Edición. Nueva San Salvador, El Salvador. Esc. 1:50,000. 58 hojas, color.

#### **Api. Apopa, sobre suelos rojos ondulado en planicies**

Pertencen al gran grupo Regosol. Los horizontes superficiales de 20 a 30 cm de espesor son francos y franco arenosos finos, de color café grisáceo oscuro y estructura débilmente granular. Los estratos inferiores son de ceniza blanca, fina, friable, hasta una profundidad de 50 a 125 cm. Donde se encuentran suelos arcillosos de colores rojizos, estructura en bloques finos, los cuales afloran a la superficie en las partes más erosionadas y diseccionadas. En algunas partes hay afloramientos de lavas y a veces de tobas. La capacidad de producción es de moderada a alta.

#### **Aps: Apopa-Cuscatlán accidentado en montañas**

Pertencen al gran grupo Regosol. Los suelos superficiales son francos de color café grisáceo muy oscuro, estructura granular débil y con espesor variable de 20 a 40 cm. Las capas inferiores son francas a franco arenosas finas de color café grisáceo claro. Generalmente a profundidades menores de 120 cm se encuentran capas de talpetate semiduro de 20 a 60 cm de espesor. En los suelos Cuscatlán el talpetate se encuentra a poca profundidad y puede influir en cierto grado en los cultivos. En resumen son suelos friables, permeables, con capas de talpetate a profundidades variables y con moderada a alta capacidad de producción.

#### **Apw: Apopa-Ilopango alomado en terrenos elevados**

Pertencen al gran grupo Regosol. Son suelos francos, de color café grisáceo muy oscuro con estructura ligeramente granular y con espesores variando de 20 a 30 cms. Sobre material original o madre que está compuesto de cenizas blancas pomicíticas, de textura franca a franco arenosa fina, de estructura terronosa con bastantes poros finos y con un espesor que por lo general es mayor de dos metros sobre depósitos de materiales pomicíticos más antiguos. En resumen, son suelos francos, profundos, friables, permeables y con capacidad de producción moderada a buena.

#### **Asl: Apopa-Santa Ana-Tecapa Muy Accidentado en montañas**

Pertencen a los grandes grupos Regosol, Latosol Pardo Forestal y Litosol. El primero es el más extensivo y se caracteriza por ser profundo y poseer horizontes superiores con alta cantidad de materia orgánica de 20 a 25 cms. de espesor, de texturas franco arenosas con partículas de escoria, color negro a café muy oscuro, friables y de estructura granular débil; con subsuelos franco limosos, friables, de estructura granular y de color café muy oscuro a café grisáceo oscuro cambiando a café pálido con la profundidad. Entre 1 m. a 1.20 m se encuentra un estrato de arena gravosa de pómez de color café. A profundidades mayores de 1.50 m. aparecen estratos franco arenosos con grava de pómez de color café grisáceo muy oscuro que cambia a café rojizo con la profundidad. El Latosol Pardo Forestal es franco, café muy oscuro, friable y de estructura granular, con subsuelo franco a franco arcilloso, friable de color café amarillento, profundo y de buena

permeabilidad. En algunas áreas existen capas de escoria de poco espesor en los horizontes superiores. Los Litosoles son los afloramientos rocosos de paredes y lechos de quebradas.

#### **Atc. Apopa-Tonacatepeque, alomado en terrenos elevados**

Pertenecen a los grandes grupos Regosol y Litosol. Los primeros se caracterizan por poseer un horizonte superficial de unos 30 cm de textura franca a franco arenosa fina, de color café oscuro y estructura granular, sobre estratos inferiores de ceniza volcánica, blanca, fina, de textura franca. Los segundos suelos, se distinguen por su roca madre que es una toba dura poco intemperizada, sobre la cual se encuentra un suelo francoso de poco espesor. En algunas partes hay intrusiones de un suelo de arcilla negra, muy plástica y pegajosa.

#### **Csl: Cuscatlán muy accidentado en montañas**

Pertenecen a los grandes grupos Regosol y Litosol. El Regosol que es el más extensivo posee generalmente una capa superficial con un espesor promedio de 25 cm. De textura franco a franco arenosa, de estructura pulverulenta, de color pardo grisáceo, con partículas gruesas de talpetate y descansando sobre un estrato de talpetate blando, de 25 a 35 cm. abajo de este estrato, se encuentra una diversidad de materiales volcánicos como cenizas pomicíticas, escorias máficas y lavas. Los Litosoles presentan características similares a los anteriores pero son más superficiales y con afloramientos de talpetate duro y con espesores de 75 cm. A más de 2.00 m. 0.20

#### **Maa: Malpaisera: conos volcánicos y corrientes de lava**

Pertenecen al gran grupo Litosol o mejor dicho a las tierras sin suelo agrícola. Se encuentran como grandes afloramientos de piedra y gravilla esparcida sobre la superficie. Son áreas típicas de lava de colores muy oscuros y sin intemperización. 0.10

#### **Sya: Soyapango-Santa Ana accidentado en montañas**

Pertenecen a los grandes grupos Regosol y Latosol. El horizonte superior es franco a franco limoso de color pardo grisáceo muy oscuro negro con estructura granular y con espesores de 30 a 60 cm. Las capas inferiores son francas, franco arenosas finas o franco limosas, con estructura granular débil y de color pardo grisáceo claro con espesor por lo general mayor de 2 m. descansando en algunas áreas sobre un suelo enterrado o estratos de escoria. En resumen, son suelos profundos, francos, friables de buena permeabilidad y capaces de dar buenas cosechas.

#### **Yaa: Yayantique alomado en terrenos elevados**

Pertenecen a los grandes grupos Latosol Arcillo Rojizo y Litosol. Predominan los suelos bastante desarrollados. Los horizontes superficiales son franco arcillosos, pedregosos, de color café muy oscuro y de estructura granular. Los subsuelos son arcillosos, pedregosos, de color café rojizo y de estructura en bloques con películas de arcilla. Tienen moderada permeabilidad y alta capacidad de retener agua. A profundidades de 50 a 100 cm se encuentran capas de lavas oscuras, de intemperización variable

#### **Yac. Yayantique-Siguatepeque muy accidentado en montañas**

Pertenecen a los grandes grupos Latosol Arcillo Rojizo y Litosol. Son suelos arcillosos, de color rojizo, de estructura en bloques, muy pedregosos y varían de superficiales a moderadamente profundos, pero con mayor proporción de suelos muy poco profundos, sobre capas inferiores de lavas plegadas, fracturadas y poco intemperizadas. Se encuentran bastantes afloramientos rocosos.

#### **Yaf. Yayantique-Siguatepeque, muy accidentado en montañas**

Pertenecen a los grandes grupos Latosol Arcillo Rojizo y Litosol. Son suelos arcillosos, de color rojizo, de estructura en bloques, son muy pedregosos y varían de superficiales a moderadamente profundos. Son similares a los "Yah" pero con una mayor proporción de suelos muy poco profundos, sobre capas inferiores de lavas plegadas, fracturadas y poco intemperizadas. Se encuentran bastantes afloramientos rocosos.

#### **Yah. Yayantique ondulado en terrenos elevados**

Pertenecen a los grandes grupos Latosol Arcillo Rojizo y Litosol.

Los suelos superficiales son franco arcillosos a arcillosos con afloramientos de piedra y de estructura granular hasta los 60 cm. Los subsuelos son arcillosos, plásticos, pegajosos, de estructura en bloques fuertes, con películas de arcillas y de color café rojizo oscuro a rojizo. A una mayor profundidad, se encuentran capas de lavas oscuras, fracturadas y de intemperización variable. La fertilidad es de regular a baja. En algunas partes se encuentran depósitos poco profundos de ceniza volcánica en la superficie.