

# SISTEMA DE FLUJO DE AGUA SUBTERRÁNEA Y CALIDAD DEL AGUA EN UN ACUÍFERO COSTERO PLANO EN EL NOROESTE DE NICARAGUA

Autores: Valeria Delgado<sup>1</sup>, Cathy Ryan<sup>2</sup>, David Bethune<sup>2</sup>

Institución: <sup>1</sup>Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua, CIRA-UNAN, <sup>2</sup>University de Calgary, Canadá.

**Palabras Claves:** Agua subterránea, Calidad de agua, Plaguicidas

## Resumen

Los Departamentos de León y Chinandega en el noroeste de Nicaragua son regiones agrícolas que estuvieron bajo el cultivo del algodón por casi 30 años. El suministro de agua potable para la población proviene principalmente del agua subterránea. El principal acuífero en la región, es una unidad somera aluvial no confinada (sistema local), subyacente por rocas volcánicas fracturadas (sistema regional). Varios estudios hidrogeológicos y químicos han identificado impactos significativos a la calidad del agua por plaguicidas y nitrato, pero ninguno de estos estudios ha investigado la profundidad del impacto en el acuífero. Pozos de monitoreo fueron instalados a 5 diferentes profundidades en 3 locaciones a lo largo de la dirección de flujo subterráneo. Muestras de precipitación, agua subterránea y agua superficial fueron colectadas. El impacto agroquímico en el acuífero fue observado a profundidades de hasta 12 metros bajo la tabla de agua en las 3 locaciones, y se origina de la aplicación histórica de

agroquímicos. La composición isotópica confirmó que el agua subterránea se recarga a elevaciones mayores conforme la profundidad se incrementa, aunque el mezclado entre los sistemas local y regional es evidente.

## Introducción

El principal acuífero en la región de León-Chinandega, está ubicado en la planicie aluvial del Pacífico de Nicaragua, con una superficie aproximada de 1,300 km<sup>2</sup> (Figura 1). El acuífero es una unidad somera aluvial no confinada, subyacente por material volcánico fracturado con menor conductividad hidráulica. Aunque la mayoría de los pozos se encuentran localizados en el acuífero aluvial, hay algunos pozos penetrando el acuífero volcánico, donde el acuífero aluvial no existe o es demasiado delgado para su explotación. Estos acuíferos proveen todo el suministro de agua potable para los habitantes de la región (cerca de 700,000 habitantes; INEC, 1995), ya que el agua superficial está contaminada o es escasa. Grandes cantidades de agua para irrigación son también bombeadas de los acuíferos. Aunque el material aluvial es altamente heterogéneo y contiene una cantidad suficiente de materiales limosos y arcillosos, es somero, y pobremente protegido de la contaminación. En la región de León-Chinandega, tal contaminación emana principalmente de la agricultura, drenaje municipal e industrial y desperdicios sólidos.

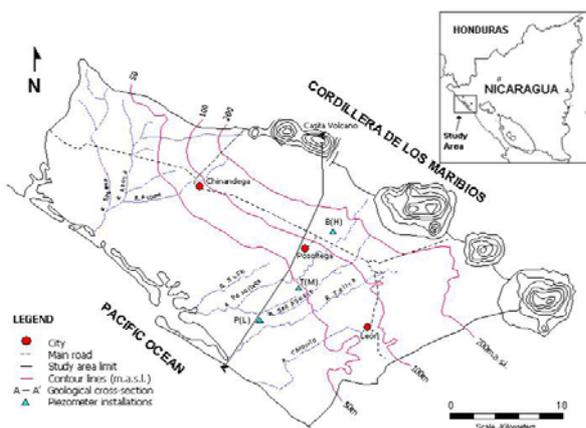


Figura 1. Área de Estudio

Los suelos de la región de León-Chinandega, por su origen geológico (materiales volcánicos, aluviales y minerales volcánicos), presentan un gran potencial agrícola. La región estuvo bajo el cultivo de algodón, principalmente, de las décadas de 1950's a 1980's; después de lo cual, un decaimiento global en la demanda llevó a un declive gradual. Otros cultivos tales como la caña de El clima en el área se clasifica como de sabana tropical (Köppen, 1928); presentando dos estaciones: verano (Diciembre-Marzo) e invierno (Mayo-Octubre), siendo Noviembre y Abril los meses de transición. La temperatura media anual registrada es de 27.5 °C. La humedad relativa varía de 74 a 89% entre Junio y Octubre, luego disminuye de 76 hasta 50% entre Diciembre y Abril. El régimen de precipitación varía de 1,500-2,000 mm/año.

Un sinnúmero de monitoreos de agua subterránea, indican que los plaguicidas y nitratos han degradado la calidad del agua del acuífero somero a través de la mayoría de la región (UN, 1974; INETER/OIEA, 1997; CIRA/IAEA, 1999; CIRA, 1999; INETER, 2000; Centro Humboldt, 2002; Dahlberg and Odebjer, 2002). Estos estudios se han basado primordialmente en monitoreos de pozos de agua, excavados y perforados, existentes en la región. Desafortunadamente, estos pozos son fuentes poco confiables de información acerca del estado del acuífero, debido a que la mayoría de ellos se encuentran pobremente protegidos de la contaminación directa de agua superficial y también captan agua de diferentes profundidades en el acuífero.

### **Objetivos**

El principal objetivo de esta tesis es una mejor comprensión de la hidrogeología y la degradación agroquímica de la calidad del agua del acuífero de León-Chinandega. Esto se logrará a través de los siguientes objetivos:

azúcar y banano surgieron, pero no en la misma escala que el cultivo de algodón. Los 1950's también coinciden con la introducción de agroquímicos (fertilizantes y plaguicidas) en el mundo entero. El cultivo del algodón en León-Chinandega se volvió significativamente más productivo con la aplicación de plaguicidas organoclorados tales como el toxafeno, dieldrín y DDT.

1. Conducir una revisión completa de la hidrogeología de la región y mejorar la comprensión a través de un programa de perforación y muestreo.
2. Instalar piezómetros a varias profundidades debajo de la tabla de agua para medir los gradientes hidráulicos y las concentraciones químicas (especies naturales y contaminantes). Medir los tipos y la profundidad de contaminación en el acuífero.
3. Describir los tipos de contaminantes y sus concentraciones en el acuífero.

### **Materiales y métodos**

#### **Selección del sitio**

El acuífero regional de León-Chinandega cubre un área muy grande (1,300 km<sup>2</sup>), una pequeña área de estudio fue seleccionada en base al siguiente criterio:

1. La disponibilidad de secciones hidrogeológicas transversales, que proporcionan valiosa información sobre la geología e hidrogeología del acuífero.
2. Un área de estudio con cultivo histórico de algodón, uso agrícola de la tierra reciente e histórico, disponibilidad de registros de pozos de agua para información sub-superficial, aplicación de plaguicidas, información hidrogeológica reciente y evaluaciones recientes de plaguicidas en la zona.

Basándose en los criterios de selección arriba mencionados, la sección transversal del Volcán Casita (A') al Océano Pacífico (A) fue seleccionada (Figura 1). Esta sección transversal está localizada en la parte central del acuífero. Una vez que la sección transversal fue seleccionado, locaciones para realizar la instalación de los pozos de monitoreo fueron seleccionadas en base al siguiente criterio:

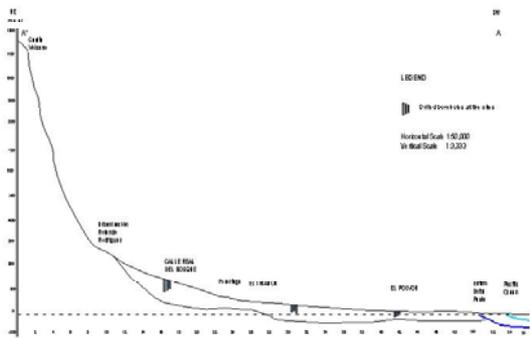


Figura 2. Localización de los pozos.

- Locaciones a diferentes elevaciones, lo que permitirá evaluar el sistema de flujo del agua subterránea y la calidad del agua en el acuífero.
- El sitio deberá estar localizado en la línea de la sección transversal o lo más cercano posible a ésta.
- Los sitios no deben estar localizados cerca de fuentes puntuales de contaminación (i.e. aeródromos, bodegas de agroquímicos).

Los sitios seleccionados a lo largo de la sección transversal son Calle Real del Bosque [B(H)] a 139 m.s.n.m., El Trianón [T(M)] a 42 m.s.n.m., y El Polvón [P(L)] a 17 m.s.n.m., todos ellos con un significativo uso agrícola del suelo (Figura 2).

### Instrumentación en el sitio

#### Perforación, Construcción del pozo de monitoreo e Instalación

Quince pozos de monitoreo se instalaron en los 3 sitios seleccionados. En cada locación, 3 agujeros de 6 pulgadas de

diámetro fueron perforados con una máquina perforadora rotativa con inyección de aire. En dos agujeros se instalaron 2 pozos de monitoreo, mientras que en el tercer agujero solamente un pozo de monitoreo fue instalado. En cada agujero los pozos de monitoreo fueron instalados a las siguientes profundidades: en la tabla de agua, a 2, 4, 8 y 12 metros bajo la tabla de agua (Figura 3).

Los pozos de monitoreo fueron construidos con tubería de 6 metros de longitud y 3/4" de diámetro de PVC 17. Las rejillas de los pozos fueron cubiertas con malla nytex de 210-micron. La longitud de la rejilla para todos los pozos de monitoreo es de 0.5 metros, con excepción de los pozos de la tabla de agua, la cual es de 1.5 metros. El empaque de las rejillas fue arena media y gruesa, proveniente de el Cerro El Motastepe (Departamento de Managua), donde nunca se han usado plaguicidas; el filtro se extiende desde el fondo de la rejilla hasta 0.5 metros por arriba de la rejilla. El espacio anular fue rellenado con cemento.

#### Desarrollo del Pozo, Pruebas de Slug y Medición de Niveles

El desarrollo de los pozos en T(M) y P(L) fue realizado con un bailer, bomba

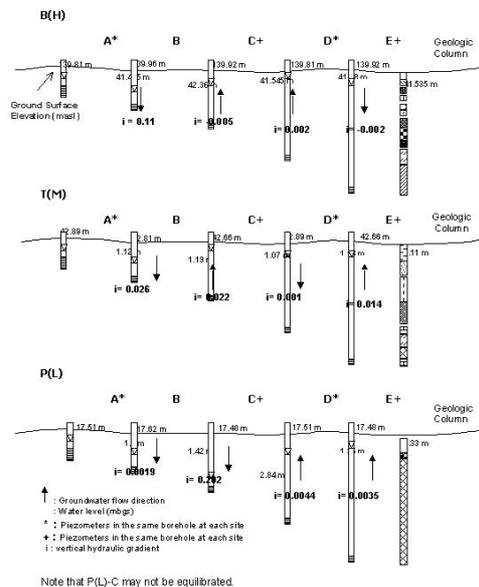


Figura 3. Diseños y Gradientes Hidr.

peristáltica, bomba de agua y con aire a presión. Para los pozos de B(H) se utilizó una válvula cheque WaTerra. Una vez que el pozo fue desarrollado, la medición de los niveles estáticos del agua se realizaron conforme era posible. Pruebas de Slug se realizaron en las instalaciones, para obtener un estimado de la conductividad hidráulica del material adyacente a la rejilla de los pozos.

### Muestreo y Análisis Químicos

Muestras de precipitación, agua subterránea y superficial fueron colectadas para isótopos ( $^{18}\text{O}$  y  $^2\text{H}$ ); mientras que muestras de agua subterránea y agua superficial fueron colectadas para iones mayores y menores, bacteriológico completo, y plaguicidas organoclorados y organofosforados, previa purga de 3 columnas de agua respectivamente, siguiendo los respectivos protocolos de muestreo. Las muestras isotópicas fueron analizadas en el Laboratorio de Isótopos de la Universidad de Calgary; y las muestras restantes en el CIRA-UNAN. Para la colecta de muestra de los pozos de monitoreo se utilizó una bomba peristáltica.

### Resultados y discusión

#### Conductividad Hidráulica, Gradientes Hidráulicos, Equipotenciales y Niveles de Agua

Los valores de conductividad hidráulica estimados a partir de las Pruebas de Slug ( $1.4 \times 10^{-6}$  –  $2.7 \times 10^{-9}$  m/s en B(H),  $2.2 \times 10^{-6}$  –  $6.9 \times 10^{-8}$  m/s en T(M), y  $3.4 \times 10^{-6}$  –  $6.4 \times 10^{-6}$  m/s en P(L)), son de baja a moderada conductividad hidráulica, indicando que los materiales superiores en el acuífero aluvial no son altamente conductores o adecuados para un elevado bombeo, pero son adecuados para pequeños pozos domésticos. Los gradientes hidráulicos verticales medidos entre los pozos de cada nido de piezómetros. Los pozos someros (tabla de agua y por debajo de la tabla de agua) en las 3 locaciones presentan un

gradiente hacia abajo, indicando recarga local; sin embargo, los pozos profundos tienen un gradiente hacia abajo y hacia arriba, indicando descarga de agua subterránea de sistemas de flujo más profundos y/o la influencia de capas de baja permeabilidad (Figura 3).

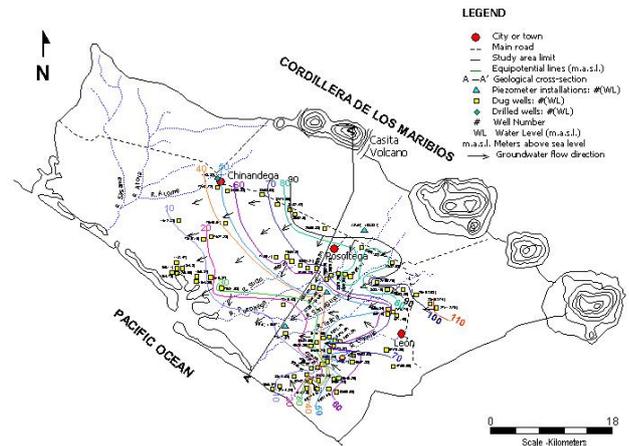


Figura 4. Mapa de Equipotenciales y Dirección de Flujo

El mapeo de las cargas hidráulicas de 78 pozos, generó el mapa de equipotenciales que permite interpretar la dirección del flujo subterráneo, el cual sigue aproximadamente el gradiente topográfico fluyendo en dirección suroeste de la cadena volcánica hacia la costa; con excepción de la parte sur en donde el afloramiento de la Formación Tamarindo causa un montón local de agua subterránea (Figura 4). En general, la variación de los niveles de agua en los nidos de piezómetros de T(M) y P(L) declinan con el tiempo, a como se espera en época seca. No hay suficiente información en B(H) para observar variaciones temporales.

#### Química del Agua

##### Iones mayores y menores

La caracterización de iones mayores indica que el agua se caracteriza principalmente como del tipo bicarbonatada-cálcica-magnésica (Figura 5). La única excepción es P(L)-E que tiene bajas concentraciones de calcio, magnesio, bicarbonato, alcalinidad, sólidos totales disueltos y conductividad

eléctrica, lo cual sugiere que el agua se origina de una diferente unidad geológica comparado con los pozos restantes del nido.

Isótopos:

Agua

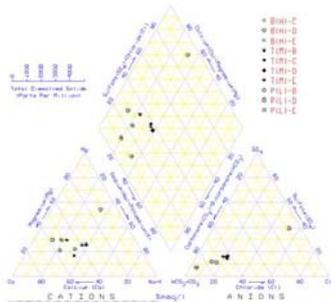


Figura 5. Caracterización Hidroquímica

Subterránea

La composición isotópica de muestras de precipitación y agua subterránea a diferentes elevaciones del estudio de Payne and Yurtsever (1974), se combinó con los datos del presente estudio para estimar la elevación (en la cordillera) a la cual el agua subterránea bajo la planicie es recargada. Los datos muestran que B(H) recarga entre 139 m y 598 m, con un promedio de 380 m; T(M) recarga entre 42 m y a elevaciones mayores de los 1,200 m; y P(L) recarga entre 17 m y 1,140 m, con un promedio de 730 m (Figura 6).

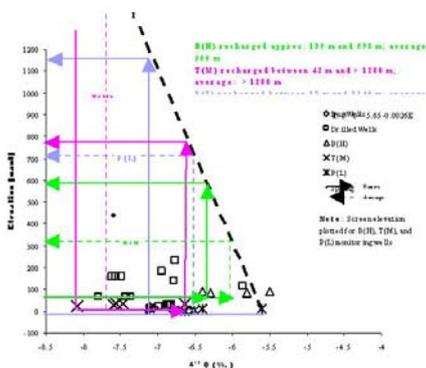


Figura 6. Recarga vs. Elevación

**Impactos a la Calidad del Agua**

Bacteria

Aunque únicamente, alrededor del 50% de los pozos fue muestreado para análisis de coliformes totales y fecales,

estreptococos fecales y E. Coli. Los resultados indican que los pozos de B(H) no se encuentran impactados por bacteria; mientras que los pozos T(M)-B (537.0 CFU/100mL, 177.0 CFU/100mL, 38.0 CFU/100mL y 142.0 CFU/100mL, respectivamente) y P(L)-E (25.0 CFU/100mL, 5.0 CFU/100mL, 1.0 CFU/100mL, y 5.0 CFU/100mL, respectivamente) se encuentran impactados por bacteria.

Plaguicidas

Plaguicidas organoclorados y organofosforados fueron detectados en todos los pozos, con excepción del punto más profundo en T(M). En todos los pozos, 7 organoclorados (-BHC, lindano, dieldrín, pp-DDE, endrín, pp-DDD y toxafeno) y 2 organofosforados (fentión, etil-paratión) fueron detectados. Las concentraciones detectadas de dieldrín, pp-DDD y toxafeno se encuentran por arriba de los valores guía para agua potable de la EPA (0.14 ng/L, 0.83 ng/L y 0.73 ng/L, respectivamente). Las concentraciones de plaguicidas fueron mucho mayores en el piezómetro más profundo de P(L).

**Conclusiones**

El acuífero de León-Chinandega es por lo general no confinado, con evidencia de semi-confinamiento en algunos lugares debido a la presencia de capas discontinuas de arcilla. Los valores de conductividad hidráulica varían de  $1.4 \times 10^{-6}$  a  $2.7 \times 10^{-9}$  m/s. El acuífero es recargado a través de la planicie; sin embargo, la recarga se incrementa significativamente con mayor elevación en la cordillera volcánica. Esto produce un sistema de flujo de agua subterránea clásico, compuesto de sistemas de flujo local (somero), intermedio, y regional (profundo); sin embargo, las fronteras entre estos sistemas no son distintivas debido al mezclado natural de agua subterránea joven (recarga local) y agua subterránea vieja (recarga regional).

Geoquímicamente el acuífero se caracteriza como bicarbonatado-cálcico-magnésico, con excepción de P(L)-E que es del tipo sulfatado-cálcico-magnésico, lo cual sugiere que el agua proviene de una formación distinta.

El impacto en la calidad del agua subterránea es evidente a través del mezclado de aguas subterráneas según lo corroboran los valores isotópicos y los gradientes hidráulicos verticales. Evidencia de impactos antropogénicos están dados por parámetros bacteriológicos (T(M) y P(L) presentan impacto). Plaguicidas detectados en agua subterránea en los nidos piezométricos exceden los valores guías para agua potable en T(M) y P(L), más no en B(H).

### Recomendaciones

Se recomienda instalar pozos de monitoreo a mayor profundidad, para definir con mayor exactitud la profundidad de los impactos en la calidad del agua. Muestreos futuros deben incluir los manantiales del Volcán Casita y el manantial de Bella Vista. Se debe realizar un monitoreo continuo del acuífero (niveles de agua, bacteria, nitratos, plaguicidas, isótopos y cloruro, entre otros parámetros).

En el presente, el acuífero parece estar contaminado a una profundidad de por lo menos 17 m bajo la superficie del terreno en T(M), pero se desconoce la profundidad del impacto en B(H) y P(L). La contaminación actual no disminuirá o se remediará naturalmente en un futuro cercano (especialmente con los plaguicidas altamente persistentes). Así, las estrategias de protección del acuífero deben enfocarse en: a) asegurar que el acuífero somero no se contamine más, y b) protección del aparente aún prístino acuífero profundo.

### Bibliografía

Canadian Environmental Quality Guidelines, 2002. *Summary of Existing Canadian Environmental Quality Guidelines.*

CAPRE, 1994. *Normas de Calidad del Agua para Consumo Humano.* Norma Regional CAPRE. Comité Coordinador Regional de Instituciones de Agua Potable y Saneamiento de Centroamérica, Panamá, y República Dominicana. First Edition in September 1993. Reviewed in March 1994.

Centro Humboldt, 2002. *Caracterización Hidrogeológica, Hidroquímica, Bacteriológica y de Plaguicidas en las Aguas Subterráneas del Municipio de Posoltega.* Managua, Nicaragua.

CIRA/IAEA, 1999. *Proyecto ARCAL XXXI. Caracterización de los Acuíferos para la Gestión Sustentable de los Recursos Hídricos Subterráneos en Areas Urbanas. Informe de Nicaragua: Estudio Isotópico y de la Contaminación del Acuífero León-Chinandega, Nicaragua.* Final Report.

CIRA-UNAN-Managua, 1999. *Diagnóstico de la Calidad Toxicológica de las Aguas y Suelos y Calidad Bacteriológica de las Aguas del Municipio de Posoltega. Proyección y Efectos Potenciales en la Salud y el Medio Ambiente.* Final Report.

Dahlberg, C. and Odeh, W. 2002. *Investigation of Hydrochemical Characteristics and Pesticide Concentrations in Groundwater at Posoltega, León-Chinandega Plains, Nicaragua. A Minor Field Study.* MSc. Thesis, Lund University, Lund, Sweden. LUTVDG/TVTG-5077-SE.

EEC, 1996. *European Economic Community Global Drinking Water Quality Standard.*

EPA, 2002. *National Primary Drinking Water Regulations.* In Current Drinking Water Standards.

EPA, 1999. *National Recommended Water Quality Criteria for Priority Toxic Pollutants.* In National Recommended Water Quality Criteria – Correction. EPA 822-Z-99-001.

INEC, 1995. *Censo Poblacional.*

INETER/OIEA, 1997. Internal Report. *Estudio Hidrogeológico Acuífero de Occidente. OIEA-INETER. NIC/8/009.*

INETER, 2000. *Estudios Hidrológicos e Hidrogeológicos en la Región del Pacífico de Nicaragua. Fase I. Región Chinandega-León-Nagarote. Informe Final. Volumen I.* Elaborated for the Ministry of Agriculture, Cattle and Forest.

Köppen, W., Geiger, R., 1928. *Köppen-Geiger Map of World Climates.*

Payne, R., and Yurtsever, Y., 1974. *Environmental Isotopes as a Hydrogeological Tool in Nicaragua.* In: *Isotope Techniques in Groundwater Hydrology 1974. Proceedings of a Symposium. Vienna, 11-15 March 1974. IAEA-SM-182/19.* International Atomic Energy Agency, Vienna.

United Nations, 1974. *Investigaciones de Aguas Subterráneas en la Región de la Costa del Pacífico. Volume I. Informe Técnico. Zona de Chinandega.* Prepared for the Government of Nicaragua by United Nations under Development Programs DP/SF/UN/123.

WHO, 1998. *Guidelines for Drinking Water Quality.* Extracted from *Guidelines for Drinking-Water Quality. Second Edition. Vol. 2. Health Criteria and Other Supporting Information, 1996 (p. 940-949) and Addendum to Vol. 2, 1998 (p. 281-283).*