

ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DEL FUNCIONAMIENTO DEL ACUÍFERO DEL VALLE DE ESTELÍ-NICARAGUA

Daniel Corrales Pérez

Departamento de Ingeniería Agrícola, Universidad Nacional Agraria U.N.A, Managua, Nicaragua.

Telf.233-1899 ext. 286, e-mail: daniel_corrales@una.edu.ni



RESUMEN

En general, los recursos hídricos en la parte alta de la subcuenca del río Estelí se encuentran en degradación progresiva, por tanto, esta en riesgo la disponibilidad futura de agua para usos vitales de la población. Los únicos recursos hídricos con que se cuenta para el abastecimiento de agua potable de la ciudad de Estelí son las aguas subterráneas. Esta situación condujo a la realización del estudio que consistió en delimitar dos redes de monitoreo; para análisis físico-químico e isotópico (^{18}O , ^2H y ^3H). Las muestras de aguas superficiales y subterráneas fueron colectadas en época seca y húmeda. Además, se llevaron a cabo campañas de aforos, muestreo de suelo, pruebas de infiltración y mediciones de Niveles Estáticos del Agua (NEAs). Los resultados de las mediciones de niveles estáticos del agua en el período de enero a octubre del 2004, indican que el acuífero no presenta rebajamiento en los volúmenes de agua subterránea, en relación a los principales períodos de recarga por precipitación y descarga. Asimismo, el 67 % de descarga artificial del acuífero, es debido al abastecimiento de agua potable y el 33 % restante se atribuye al sector agrícola. La disponibilidad potencial de agua del acuífero es de 29.65 Millones de Metros Cúbicos Anuales (MMCA) y de acuerdo a proyecciones de fallas regionales; el 68 % de ingreso de agua en el acuífero, es debido, al ascenso de aguas profundas a través de fallas locales. Este comportamiento se presentó

ABSTRACT

Water resources at the upper land in the watersheds of Esteli River are in a progressive degradation. Therefore, it put in risk the future water availability for population. The only water resources that are available to supply drinking water to people from Esteli city are groundwater. This situation led to the execution of the present study that consist on the establishment of two monitoring network for physical-chemical and isotopic analysis (^{18}O , ^2H y ^3H). Water samples from surface water and groundwater were collected during the dry season and rainy season. Furthermore, gauging campaigns, soil sampling, infiltration tests and NEAs measurements were carried out. Results of measurements of static water levels in the period from January to October 2004 indicate that the aquifer do not present decline in volumes of groundwater, in relation to the main periods of recharge for rainfall and discharge. Similarly, 67% of artificial discharge of the aquifer is due to supply of drinking water, and 33% is attributed to agricultural activities. The potential water availability from the aquifer is 29.65 MMCA and according to projection based on regional fault, 68 percent of water revenue in the aquifer is due to the rise of deepwater through local faults. This behaviour was found despite rainfall do not have any effect on the aquifer recharge. Most of monitored sources, present the physical and chemical parameters below international standards.

a pesar que las precipitaciones no tienen ningún efecto en la recarga del acuífero. La mayoría de las fuentes monitoreadas, presentan los parámetros físicos químicos por debajo de las normas internacionales.

Palabras Claves: Isótopos estables, acuífero aluvial, calidad, balance hidrogeológico.

Keywords: Stable isotopes, alluvial aquifer, quality, hydro geological balance

En los últimos años la afectación de los cambios climáticos y el desarrollo de las ciudades son visibles. Lo anterior se refleja en la escasez y mala calidad en la que se encuentran las aguas superficiales, lo que limita la explotación para diferentes usos. En lo que respecta a las aguas subterráneas, están son menos susceptibles y vulnerables a las secuelas de la contaminación, pero en el presente, ya se han encontrado algunos casos de sobreexplotación y contaminación de acuíferos en Nicaragua (IAEA-CIRA, 1999).

La principal fuente de abastecimiento de agua para el consumo humano son las aguas subterráneas, por tanto, es de suma importancia la protección y uso sostenido de los mantos acuíferos. El conocimiento de la disponibilidad y calidad de los recursos hídricos en general, es la herramienta para contribuir en la planificación estratégica de los recursos hídricos de una cuenca determinada.

Existen pocos estudios hidrogeológicos a detalle sobre el acuífero aluvial del valle de Estelí, salvo los trabajos en ciencias afines (Prieso *et al.* 2002). A pesar de la información existente y dispersa, todavía no se conocen con exactitud los límites de explotación del acuífero.

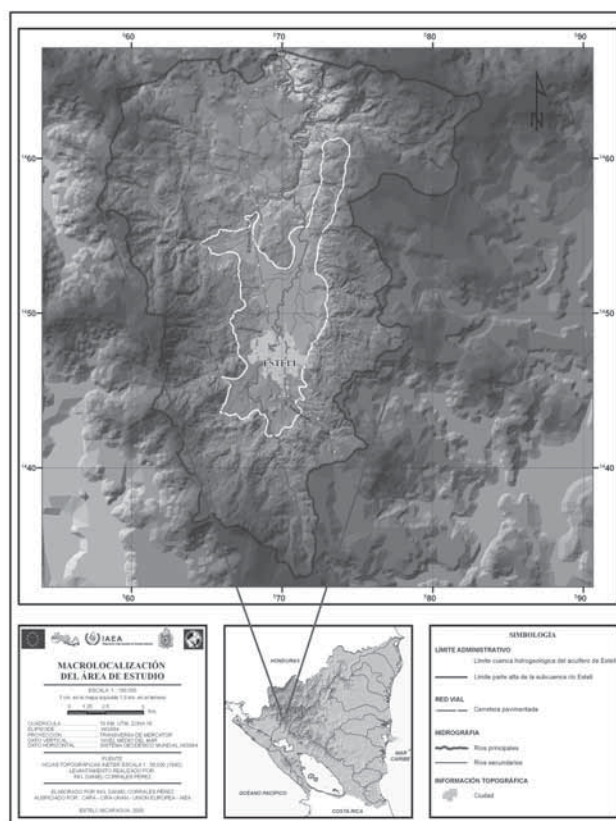
La actividad antropogénica genera focos de contaminación que atenta contra la calidad y disponibilidad del agua en el sector urbano de la ciudad de Estelí. Entre los principales focos identificados están: los vertidos de aguas residuales con y sin tratamiento al río Estelí. Estos focos de contaminación provienen, entre otros: de las lagunas de oxidación y el rastro municipal; rellenos sanitarios manejados ineficientemente; residuos de las gasolineras, fugas de alcantarillado sanitario; pilas sépticas; letrinas; agroquímicos; cementerios y centros de reparación de máquinas automotrices; las que se encuentran localizadas en las zonas intermedia y baja del acuífero. El destino final de los contaminantes es el subsuelo ó el acuífero; esto genera un peligro latente para la calidad del agua potable con efectos en la salud de la población actual y futura de la ciudad.

La finalidad del estudio fue realizar una evaluación hidrogeológica del funcionamiento del acuífero aluvial del Valle de Estelí, a través de la evaluación de la conta-

minación agrícola y urbana, así como, la valoración de la disponibilidad y calidad del agua del acuífero.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del área de estudio. El valle de Estelí se encuentra dentro los límites territoriales de la cuenca del río Coco. Asimismo, a nivel de microlocalización se encuentra en la parte alta de subcuenca del río Estelí (1 326 km²), entre las coordenadas geográficas 13° 05' latitud norte y 86° 21' longitud oeste (Mapa 1). La ciudad de Estelí se localiza en elevaciones entre los 800 y 900 m.s.n.m., con una extensión territorial de 23 km², se encuentra asentada en una planicie de suelos aluviales y coluviales de vocación agropecuaria (MAGFOR, 2000).



Mapa 1. Macrolocalización del área de estudio, parte alta subcuenca del río Estelí.

El clima de la zona de Estelí, según la clasificación de Köppen (Köppen, W., Geiger, R., 1928) es de tipo Sabana Tropical de altura; y de acuerdo a Thorntwaite, el clima local se clasifica “Sub-húmedo seco”.

Geológicamente esta constituida por Rocas Volcánicas del Grupo Geológico Coyol e inclusiones de la Formación Matagalpa. El primero, correspondiente al período del Terciario del Mioceno Superior; y la segunda, al período Terciario del Mioceno Inferior. Con un predominio de Rocas Andesitas e Ignimbritas Dacíticas. Los niveles medios están compuestos por Lavas, Tobas y Aglomerados Dacíticos y los niveles superiores o superficiales consisten de Basaltos e Ignimbritas Dacíticas del Grupo Coyol Superior (Hogdson, 1983).

Los suelos presentan una gran similitud en cuanto a sus características genéticas y morfológicas de acuerdo al orden de suelo, clasificándose como Molisoles. Son suelos que tienen un desarrollo de juvenil (A-B-C) a inmaduro (A –Bt-C) con la presencia de un epipedión mólico que corresponde a un horizonte superficial A de color oscuro, alto en saturación de bases (> 50%) y régimen de humedad ústico (MAG-FOR, 2000).

Los perfiles litológicos de los pozos existentes a lo largo del valle ponen de manifiesto un sistema multitasas del acuífero, conformado por una superposición de estratos permeables por porosidad (arena, gravas, alternantes con arcillas y limo) y estratos preferentemente permeables por grietas y fisuras.

Cálculo del balance hidrogeológico. Los parámetros que se evaluaron para realizar el balance fueron: escorrentía subterránea a través del método de la Ley de Darcy; la descarga artificial del acuífero se determinó en base a los principales usos del agua por medio de encuestas. Para tal caso se recopiló datos del abastecimiento actual de agua potable de la ciudad de Estelí según registros de la Empresa Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados (ENACAL-Estelí). Las extracciones de agua en el sector agrícola, para el caso de hortalizas y pastos, se determinó con la norma parcial de riego.

Además, la recarga natural se cuantificó a través de un balance hídrico de suelos utilizando la metodología de Schosinsky G & Losilla, M (2000), sin embargo, debido a que esta metodología no se ajusta a las condiciones regionales (serranías) que circundan el valle de Estelí, se procedió a utilizar otra metodología basada en el método geológico para estimar la recarga regional utilizando analogías de otros estudios. La recarga artificial se estimó basada en las diferentes entradas de agua al acuífero. Se consideraron como posibles ingresos retornos por riego y fugas de red de agua potable. Por tanto,

para retornos por riego se consideró el tipo de riego utilizado y el tipo de suelo del área de estudio. En nuestro caso el riego por gravedad es el que mayoritariamente se aplica en la zona, el tipo de suelo predominante es el arcilloso. De acuerdo a las situaciones anteriores se utilizó un índice de infiltración del 10%. Se consideró dicho valor teniendo en cuenta las características edáficas del sitio de estudio mencionadas anteriormente, ya que si el método de riego utilizado hubiese sido riego por gravedad en suelos arenosos, con eficiencias del 50% el índice utilizado hubiera sido mayor, debido a que la cantidad de agua infiltradas y percoladas en estas condiciones es mayor en comparación con las encontradas en el área. Asimismo, para determinar la recarga por fugas de la red de agua potable de los acueductos de la ciudad de Estelí, se consideraron las pérdidas físicas estimadas (PRIESO, 2003) y en base a éstas se utilizó un índice de infiltración del 20%.

Redes de monitoreo. Se delimitó una red de monitoreo para mediciones de niveles de aguas mensuales en el período de enero a octubre 2004, con el objetivo de cuantificar la variación estacional y la construcción de la piezometría del acuífero. Se seleccionaron una muestra de 34 fuentes de agua en época seca y 77 fuentes en época húmeda, entre pozos excavados y perforados. La muestra fue obtenida de una población de 349 pozos distribuidos en todo el valle a diferentes distancias de una fuente y otra. Las fuentes seleccionadas fueron georeferenciadas mediante GPS marca Magellan-315; las elevaciones se obtuvieron usando un medidor de presión absoluta serie 350 (Merian Instrument) y las lecturas para la medición de los niveles de agua se realizaron mediante el uso de una sonda marca Hydrotechnik de 200 m de longitud.

La red físico-química, se delimitó utilizando como referencia el inventario de pozos del valle de Estelí realizado por PRIESO, 2003, del total se seleccionaron las fuentes subterráneas de acuerdo a criterios como: la distribución espacial homogénea de las fuentes, profundidad y edad de funcionamiento de los pozos, ubicación de las fuentes de agua con relación a las líneas de flujo subterráneo de manera que los resultados de los análisis físico-químicos fueran lo más representativo posible. La red de monitoreo físico-química se delimitó con la finalidad de evaluar la calidad del agua para uso potable y agrícola. Asimismo, el impacto agrícola, urbano y rural generado por la actividad antrópica. Para evaluar la calidad de agua para uso potable se compararon los resultados de los análisis físicos químicos con las normas (CAPRE, 1994, WHO, 1996, EPA, 2000). Para evaluar la calidad del agua para uso agrícola se utilizó la norma

americana de riverside (2002), que utiliza para su clasificación del agua de riego la Relación de Absorción de Sodio y la conductividad eléctrica. En el caso de evaluación de contaminación agrícola, rural y urbano, se seleccionaron pozos perforados y excavados antes y después de la ciudad siguiendo las líneas de flujo. En adición se muestrearon manantiales, como puntos de control de la calidad del agua al momento de la evaluación.

La composición isotópica de ^{18}O y ^2H se obtuvo a través de muestras de agua en pozos perforados, excavados, manantiales, ríos y agua de precipitación con el objetivo de definir el modelo conceptual del flujo subterráneo mediante la correlación de la composición isotópica de las diferentes fuentes monitoreadas y determinar zonas de recarga y descarga del acuífero. Las campañas de muestreo se realizaron a finales de la época seca (marzo-abril) y época húmeda (septiembre), las muestras se colectaron en las horas más frescas del día en recipientes herméticos de polietileno de alta densidad (HDPE) de 50 mL; los parámetros de campo conductividad eléctrica, pH, oxígeno disuelto, alcalinidad, temperatura y potencial oxido-reducción fueron medidos simultáneamente in situ a cada una de las muestras recolectadas. Asimismo, se utilizó tritio para conocer el tiempo de residencia del agua en el acuífero. Nueve fuentes se monitorearon en época seca entre las que se destacan 5 pozos perforados, 2 manantiales y 2 ríos. Las muestras se mantuvieron refrigeradas hasta su posterior envío al laboratorio analítico del Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN) en Brasil. El método de análisis utilizado en el laboratorio fue a través de enriquecimiento electrolítico y espectrometría por centelleo líquido. Los datos del laboratorio son reportados con un error de ± 0.2 . UT. Observación

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Utilizando los cálculos de ingresos y egresos del balance hidrogeológico, se tiene una variación en el almacenamiento del acuífero de 29.56 MMCA. En cuanto a la variación en el almacenamiento del acuífero y las interpretaciones isotópicas, la disponibilidad de agua subterránea no queda bien definida, ya que el acuífero se explota hasta una profundidad promedio de 100 m. Las características hidrogeológicas del acuífero indican, que existe una disponibilidad de agua en el manto acuífero hasta profundidades de 400 m aproximadamente, aguas que se infiltraron antes de 1952 en diferentes condiciones climáticas que las actuales.

En lo que respecta a la composición hidroquímica del agua para identificar la relación de los diferentes tipos de aguas en las fuentes evaluadas y de esta manera poder definir áreas de recargas, intermedias y descargas

del acuífero. Los resultados nos indica que existe una sola área de recarga al acuífero de acuerdo a la composición del agua encontrada.

De manera general del total de las fuentes monitoreadas en las diferentes épocas de muestreo, el 73% son del tipo $\text{HCO}_3^- - \text{Ca}^{+2} - \text{Na}^+$; el 22 % $\text{HCO}_3^- - \text{Ca}^{+2} - \text{Mg}^{+2}$. Finalmente el 5% restante que pertenece a aguas superficiales que se clasifican entre $\text{HCO}_3^- - \text{Na}^+ - \text{Ca}^{+2}$ (RE-I y RE-II) y $\text{HCO}_3^- - \text{Fe}^{+2} - \text{Ca}^{+2}$ (época húmeda) (Figura 1).

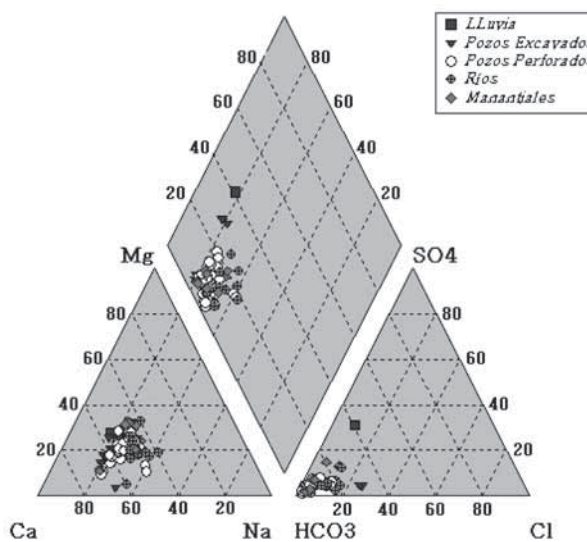


Figura 1. Composición hidroquímica de las aguas del Valle aluvial de Estelí

Los resultados físico-químicos, indican que el agua de los pozos cumplen con las normas internacionales de calidad de agua potable según las guías establecidas, (CAPRE, 1994, WHO, 1996, EPA, 2000). Con excepción del 47% y 10% de las fuentes en la campaña de época seca que presentan dos parámetros (conductividad eléctrica y temperatura) por arriba de las normas

La calidad de agua para riego, basados en la relación de absorción de sodio, la conductividad eléctrica y utilizando el diagrama para la clasificación de las aguas de riego. Se encontró que el 86% de las fuentes monitoreadas son aptas para el riego y el 14% son utilizables para el riego pero con precauciones.

Los resultados obtenidos en las campañas de monitoreo de calidad de agua, muestran que no existen rastros de contaminación marcados en las aguas subterráneas. Aunque, inicialmente se esperaba detectar presencia de algunos compuestos orgánicos e inorgánicos, debido a detección de posibles fuentes puntuales de contaminación. Sin embargo, se encontraron algunas fuentes que

presentaron concentraciones de NO_3^- -N por arriba de los valores naturales correspondiente a 3 mg/L; Seller & Muesel, 1996 (Figura 2).

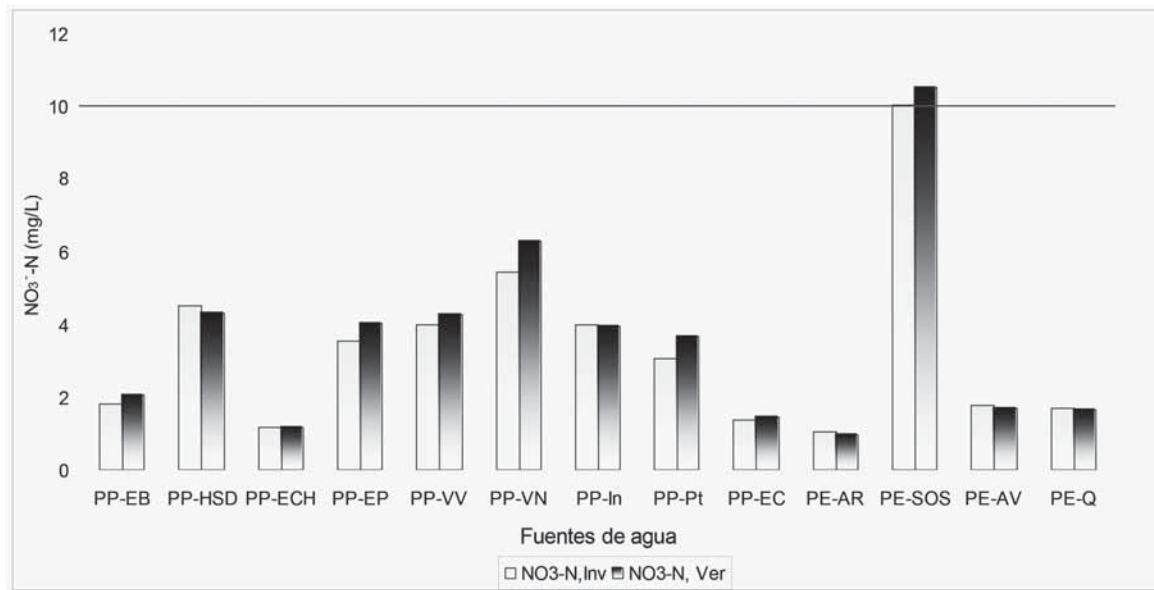


Figura 2. Concentraciones de NO_3^- -N en pozos perforados y excavados

Finalmente los resultados de los análisis de calidad de agua, indican que no existe impacto negativo en el acuífero por la actividad agrícola y urbana ante la presencia de posibles fuentes puntuales de contaminación que se mencionaron anteriormente. El hecho de no encontrar evidencias de contaminación en las fuentes monitoreadas, no quiere decir que el acuífero del valle de Estelí este libre de ser afectado por la carga de contaminantes, es un riesgo latente que éstos se encuentren posiblemente en la zona no saturada y estén cerca de llegar al acuífero. Un elemento importante es que la recarga reciente no esta ejerciendo un efecto significativo, por tanto, esta situación no permite el transporte de los contaminantes al acuífero.

El mundo tiene agua suficiente, pero no siempre donde más se necesita. La escasez de agua se ha agravado cada vez más y las técnicas isotópicas suelen ser de gran ayuda para localizar y medir el volumen de los recursos hídricos subterráneos. Las técnicas isotópicas constituyen importantes instrumentos analíticos para el ordenamiento y la utilización racional de los suministros de agua existentes y para la determinación de nuevas fuentes de agua renovables y aprovechables. Los resultados permiten formular recomendaciones documentadas para la planificación del uso sostenible de estos recursos hídricos.

Los resultados de la composición isotópica de las muestras de lluvias colectadas de las estaciones pluviométricas durante época húmeda del 2004 en el valle

de Estelí, muestran que no existe ninguna similitud o relación con los contenidos isotópicos ($\delta^{18}\text{O} - \delta^2\text{H}$) de las aguas subterráneas colectada en pozos perforados y excavados de la red de monitoreo. Los datos de lluvia indican que una parte de la precipitación (valores mas enriquecidos que -5.0 ‰ para $\delta^{18}\text{O}$, (figura 3) no recargaría al acuífero.

Los valores isotópicos de los manantiales, especialmente los localizados en la parte alta de área de estudio representan mejor la composición isotópica de agua que esta recargando al acuífero. Los pozos excavados en las Rocas Terciarias (PE-) ubicadas en los bordes del área de estudio parecería que están interceptando el acuífero ($\delta^{18}\text{O} = -7.5$ ‰; $\delta^2\text{H} = -52$ ‰) que descarga en los manantiales

Las aguas subterráneas muestran valores isotópicos en el rango de -6.9 y -7.5 ‰ para $\delta^{18}\text{O}$ y de -50 y -54 ‰ para $\delta^2\text{H}$. Estos valores son muy parecidos a los valores isotópicos de los manantiales en la parte alta de la subcuenca y dado el comportamiento isotópico de los ríos, esto indicaría que el área de recarga principal del acuífero es la parte alta de las sierras que bordean el valle de Estelí.

Los datos de tritio muestran valores menores que 1 UT en los distintos tipos de aguas analizadas en el estudio (cuadro 1). Los valores más altos fueron encontrados en los manantiales de las partes altas (0.9 y 0.8) y algo de tritio se encontró en el río Estelí (0.3 y 0.8) y aguas subterráneas (0.4 y 0.9). Prácticamente no se encontró tritio en algunas aguas subterráneas y un manantial en

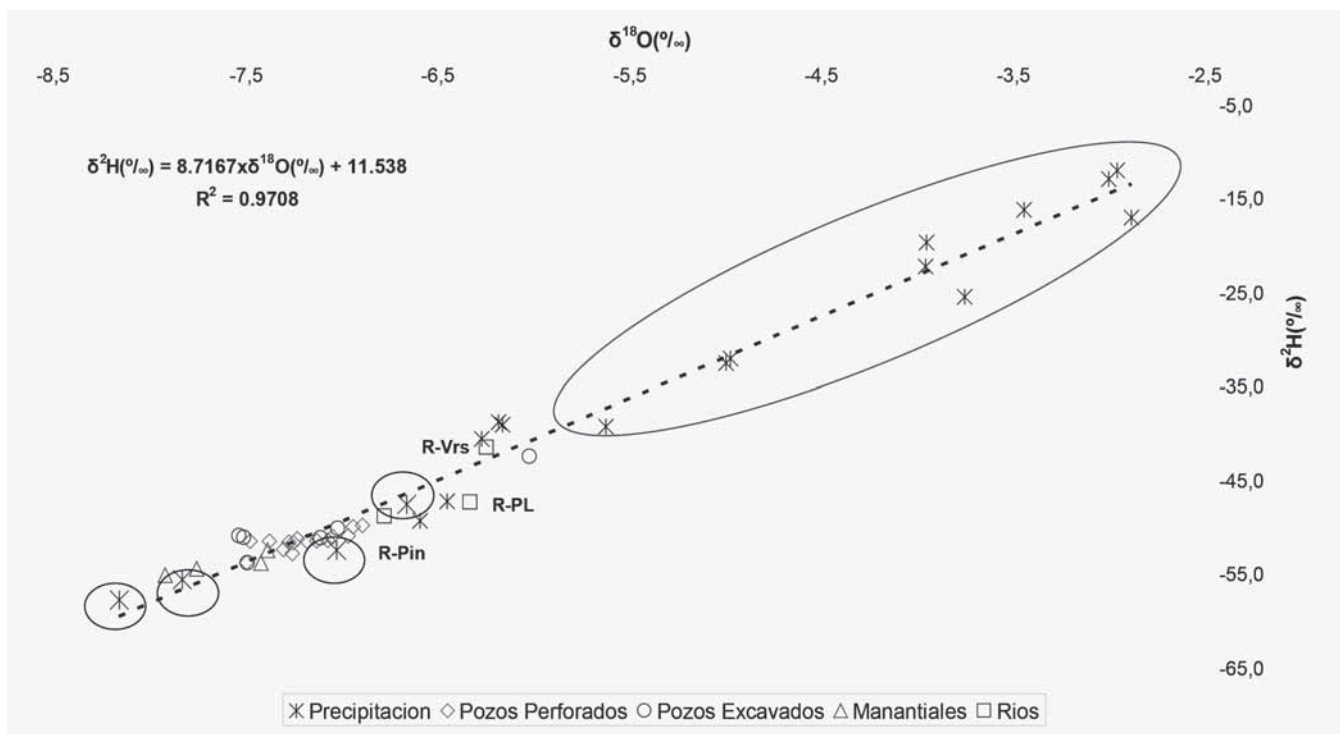


Figura 3. Diagrama de $\delta^{18}\text{O}$ vs $\delta^2\text{H}$ de las fuentes monitoreadas, valle de Estelí 2004

parte baja de la subcuenca. De las ligeras diferencias entre las fuentes monitoreadas se puede afirmar que las concentraciones bajas de tritio muestran que los ríos son alimentados por aguas subterráneas.

Además los bajos contenidos de tritio encontrados en los manantiales indican que estos son parte de la descarga regional del almacenamiento del acuífero. Asimismo los valores detectados de tritio en el acuífero representan que la recarga reciente no es significativa, posiblemente estas agua se infiltraron antes de 1952.

Cuadro 1. Concentraciones de Tritio detectadas en aguas superficiales y subterráneas, Valle de Estelí, 2004

Código Local	Altitud (m.s.n.m)	Concentraciones de Tritio (3H)
PP-ECH	862	0,2
PP-EOG	856	0
PP-EP	840	0,6
PP-EC	810	0,4
PP-SP	851	0,9
S-Rv	1020	0,9
S-SP	896	0
R-Pin	901	0,8
R-Est	1015	0,3

CONCLUSIONES

Desde el punto de vista de la calidad del agua físico-química, de todas las fuentes de aguas subterráneas monitoreadas cumplen con las normas de calidad para uso potable establecidas (CAPRE, 1994, WHO, 1996, EPA, 2000).

La contaminación por actividad agrícola y urbana ejercida sobre el valle de Estelí, no ha tenido ningún efecto negativo en la calidad del agua del acuífero.

Existe una amplia variación en la composición isotópica de $\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^2\text{H}$ en las aguas de lluvias, desde muestras enriquecidas hasta empobrecidas. Sin embargo, las precipitaciones no tienen ningún efecto en la recarga del acuífero.

A excepción de las lluvias empobrecidas provenientes del mes de septiembre que presentan similar composición isotópica con las aguas subterráneas. La recarga reciente en el acuífero no es significativa ya que las aguas actuales del acuífero se infiltraron antes de 1952, aguas relativamente viejas.

AGRADECIMIENTOS

A la Red Centroamericana de Manejo de Recursos Hídricos (Red CARA), por haberme brindado la oportunidad de formarme como especialista en ciencias del agua. Asimismo, a la Organización Internacional de Energía Atómica (IAEA), por su aporte valioso, en uso de técnicas isotópicas para un mejor conocimiento del modelo

conceptual del acuífero de Estelí y entrega de equipos de campo para la ejecución de la investigación. Finalmente, a la Unión Europea a través del Proyecto Inte-

grado Estelí-Ocotál, por su apoyo ilimitado en todas las fases de ejecución de la investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- COMITÉ COORDINADOR REGIONAL DE INSTITUCIONES DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO DE CENTROAMÉRICA (CAPRE, 1994).** Normas de calidad del agua para consume humano. Primera edición, Septiembre 1993.
- DIAGNÓSTICO DE AGUAS DE RIEGO** (Apartado 3), Artículo Internet (Norma Americana Riverside 2002. [Http://www.abcagro.com/riego/diagnostico_aguas2.asp-32K](http://www.abcagro.com/riego/diagnostico_aguas2.asp-32K)).
- EPA, 2002.** *National Primary Drinking Water Regulations*. In Current Drinking Water Standards.
- HOGDSON V. G., 1983.** Generalidades de la geología de Nicaragua. Primer seminario de hidrogeología. Asociación Nacional de Geólogos y Profesionales Afines. CONAPRO “Héroes y Mártires”. Managua, J. R., Nicaragua. Noviembre. p. 7-15. Informe.
- IAEA-CIRA a, 1999.** Estudio isotópico y de la contaminación del acuífero León-Chinandega, Nicaragua. Proyecto Caracterización de los acuíferos para la gestión sustentable de los recursos hídricos subterráneos en áreas urbanas.
- IAEA & CIRA b, 1999.** Estudio isotópico y de la contaminación del Acuífero León – Chinandega, Nicaragua. Arreglos regionales cooperativos para la promoción de la ciencia y la tecnología nucleares en América Latina y el Caribe. Proyecto (Arcal XXXI). Caracterización de los acuíferos para la gestión sustentable de los recursos hídricos subterráneos en áreas urbanas. Informe de Nicaragua.
- KÖPPEN, W., GEIGER, R., 1928.** Köppen-Geiger Map of World Climates
- MANGANO, F. 2002.** Estudio preliminar de los recursos hídricos actuales de los Municipios de Estelí y Ocotál e individualización de las fuentes alternativas, con nivel temporal al año 2020. PRRAC N°/N/SE/01/039. Estelí, 2002.
- MANGANO, F. 2002.** Informe Final de Misión del experto de corto plazo en hidrogeología e hidrología, Septiembre 2002. PRIESO
- MINISTERIO AGROPECUARIO Y FORESTAL (MAG-FOR, 2000).** Manejo integrado de cuencas hidrográficas de la región de las Segovias. Dirección de estudios territoriales. Mayo 2000.
- MUELLER AND HELSEL, 1996.** *Nutrients in the Nation's water –Too much of a good thing?* U.S. Geological Survey Circular 1136, p. 24.
- PLATA, A. 1988.** Hidrología isotópica del acuífero aluvial del valle de Sébaco. Proyecto Nic/8/002. Sección de hidrología isotópica. Informe final, Julio 1988.OIEA.
- PRIESO, 2003.** Informe de los resultados del censo de pozos efectuado en 60 Km² del valle de Estelí. PRAC/N/SE/01/039, Noviembre, Estelí.
- SCHOSINSKY, G & LOSILLA, M, 2000.** Modelo analítico para determinar la infiltración en con base a la lluvia mensual. Universidad de Costa Rica, (UCR, 2000). Revista geológica de América Central. N° 23. Editorial de la Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. Diciembre 2000.
- 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).