

Artículo científico

Caracterización del agua subterránea de la cuenca del río Suquiapa, Santa Ana, El Salvador

César Armando Alvarado Batres

M.Sc. Hidrogeología y Manejo del Recurso Hídrico, UCR, Costa Rica; Licenciado en Física, UES, El Salvador

Dirección para recibir correspondencia: cesar.alvarado2@ues.edu.sv

Recibido 19.11.2015 Aceptado 03.03.2016

Resumen

El acuífero principal de la cuenca del río Suquiapa investigado, está constituido principalmente por las lavas fracturadas de la formación San Salvador del Pleistoceno superior o reciente. Los 28 pozos profundos dispersos en el área de estudio indican la existencia de capas permeables, que consisten de alternancia de capas de material clástico de origen sedimentario y de lavas fracturadas ubicadas a profundidades mayores a los 100 m. La principal área (45 Km²) de recarga la constituyen las lavas recientes del complejo volcánico de Santa Ana. Otro dato muy importante que se ha podido confirmar es la existencia de dos acuíferos, el acuífero somero se encuentra entre 25 y 40 metros de profundidad y el acuífero inferior se localiza aproximadamente entre 80 y 120 metros de profundidad. El gradiente hidráulico varía entre 0,01 hasta 0,026; el coeficiente de almacenamiento desde 0,001 hasta 0,1; la transmisividad varía mucho, encontrándose valores muy altos, mayores a 25000 m²/d y otros muy bajos, menores de 100 m²/d. La tasa de infiltración muestra una marcada diferencia entre las zona sur (cerca del volcán) con valores promedio a 1,42 m/d; correspondiente a suelos franco-arenosos y la parte norte (cercano al río Suquiapa) con valores promedio de 0,10 m/d, asociados a suelos franco-arcillosos. Se reconocen tres unidades hidrogeológicas: Acuífero fisurado, Acuífero poroso y rocas de baja importancia acuífera; además de un acuífero superficial con una profundidad entre 20 y 50 metros y un acuífero más profundo alrededor de 100 metros de profundidad. Aplicando la metodología de Schosinsky, se determina una recarga de agua potencial de 71,8x10⁶ m³/año en un área de 140 km².

Palabras clave: Cuenclas hidrográficas, infiltración, balance hídrico, recarga de acuíferos, modelos hidrológicos, sistema de información geográfica.

Abstract

The main investigated aquifer in the Suquiapa constitute the formation fractured lavas San Salvador or recent upper Pleistocene. Scattered in the study area 28 deep wells suggest the existence of permeable layers, which consist of alternating layers of clastic material alluvial and fractured lavas located at depths greater than 100 m. The main recharge area (45 Km²) constitutes the volcanic complex recent lavas of Santa Ana. Another very important fact that has been confirmed is the existence of two aquifers, the shallow aquifer is between 25 and 40 meters deep and the lower aquifer located approximately 80 to 120 meters deep. The hydraulic gradient varies from 0.01 to 0.026; storativity 0.001 to 0.1; transmissivity varies greatly, being, greater than 25000 m²/d and other very low, less than 100 m²/d very high values. The infiltration rate shows a marked difference between the southern area (near the volcano) with average values of 1.42 m/d; corresponding to sandy loam soils and the northern part (near the river Suquiapa) with average values of 0.10 m/d, associated with clay loam soils. Three hydrogeological units are recognized: fissured aquifer, porous aquifer and rocks of low aquifer importance; also a surface aquifer with a depth between 20 and 50 meters and a deeper aquifer about 100 meters deep. Applying the methodology Schosinsky, a water refill potential 71,8x10⁶ m³/year in an area of 140 km² is determined.

Keywords: Watersheds, infiltration, water budget, aquifer recharge, hydrological models, geographic system information.

Introducción

La calidad del agua constituye uno de los principales desafíos socio-ambientales en El Salvador. La contaminación del agua se profundizó durante las últimas décadas y pasó a constituir un problema generalizado para la población y los ecosistemas. En el departamento de Santa Ana, la cuenca del río Suquiapa es la más importante, ya que contiene el principal acuífero de abastecimiento de agua en la ciudad de Santa Ana; tanto para consumo humano, como para la agricultura y la industria.

El artículo explica las metodologías realizadas para determinar la recarga potencial de agua en el acuífero, además, la identificación

de unidades acuíferas y el balance hídrico de suelos. Para obtener estos resultados es necesario en primer lugar la apertura de acuerdos con los actores involucrados en la cuenca. Tales como el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados, Alcaldías Municipales, ONG's, comunidades, cafetaleros y otros; con el fin de obtener la mayor cantidad de información posible. También la elección de métodos de muestreo y medición de parámetros, análisis y procesamiento de datos y por último la metodología de balance de suelo. Todo esto con el objeto de describir un modelo del acuífero, donde se explique la dinámica

del agua subterránea, características de los estratos geológicos y disponibilidad de agua.

Los datos del presente artículo son resultados del estudio "Modelo conceptual de la parte oeste de la cuenca del río Suquiapa, Santa Ana, el salvador" elaborado por el autor del presente artículo

Antecedentes

El Salvador tiene una extensión territorial de 20 720 km² y una población 6 163 050 de habitantes (Censo 2009). El principal suministro de agua potable para la población lo proporciona ANDA (Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados).

Para el año 1995 se registra una disponibilidad de agua de 569 825 l/s (LOSILLA, 2001).

El Salvador se divide en diez regiones o cuencas hidrográficas, cuya división ha sido realizada por la Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados (ANDA). La cuenca del río Lempa (región A), es la más importante del país, siendo la de mayor área (10 255 km²). Las principales zonas de recarga de los acuíferos en el país, se encuentran en los volcanes de San Salvador, Santa Ana, San Miguel, San Vicente y Conchagua. (ARÉVALO, 2005).

De acuerdo con Losilla et al. (2001) el volumen de los recursos hídricos estimados para El Salvador es aproximadamente 17 971,3 millones de metros cúbicos. Estos recursos se distribuyen en superficiales 65,75% y subterráneos 34,25%. Aproximadamente un 51 % de los habitantes tiene acceso al agua potable y de esta, el 81% es abastecida con agua subterránea

Las zonas de la cordillera volcánica, y en especial los alrededores del volcán de Santa Ana, del lago de Coatepeque, y del volcán de San Salvador, presentan los mayores cambios de almacenamiento de agua como respuesta a la conjugación de zonas de pluviosidad alta, menor evapotranspiración real dada por su cobertura vegetal, especialmente bosques de café, y una alta capacidad de regulación hídrica, la cual se refleja en caudales base altos en la época seca e incrementos de escorrentía menores que otras cuencas del país en época de lluvias (SERVICIO NACIONAL DE ESTUDIOS TERRITORIALES, 2005).

Descripción del área de estudio

La cuenca del río Suquiapa se localiza en la zona occidental de la república (Figura 1), comprende parte de los departamentos de Santa Ana y La Libertad. Sus límites son al norte la cuenca del río Guajoyo; al oriente la cuenca del río Sucio, al sur la cuenca del lago Coatepeque y volcán de Santa Ana o Llamatepec y al poniente la cuenca del río Pampe. El área total es de 430 km² hasta la desembocadura del río Suquiapa en el río Lempa. La cabecera del río Suquiapa se ubica en la parte norte del volcán de

Santa Ana.



Figura 1. Ubicación de la zona de estudio. Fuente: Elaboración propia.

Metodología

En la etapa preliminar se recopila la información del área de estudio, tal como los datos de las estaciones meteorológicas más cercanas al área de estudio, realización de los contactos con instituciones que estén interesadas en el tema y en el área de estudio, además de plasmar convenios con dichas instituciones. También se procede a la selección del software y la metodología que se utiliza para que el trabajo fuera eficiente, tal como el IPI2WIN, SURFER 10, ARC-GIS, GOD. Por último, se planifica el trabajo de campo a ejecutar. En esta primera etapa se comienza con el procesamiento de la base de datos de algunas instituciones como por ejemplo: información climatológica, pruebas de bombeo, estudios hidrogeológicos en la zona, inventario de pozos, etc.

Procedimiento

Se procede al inventario de 36 pozos y 7 manantiales, y a la medición de niveles estáticos de cada uno de ellos en el periodo del 11 de septiembre del 2012 hasta el 15 de diciembre del mismo año. Después de la identificación de todos los pozos y manantiales, se planifican los permisos de acceso, reinterpretando la información de pruebas de bombeo en los mismos. Luego se llevó a cabo la selección de los sitios donde se realizaron cinco sondeos eléctricos verticales, por medio del arreglo Schlumberger, y dos tomografías en el periodo de noviembre y diciembre del año 2012; tomando en cuenta la ubicación de los pozos que contienen la mejor descripción litológica para correlacionar esa información con los resultados de los sondeos.

En el caso de las pruebas de infiltración se escogen tres métodos, los cuales son: el método del permeámetro de Guelph, con la ejecución de 20 pruebas desde el 24 de noviembre de 2012 hasta

el 15 de febrero de 2013. El método del doble anillo también con 20 ensayos desde el 10 de enero de 2013 hasta el 10 de febrero de 2013 y por último, el método de Porchet con 18 pruebas desde el 10 de enero de 2013 hasta el 15 de febrero de 2013; la elección de los sitios está en función del tipo de uso de suelos, con un número de pruebas representativo de la zona de estudio, para un total de 58 pruebas. También se escogen diez sitios preferentes para recolectar muestras de suelos para su posterior análisis físico de suelo, donde se determinan que las propiedades de capacidad de campo, punto de marchitez, humedad y densidad.

El procesamiento, análisis e interpretación de datos, de los sondeos (SEV) geofísicos se realizan usando el programa IPI2WIN; en el caso de las pruebas de infiltración del permeámetro de Guelph se utiliza la hoja electrónica de Soil moisture, en el caso de los métodos de doble anillo y el método de Porchet se usan hojas electrónicas en EXCEL. Las pruebas de bombeo se procesan por los métodos de Jacob y Theis. También se analizan los perfiles geológicos correlacionando la geología, columnas litológicas y los sondeos eléctricos verticales. La interpolación de resultados se lleva a cabo mediante el método de Kriging que contiene el software Surfer 10.0. Se escoge esa interpolación porque dicho método provee, a partir de una muestra de puntos, ya sean regular o irregularmente distribuidos, valores estimados de aquellos sitios donde no hay información, sin sesgo y con una varianza mínima conocida. Con el método de Schosinsky se determina el balance de suelos de la zona de estudio con el registro de toda la información recopilada y los datos medidos en el sitio.

Resultados

Los resultados obtenidos sirven para realizar la clasificación de unidades acuíferas y determinar la dinámica de las aguas subterráneas en la zona de estudio.

Unidades acuíferas

A partir de la información del Mapa Hidrogeológico de El Salvador, y el tratamiento de información hidráulica se ha establecido la existencia de tres Unidades Hidrogeológicas de diferentes características; los cuales se presentan en la figura 2 y se describen a continuación

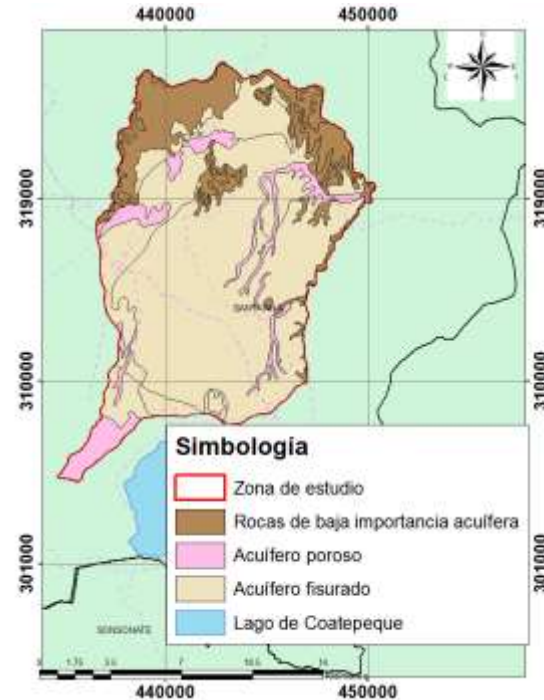


Figura 2. Unidades Hidrogeológicas de la zona de estudio. Fuente: Elaboración propia.

Acuífero poroso.

Esta unidad se compone de materiales sueltos de origen volcánico y aluvial, compuesto de polvo volcánico, ceniza y lapilli; los cuales presentan una estructura suelta y textura clásica. En algunos casos posteriores a su disposición han sido arrastrados por las corrientes de los ríos hasta ser acumulados en terrazas fluviales, nuevos eventos volcánicos los han cubierto bajo estratos de lavas y tobas aglomeradas o líticas; por eso los sedimentos aluviales en esta área son llamados también piroclásticos re trabajados. Estos materiales se mezclan con arcilla de origen lacustre. Constituyen el producto del corte y del acarreo de las corrientes fluviales existentes en el área y la granulometría de estos puede variar desde arenas hasta bloques.

Acuífero fisurado.

Esta unidad está constituida por rocas ígneas del cuaternario. Constituyen un acuífero fisurado de gran extensión, pertenecen a la época pleistocénica, en su mayor parte fueron eyectados por los antiguos volcanes de la actual caldera de Coatepeque y por el volcán de Santa Ana. Poseen una gran petrografía andesítica y Basáltica, se encuentran junto a estratos alternados de escorias, lapilli, pómez y cenizas dacíticas.

Rocas de baja importancia acuífera.

La formación Bálsamo es la más antigua, por su abundancia de arcillas, de baja conductividad hidráulica, no son buenos transmisores del agua subterránea. En el área se encuentran

afloramientos de este tipo de materiales al este y oeste de la ciudad de Santa Ana, creando una especie de callejón en el centro por el que circula el agua subterránea (ACOSTA, 2009).

Formación el Bálsamo y Cuscatlán constituyen una unidad hidrogeológica de permeabilidad baja a nula y constituyen el basamento de la formación San Salvador. Las rocas de basamento afloran en los extremos este, oeste y al noroeste.

Las tobas poco compactas, lavas fracturadas, escorias y lapilli de la formación San Salvador constituyen una unidad hidrogeológica caracterizada por una permeabilidad media hasta alta. Las tobas y piroclastos tienen un espesor de hasta 50 m. y descansan sobre las lavas fracturadas extendiendo una conexión hidráulica entre sí (LEMUS, 2007).

Características del acuífero

En el acuífero superior del sector de la ciudad de Santa Ana, el nivel de agua subterránea se encuentra entre 25 m y 40 m de profundidad. En dirección a Chalchuapa, la profundidad de agua disminuye paulatinamente, variando entre 30 m y 21 m desde la superficie del terreno.

En general, la profundidad al nivel del agua subterránea aumenta del límite norte del área hacia el extremo sur, conforme la elevación topográfica incrementa.

En cambio el acuífero más profundo, se encuentra entre 80 m y 140 m de profundidad. (Figura 3) En el área, el flujo de agua subterránea proviene principalmente de la ladera norte del volcán de Santa Ana y también del extremo norte del lago de Coatepeque. Una parte del flujo escurre hacia el este del área y otra hacia el oeste. Una parte del flujo de agua subterránea que escurre hacia el este del área, se dirige al valle existente entre los cerros Tecana y Santa Lucía, valle donde se encuentra la ciudad de Santa Ana.



Figura 3. Estratigrafía de la zona noroeste de la cuenca del río Suquiapa. Fuente: Elaboración propia.

El agua subterránea generada por la recarga de agua lluvia en la ladera norte del volcán de Santa Ana, se mueve en dirección noreste, recargando parte del sector oeste del área de estudio. El agua subterránea proveniente de la descarga del lago de Coatepeque en su extremo norte, se mueve en dirección

noroeste, recargando parte del sector este del sistema de aguas subterráneas del área.

Las curvas isofreáticas se han determinado para una distancia de 15 kilómetros y se determina un gradiente hidráulico de 0,0106, en dirección noreste de la zona de estudio.

En general, el agua subterránea se mueve desde los niveles más altos hacia los más bajos, encontrando, en su movimiento a través del área, las barreras de roca impermeable del este y oeste de Santa Ana.

El agua subterránea conforme avanza hacia el norte del área y hacia las inmediaciones de Santa Ana, asciende progresivamente hacia la superficie del terreno. Las líneas equipotenciales se determinaron con la información de los pozos.

En el extremo noroeste, el agua subterránea se ve obligada a emerger debido a la disminución de depósitos de roca, provocada por la posición de la roca basal casi impermeable, dando lugar a los manantiales El Molino, Sapoapa, Chinameca y Sihuatehuacan. Se ha realizado un esquema donde se muestran las características del movimiento del agua en la zona de investigación, donde se describe que por medio de la precipitación el acuífero es recargado en la ladera norte del volcán de Santa Ana, sobre todo en las zonas de bosque de café, luego el agua recorre en los estratos geológicos con características de acuíferos que le permiten movilizarse hasta el valle, donde se sitúa la ciudad de Santa Ana, y en ese lugar afloran algunos manantiales, tales como el de Sapoapa, Chinameca y Sihuatehuacan. En la parte más norte, después del valle, el agua termina su recorrido en el río Suquiapa, el cual es alimentado por varios ríos que provienen de varios manantiales incluyendo los antes mencionados.

Balance hídrico de suelos

El balance hídrico del suelo se basa en el principio de la conservación de la masa, donde toda el agua que entra al suelo debe ser igual a la cantidad de agua que se almacena más el agua que sale de la. (tabla 1) Las entradas al sistema son debidas a la precipitación que se infiltra del agua hacia el suelo y las salidas se deben a la evapotranspiración y la descarga hacia los acuíferos (SCHOSINSKY, 2006).

Tabla 1. Recarga potencial total en el área de estudio. Fuente: Elaboración propia.

Unidad Hidrogeológica o acuífera	Área (km ²)	Recarga potencial (mm)	Rp*Área (m ³ /año)
Acuífero poroso	16	1,822	7,015,527
Acuífero fisurado	128	2,115	5,5890,926
Roca de baja importancia acuífera	35	862	8,905,257

Unidad Hidrogeológica o acuífera	Área (km ²)	Recarga potencial (mm)	Rp*Área (m ³ /año)
TOTAL:	179	4,799	71,811,710

La recarga potencial calculada en este apartado equivale a casi 72 millones de metros cúbicos al año, lo que significa una cantidad muy importante. La unidad acuífera fisurada es la que más contribuye a la recarga, además es el área que está debajo del bosque de café en mayor porcentaje. Le sigue la unidad acuífera porosa, que en área es aproximadamente la mitad que la unidad de baja importancia acuífera, pero contribuye en una recarga del doble que la unidad de baja importancia acuífera, sin embargo, el área es muy pequeña, por lo que se refleja como el volumen de recarga más pequeño.

Análisis de resultados

Modelo conceptual.

El acuífero principal presente en la zona lo constituyen las lavas fracturadas de la formación San Salvador, este tipo de acuífero es bastante complicado de evaluar por su anisotropía. Las fracturas pueden estar abiertas en un punto y cerradas en otra, por lo que no es posible generalizar sus características para toda el área en que aflora.

Piroclásticos y sedimentos aluviales.

La conductividad hidráulica varía entre 0,06 m/d a 0,50 m/d. los sedimentos fluviales y fluviales-lacustres, están constituidos por una mezcla de materiales de diferente granulometría, depositados por las corrientes fluviales bajo condiciones húmedas o pantanosas (CASTILLO RIVAS, 2011).

Lavas

Compuestas de flujos rocosos con petrografía andesítica. Estas lavas están altamente fracturadas y por tal razón presentan una alta porosidad secundaria. Esta porosidad es aquella que se forma debido a un proceso geológico posterior a la disposición del material del estrato o capa. Las fracturas se presentan en la roca debido a cambios bruscos en la temperatura del terreno. Este último proceso se conoce como milonitización y consiste en trituración de la roca adyacente a la falla geológica, sin embargo, si existen fallas geológicas en el terreno investigado, han quedado enmascaradas por otros materiales. La conductividad hidráulica varía de 10 m/d a 190 m/d (ACOSTA, 2009).

Por sus características hidrogeológicas la formación San Salvador constituye en el área el reservorio de agua subterránea en el que las lavas fracturadas, escorias y lapilli aproximadamente a una profundidad de 40 metros; abajo subyace un estrato semipermeable constituido por tobas poco compactas, a una mayor profundidad (100 m) se encuentra un acuífero más profundo.

En general, el agua subterránea se mueve desde los niveles más altos hacia los más bajos, encontrando, en su movimiento a través del área, las barreras de roca impermeable del este y oeste de Santa Ana. El agua subterránea conforme avanza hacia el norte del área y hacia las inmediaciones de Santa Ana, asciende progresivamente hacia la superficie del terreno.

Balance de suelos.

Utilizando el balance de suelos de Schosinsky por medio de la hoja electrónica BHS_Schosinsky se determinó la recarga potencial del acuífero. Tomando en cuenta las tres unidades hidrogeológicas determinadas previamente.

Para la determinación de esta recarga potencial, la zona de estudio se dividió en polígonos, tomando en cuenta las unidades acuíferas, los parámetros de infiltración, análisis de suelos, tipo de suelos, parámetros de suelo y la estación meteorológica a la cual corresponde cada polígono. También se tomó en cuenta la geología y pendientes para la atribución de algunos parámetros que solicita el método de Schosinsky para su ejecución.

El volumen de recarga potencial calculado fue de $71,8 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$. Según Losilla et al., 2001. La infiltración sobre la cuenca de Santa Ana se estima de $(90-100) \times 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$ y según (GUEVARA, 2006) se estima que el acuífero de Santa Ana-Chalchuapa tiene una recarga de $90 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$. Tomando en cuenta que los trabajos previos no realizaron medidas puntuales, son una buena estimación del volumen de recarga. También, se deben de superar una serie de limitaciones que se sobresalieron durante el desarrollo de la investigación para precisar mejor la recarga. Sin embargo, el valor final es muy bueno y el esperado según las proyecciones iniciales.

El agua subterránea fluye hacia el norte y finalmente surge como manantiales cerca del límite estructural de la depresión interior, donde el afluente subterráneo es bloqueado por la formación el Bálsamo; además se estima un flujo de agua subterráneo de $3.5 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{año}/\text{km}$. de sección.

Mientras que la descarga total es la suma de las salidas de agua del sistema, las cuales se determinan por medio del cálculo de aforo del Río Suquiapa (2996 l/s), flujo natural (338 l/s) y la extracción de pozos (991 l/s). Resultando un total de 4325 l/s. En la ecuación de balance general de agua, este dato representa una estimación de descarga de agua del Acuífero

Conclusiones

Se reconocen tres unidades hidrogeológicas: Acuífero fisurado, acuífero poroso y rocas de baja importancia acuífera; además de un acuífero superficial con una profundidad entre 20 y 50 metros y un acuífero más profundo alrededor de 100 metros de profundidad.

Los cálculos de balance de suelos nos proporciona una estimación de recarga potencial muy

importante y se ajusta a las características de los acuíferos de gran extensión y alta producción, con un volumen de casi 72 millones de metros cúbicos al año. Es necesario recordar que la unidad hidrogeológica a la que pertenece esta zona es de los principales acuíferos identificados en la fosa central del país y dichos materiales pueden presentar conductividades de medianas a altas como consecuencia de la porosidad secundaria (fallamiento).

En general, el agua subterránea se mueve desde los niveles más altos (860 msnm) hacia los más bajos (560 msnm), encontrando, en su movimiento a través del área, las barreras de roca impermeable del este y oeste de Santa Ana.

Agradecimientos

Al Servicio Alemán de Intercambio Académico (DAAD), la Facultad de Ciencias Naturales y Matemática de la Universidad de El Salvador, personal docente de la Escuela Centroamericana de Geología de la Universidad de Costa Rica, Dr. Marco Barahona Palomo, M.Sc. Ingrid Vargas Azofeifa, M.Sc. Héctor Zuñiga, M.Sc. Federico Arellano, la Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados (ANDA), M.Sc. Dagoberto Arévalo Herrera y técnico Jorge Acosta.

Referencias

- Alvarado Batres, C. A. (2015). Modelo conceptual de la parte Oeste de la cuenca del río Suquiapa, Santa Ana, El Salvador. San José: Universidad de Costa Rica.
- Acosta, J. E. (2009). Estudio hidrogeológico del área de la planta Procavia de ANDA, jurisdicción de Santa Ana, departamento de Santa Ana. San Salvador: ANDA.
- Arévalo, D. (2005). Evaluación de la vulnerabilidad intrínseca del acuífero Opico-Quezaltepeque, a través de datos geofísicos, pozos y análisis hidrogeoquímicos. El Salvador. Centroamérica. San José: Universidad de Costa Rica (Tesis).
- Castillo Rivas, E. (2011). Estudio hidrogeológico para la comunidad Zaldaña Zeceña, cantón Loma Alta, municipio y departamento de Santa Ana. San Salvador: ANDA.
- Guevara, J. M. (2006). Estado de las aguas subterráneas en El Salvador. Boletín Geológico y Minero, 75-88.
- Lemus, M. N. (2007). Estudio hidrogeológico de la comunidad Britania, cantón Cantarrana, departamento de Santa Ana. San Salvador: ANDA.
- Losilla, M. R. (2001). Los acuíferos volcánicos y el desarrollo sostenible en América Central. San José: Universidad de Costa Rica.
- Schosinsky, G. (2006). Cálculo de la recarga potencial de acuíferos mediante un balance hídrico de suelos. Revista Geológica de América Central, 13 - 30 .
- Servicio Nacional De Estudios Territoriales. (2005). *Balance hídrico integrado y dinámico en El Salvador, componente evaluación de recursos hídricos*. San Salvador: Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

Información del autor

M.Sc. Hidrogeología y Manejo del Recurso Hídrico del Sistema de Estudios de Posgrado de la Universidad de Costa Rica, 2014.

Licenciado en Física, graduado de la Universidad de El Salvador, 2007.