

Empleo de Isótopos en la Evaluación Hidrogeológica del Acuífero del Valle de Sébaco, Nicaragua.

Valeria Delgado Quezada.

Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua, CIRA/UNAN. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua, Nicaragua. valeria.delgado@cira-unan.edu.ni

Resumen.

El acuífero del Valle de Sébaco, uno de los más importantes del país, comenzó a ser explotado en 1970 para irrigación de cultivos de arroz y hortalizas, entre otros. La siembra de arroz se realiza por inundación, por lo que los volúmenes de agua utilizados son considerables. Se desconoce la explotación actual del manto acuífero y de los Ríos Viejo y Grande de Matagalpa. Para conocer el volumen disponible en el valle para demandas futuras, incluyendo generación hidroeléctrica, se está realizando una evaluación hidrogeológica del acuífero mediante el empleo de isótopos y técnicas hidrogeológicas convencionales; así como el uso de herramientas de modelación numérica. La piezometría indica un cambio en la dirección del flujo subterráneo y la disminución en los niveles de agua (superficial y subterránea) es notoria. La mayor explotación subterránea se localiza en San Isidro (pozos de explotación agrícola) y Chagüitillo (suministro para consumo humano). Se observa que el descenso regional del nivel de agua estimado en 2002, es válido para los primeros 10 años.

Palabras claves: Valle de Sébaco, disponibilidad, acuífero, isótopos.

Introducción.

Nicaragua posee una abundancia de recursos hídricos superficiales y subterráneos, en donde la explotación de acuíferos es realizada en las zonas del Pacífico y Central del país; mientras que en el Caribe, las aguas superficiales son la principal fuente de agua. La disponibilidad de los recursos hídricos subterráneos del territorio nacional, es estimada en 2959 Mm³/año en la región del Pacífico, de 172.3 Mm³/año en la región Central y de 30 Mm³/año en la región del Atlántico; mientras que la disponibilidad de agua superficial en el país es de 309 284 Mm³/año Red IANAS y FCCyT, (2012).

Sin embargo, ante esta pródiga cantidad, el recurso hídrico está comprometido con los diferentes usos: suministro para la población, irrigación, ganadería, industrias, generación hidroeléctrica y acuicultura; generando conflicto entre los usuarios en algunas zonas del país. Aunado a esto, la región Central, presenta las zonas con menor precipitación del país y por ende son las más vulnerables a los eventos de sequía. En base a esto, el potencial impacto sobre el recurso hídrico ocasionado por el cambio climático, se obtiene de la relación entre la potencial demanda y la disponibilidad del recurso por los usuarios, ya sea actual o futura MARENA-PNUD, (2000).

Información hidrogeológica y de calidad del agua del acuífero y los Ríos Viejo y Grande de Matagalpa fue generada en 2004 a través de dos tesis de maestría: Flores Meza, quien a través del uso de un modelo matemático simuló las condiciones del

acuífero para el 2005 y 2010, encontrándose que era necesario incrementar en un 25% la recarga del acuífero para mantener los niveles de agua actuales; y González Tapia, quien concluyó que el agua subterránea del acuífero del Valle de Sébaco utilizada para consumo humano está siendo impactada por las actividades del uso del suelo e industriales de forma negativa.

Esta situación ha motivado que diversas Instituciones, Organismos Gubernamentales y Académicos, se comprometan en la protección de los recursos hídricos del país, a través de la realización de estudios para calcular el potencial de los acuíferos ante las actuales y futuras demandas de agua de la nación.

El presente trabajo tiene por objeto la evaluación de las características hidrodinámicas e hidroquímicas del acuífero del Valle de Sébaco para el período 2013-2014, a través del empleo de técnicas isotópicas, y de esta manera contribuir con la estimación de su potencial para atender las demandas de agua, actuales y futuras.

Este estudio está siendo realizado conjuntamente por el Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua (CIRA/UNAN-Managua), el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), el Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER) y Catholic Relief Services (CRS).

Área de estudio.

El Valle de Sébaco se encuentra a 110 km de la ciudad de Managua, está ubicado entre las coordenadas 12° 15' a 12° 46' latitud norte y 86° 05' longitud oeste en el Departamento de Matagalpa, donde su cuenca de captación superficial se extiende en aproximadamente 652.79 km² y es compartido por los municipios de Sébaco, Ciudad Darío y San Isidro. En su área se encuentran los ríos Viejo y Grande de Matagalpa, y el embalse La Virgen. El valle en sí, es una extensa planicie formada de materiales aluviales con una extensión aproximada 263.33 km², y es uno de los principales del país. Se encuentra localizado en la subprovincia hidrogeológica de valles intramontanos de la Región Central (Figura 1).

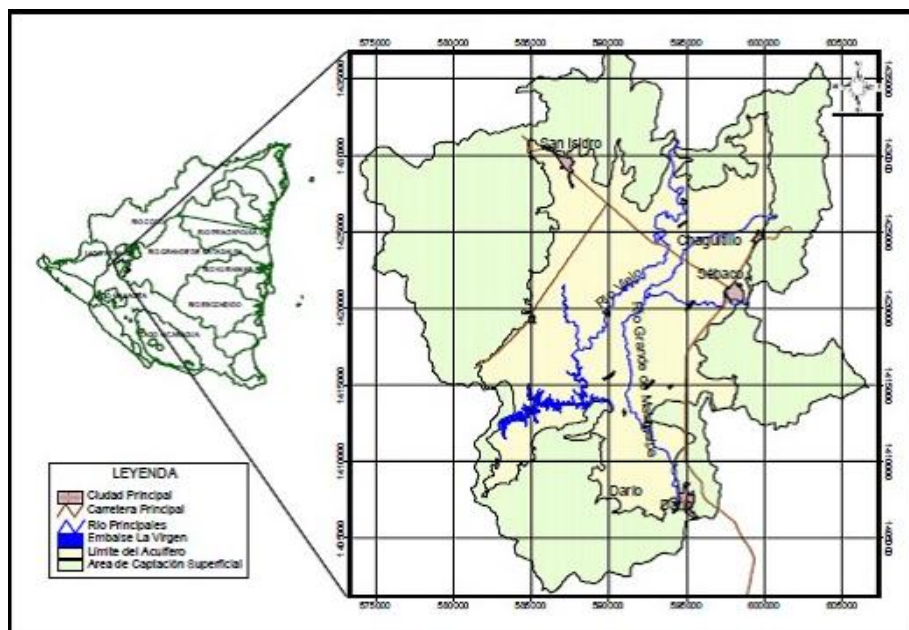


Figura 1. Localización del área de estudio (Flores Meza, 2004).

Las unidades geológicas presentes dentro del área estudiada, enumeradas desde la más antigua a la más reciente, son: Grupo Coyoil (materiales volcánicos de edad Mioceno-Plioceno que yacen descansando discordantemente sobre el Grupo Matagalpa. Está constituido por aglomerados, andesitas, ignimbritas dacíticas, facies de tobas aglomeráticas, aglomerados, brechas y basaltos) y Depósitos Cuaternarios (Están constituidos por arcillas, limos, arena, gravas, cantos rodados, bolones, guijarros y limolitas. El relleno aluvial-lacustre, presenta sus mayores espesores en el Valle de Sébaco donde alcanza desde 100 a 125 metros).

Es un acuífero heterógeno, con una capa superior semiconfinante (conformada por limo-arcilla); seguida de una capa acuífera cuaternaria de 110m de espesor, compuesta por formaciones arenosas, interdigitada con limo y arcilla fina; y una capa de basamento impermeable (Figura 2). La penetración de los pozos oscila entre los 40 y 80 metros sin llegar a penetrar el basamento.

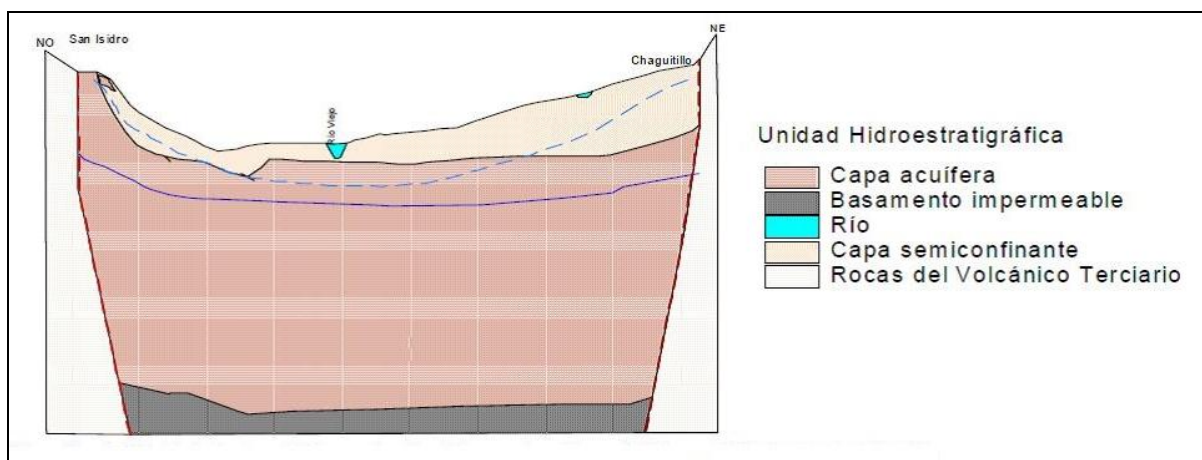


Figura 2. Unidades Hidroestratigráficas Acuífero Valle de Sébaco (Flores Meza, 2004).

Materiales y Métodos.

La metodología implementada para cumplir con los objetivos del estudio se basa en: 1) recopilación de información secundaria (estudios realizados previamente en la zona, e información generada por las instituciones y organismos tomadores de decisiones en el Valle) y 2) generación de información primaria.

Dentro de este último componente, fue a partir de enero 2013 que se iniciaron las actividades de campo de este estudio, dentro de las cuales se realizaron: reconocimiento general del área de estudio; reconocimientos geológico, hidrogeológico e hidrológico; inventario de pozos perforados y excavados; medición mensual de niveles estáticos y dinámicos de agua subterránea (NEA y NDA); medición de caudales (aforos) en sitios seleccionados en los ríos Grande de Matagalpa y Viejo en el área de estudio; y la medición de parámetros de campo en los objetos hidrogeológicos seleccionados (pozos excavados y perforados). En todos estos procesos se utilizaron GPS, brújulas, cámaras digitales, martillo geológico, sonda graduada para medir niveles de agua, molinete Gurley 627 y equipos de campo marca ORION (pHmetro, conductivímetro, oxígeno, potencial de oxidación-reducción).

Para la medición mensual de niveles se seleccionaron 30 sitios de monitoreo entre pozos excavados y pozos perforados (Figura 3).

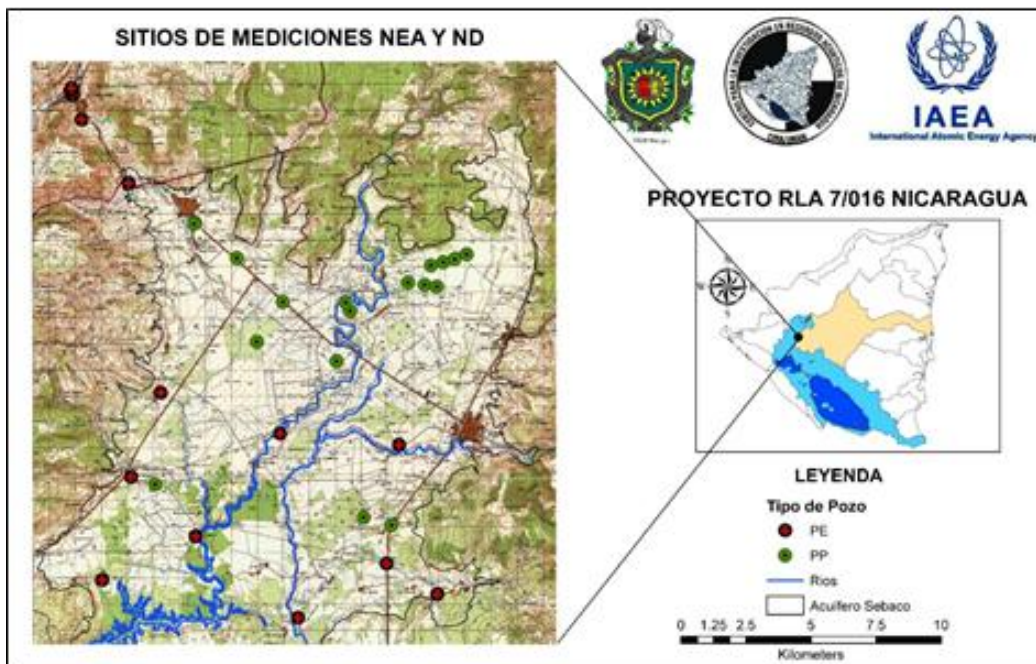


Figura 3. Sitios de mediciones de Niveles Estáticos y Dinámicos de Agua en el Valle de Sébaco.

Los sitios de medición mensual de caudales en el Río Viejo (RV) y el Río Grande de Matagalpa (RGM) se reportan en la Figura 4.



Figura 4. Sitios de monitoreo mensual de caudales en el Valle de Sébaco, 2013.

A la vez, se realizaron dos campañas de muestreo (Marzo y Noviembre 2013) en las cuales se recolectaron muestras de agua superficial y subterránea en distintos sitios (Figura 5), utilizando el dispositivo bailer de polietileno de alta densidad (en el caso de pozos excavados y pozos perforados abandonados) y las bombas de los pozos de producción para tomar las muestras de agua.

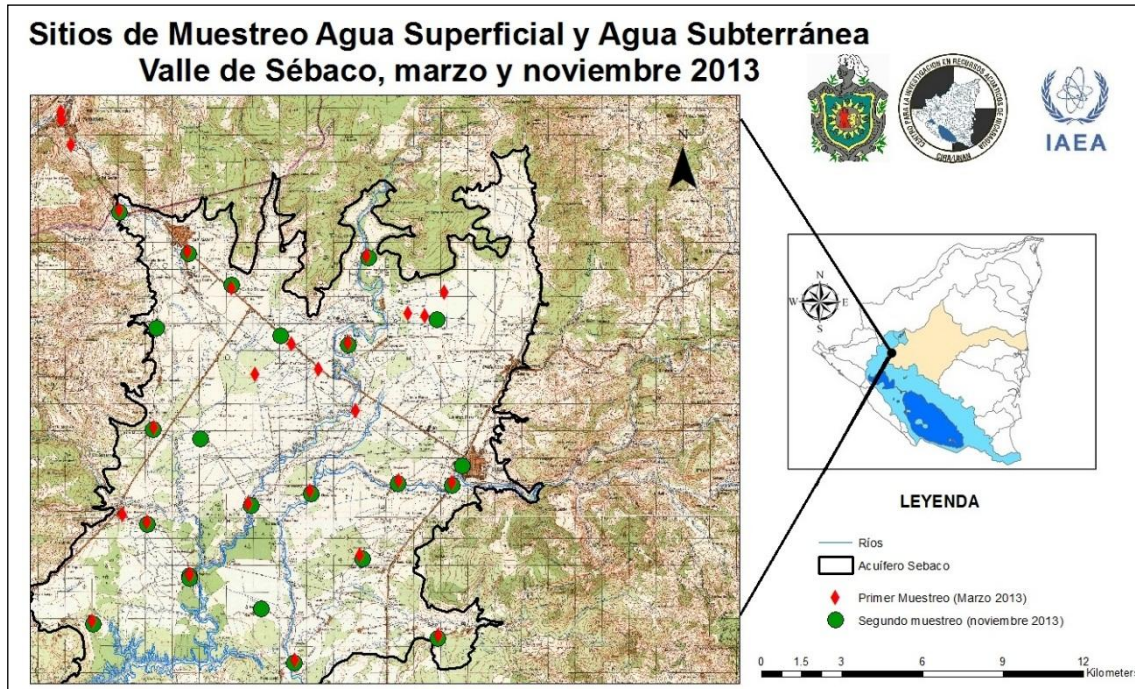


Figura 5. Sitios de muestreo de agua superficial y subterránea en el Valle de Sébaco, campañas marzo y noviembre 2013.

Los análisis de laboratorio realizados a las muestras de agua de ambas campañas, con excepción de ^{13}C y ^{14}C (para la segunda campaña únicamente) fueron: físico-químico, boro y amonio; de isótopos estables: oxígeno-18 (^{18}O) y deuterio (^2H o D); e isótopos radioactivos: tritio (^3H), carbono 13 (^{13}C) y carbono 14 (^{14}C). Los sitios de muestreo para análisis isotópicos se presentan en la Figura 6.

Todas las muestras fueron tomadas y preservadas siguiendo los protocolos de muestreo establecidos por el CIRA/UNAN-Managua, el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) y el Laboratorio del Instituto de Geología de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Los análisis: físico-químico, boro y amonio se realizaron en el laboratorio de Aguas Naturales del CIRA/UNAN-Managua, siguiendo los métodos analíticos registrados en los procedimientos operativos normativos (PON) que se detallan en la Tabla 1. Los análisis de isótopos ambientales y radioactivos se realizaron en los laboratorios mencionados anteriormente. Están pendientes de entrega los resultados de la segunda campaña de muestreo.

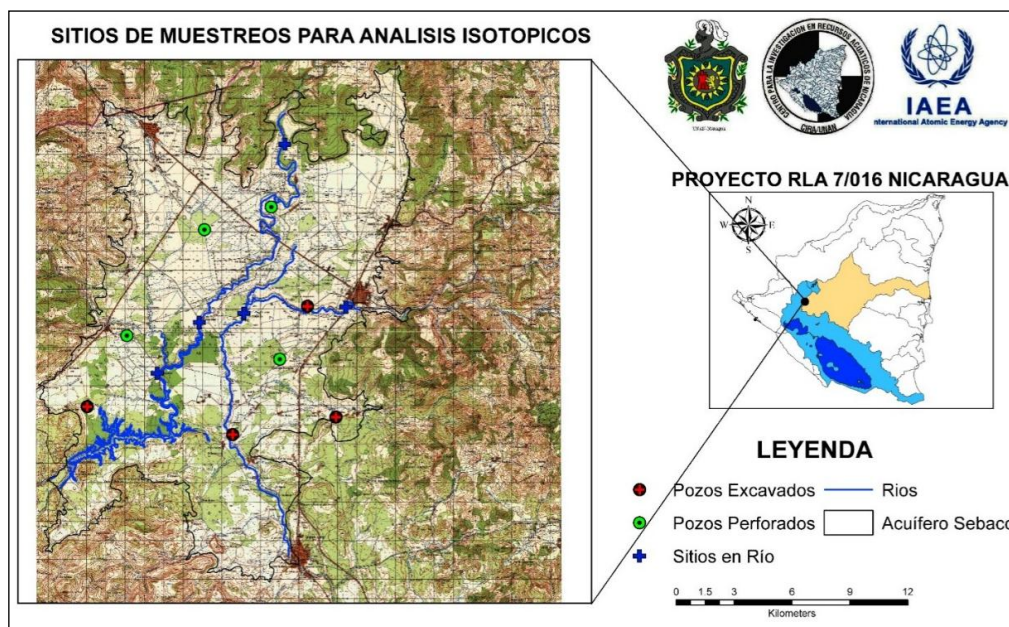


Figura 6. Sitios de muestreo para análisis isotópicos en el Valle de Sébaco.

Tabla 1. Métodos Analíticos utilizados para la determinación de variables físico-químicas.

| Variables Determinadas | Nombre de la técnica | Referencias para el Método | Laboratorio y PON CIRA/UNAN |
|--|--|--|------------------------------------|
| Determinación de Turbidez | Nefelométrica | 2130.B APHA SMEWW 21 st Edition, 2005. | Aguas Naturales PON-AN-01 |
| Determinación de pH | Método Electrométrico | 4500-H.B APHA, SMEWW 21 st Edition, 2005. | Aguas Naturales PON-AN-02 |
| Determinación de Conductividad | Método Electrométrico | 2510.B APHA, SMEWW 21 st Edition, 2005. | Aguas Naturales PON-AN-03 |
| Determinación de Color | Comparación Visual | 2120.B APHA, SMEWW 21 st Edition, 2005. | Aguas Naturales PON-AN-04 |
| Determinación de Dureza Total | Volumétrico - titulación con EDTA | 2340 C APHA, SMEWW 21 st Edition, 2005. | Aguas Naturales PON-AN-05 |
| Determinación de Calcio | Volumétrico - titulación con EDTA | 3500-Ca.B APHA, SMEWW 21 st Edition, 2005. | Aguas Naturales PON-AN-06 |
| Determinación de Magnesio | Por calculo | 3500-Mg.B APHA, SMEWW 21 st Edition, 2005. | Aguas Naturales PON-AN-06 |
| Determinación de Sodio | Fotometría de llama | 3500-Na.B APHA, SMEWW 21 st Edition, 2005. | Aguas Naturales PON-AN-08 |
| Determinación de Potasio | Fotometría de llama | 3500-K.B APHA, SMEWW 21 st Edition, 2005. | Aguas Naturales PON-AN-09 |
| Determinación de Alcalinidad | Titulación visual | 2320.B APHA, SMEWW 21 st Edition, 2005. | Aguas Naturales PON-AN-11 |
| Determinación de Aniones: Fluoruros, Cloruros, Nitratos y Sulfatos | Cromatografía Iónica con Supresión Química | 4110.B APHA, SMEWW 21 st Edition, 2005. | Aguas Naturales PON-AN-12 |
| Determinación de Sílice | Colorimétrica del Molibdosilicato | 4500-SiO ₂ .C APHA, SMEWW 21 st Edition, 2005. | Aguas Naturales PON-AN-15 |
| Determinación de hierro total | Colorimétrica de la Fenantrolina | 4500-Fe.B APHA, SMEWW 21 st Edition, 2005. | Aguas Naturales PON-AN-16 |
| Determinación de Nitritos | Colorimétrica | 4500-NO ₂ .B APHA, SMEWW 21 st Edition, 2005. | Aguas Naturales PON-AN-20 |
| Determinación de Nitrógeno amoniacal (Amonio) | Método del Fenato | 4500-NH ₃ .F APHA, SMEWW 21 st Edition, 2005. | Aguas Naturales PON-AN-21 |

Fuente: Greenberg, 2005.

Resultados.

Se observa un descenso mensual en los niveles de agua monitoreados de enero a noviembre 2013 (Tabla 2), el cual se correlaciona con la estación seca y que se observa con la dirección del flujo de agua subterráneo para los meses de marzo, abril, mayo, agosto y septiembre del 2013 es hacia el centro del acuífero (Figura 7), época en donde se realiza el mayor bombeo debido al déficit de precipitación.

Principalmente se delimitan dos zonas con mayor explotación del manto acuífero: 1) en el sector de San Isidro-Sébaco, en donde se encuentra concentrada la mayor cantidad de campos arroceros; y 2) en el Campo de Pozos de Chagüitillo, en donde la Empresa Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados (ENACAL) suministra el agua potable para la ciudad de Matagalpa y Ciudad Darío (Figura 7).

Tabla 2. Niveles piezométricos de marzo a noviembre 2013.

| Tipo de pozo | Lugar | Niveles piezométricos (msnm) | | | | | | | | |
|--------------|--------------------------|------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | | mar-13 | abr-13 | may-13 | jun-13 | jul-13 | ago-13 | sep-13 | oct-13 | nov-13 |
| PE | Parque La Trinidad | 595.65 | 596.36 | 596.64 | 596.74 | 596.86 | 597.22 | 597.68 | 594.88 | 597.58 |
| PE | La Trinidad casco urbano | 596.60 | 596.54 | 596.63 | 596.67 | 596.72 | 597.22 | 597.27 | 597.20 | 596.97 |
| PE | La Trinidad casco urbano | 595.91 | 595.91 | 595.94 | 595.97 | 595.96 | 596.24 | 596.22 | 596.17 | 596.04 |
| PE | La Trinidad casco urbano | 603.98 | 603.84 | 603.92 | 603.85 | 603.79 | 603.94 | 610.33 | 608.70 | 605.70 |
| PE | La Trinidad | 506.47 | 509.29 | 509.32 | 509.65 | 509.68 | 509.75 | 510.88 | 511.45 | 510.23 |
| PE | La Trinidad | 510.39 | 510.24 | 510.23 | 510.60 | 510.56 | 510.70 | 511.36 | 511.51 | 511.12 |
| PP | San Isidro | 462.02 | 461.88 | 462.25 | 462.04 | 460.26 | 460.30 | 460.32 | 462.09 | 461.49 |
| PP | San Isidro | 456.81 | 456.18 | 461.53 | 461.36 | 454.82 | 454.90 | 455.20 | 461.35 | 475.50 |
| PP | San Isidro | 444.01 | 443.83 | 443.80 | 444.88 | 443.77 | 443.77 | 443.76 | 444.19 | 445.19 |
| PE | Santa Rita-Sébaco | 438.65 | 437.74 | 434.83 | 437.48 | 437.41 | 437.88 | 438.27 | 438.64 | 439.10 |
| PP | La Central-Sébaco | 434.38 | 435.67 | 453.11 | 434.57 | nm | nm | nm | 438.21 | 453.11 |
| PE | El Jocote-Sébaco | 445.93 | 445.50 | 445.76 | 445.68 | 445.53 | 445.56 | 445.52 | 445.52 | 445.54 |
| PE | Las Mangas | 556.16 | 555.74 | 555.65 | 555.57 | 555.50 | 555.91 | 556.83 | 557.88 | 558.37 |
| PP | Las Mangas | 440.13 | 441.07 | 441.63 | 441.91 | 441.40 | 441.36 | 453.98 | 441.60 | 443.98 |
| PE | La Majadita | 435.35 | 435.27 | 435.27 | 435.32 | 435.24 | 435.47 | 435.70 | 435.70 | 435.62 |
| PE | Real de La Cruz | 428.08 | 426.94 | 428.39 | 428.42 | 428.30 | 428.56 | 428.62 | 428.14 | 428.32 |
| PP | Sébaco | 430.11 | 429.65 | 428.68 | 430.14 | 429.56 | 431.00 | 431.87 | 432.59 | 432.30 |
| PP | Las Brisas del Río Viejo | 447.96 | 447.36 | 447.33 | 447.29 | 447.17 | 447.24 | 447.28 | 447.76 | 447.86 |
| PP | Las Brisas del Río Viejo | 445.57 | 444.81 | 444.98 | 445.17 | 445.59 | 445.99 | 446.66 | 446.64 | 446.40 |
| PP (S-3) | Chagüitillo | 436.25 | 435.84 | 435.74 | 441.80 | 437.04 | 436.82 | 436.56 | 435.72 | 464.34 |
| PP (S-2) | Chagüitillo | 438.85 | 438.04 | 437.68 | 443.09 | 437.94 | 437.74 | 437.49 | 437.87 | 427.75 |
| PP (S-4) | Chagüitillo | 447.82 | 427.74 | 443.26 | 441.16 | 428.27 | 438.27 | 443.19 | 443.44 | 464.54 |
| PP (S-6) | Chagüitillo | 430.38 | 442.42 | 429.86 | 442.26 | 442.48 | 442.58 | 442.65 | 449.93 | 442.63 |
| PP (S-7) | Chagüitillo | 437.88 | 437.59 | 437.42 | 443.74 | 437.65 | 437.67 | 437.64 | 436.99 | 437.85 |
| PP (S-8) | Chagüitillo | 431.42 | 442.59 | 442.42 | 442.21 | 442.32 | 429.51 | 428.71 | 428.66 | 429.97 |
| PP (S-10) | Chagüitillo | 429.37 | 429.71 | 429.10 | 440.00 | 428.64 | 428.92 | 429.05 | 429.04 | 429.02 |
| PE | Sébaco (Río nuevo N°2) | 448.51 | 448.37 | 448.37 | 448.61 | 448.44 | 448.73 | 448.65 | 448.66 | 448.59 |
| PE | Palos Verdes | 404.53 | 403.41 | 403.53 | 404.07 | 403.76 | 404.59 | 404.81 | 404.97 | 405.00 |
| PE | Quebrada Grande | 441.71 | 440.58 | 440.10 | 440.33 | 439.84 | 440.45 | 441.11 | 441.89 | 442.02 |
| PE | Apompua | 440.35 | 439.70 | 439.75 | 440.04 | 439.96 | 440.06 | 440.36 | 439.68 | 440.20 |

nm: no medido

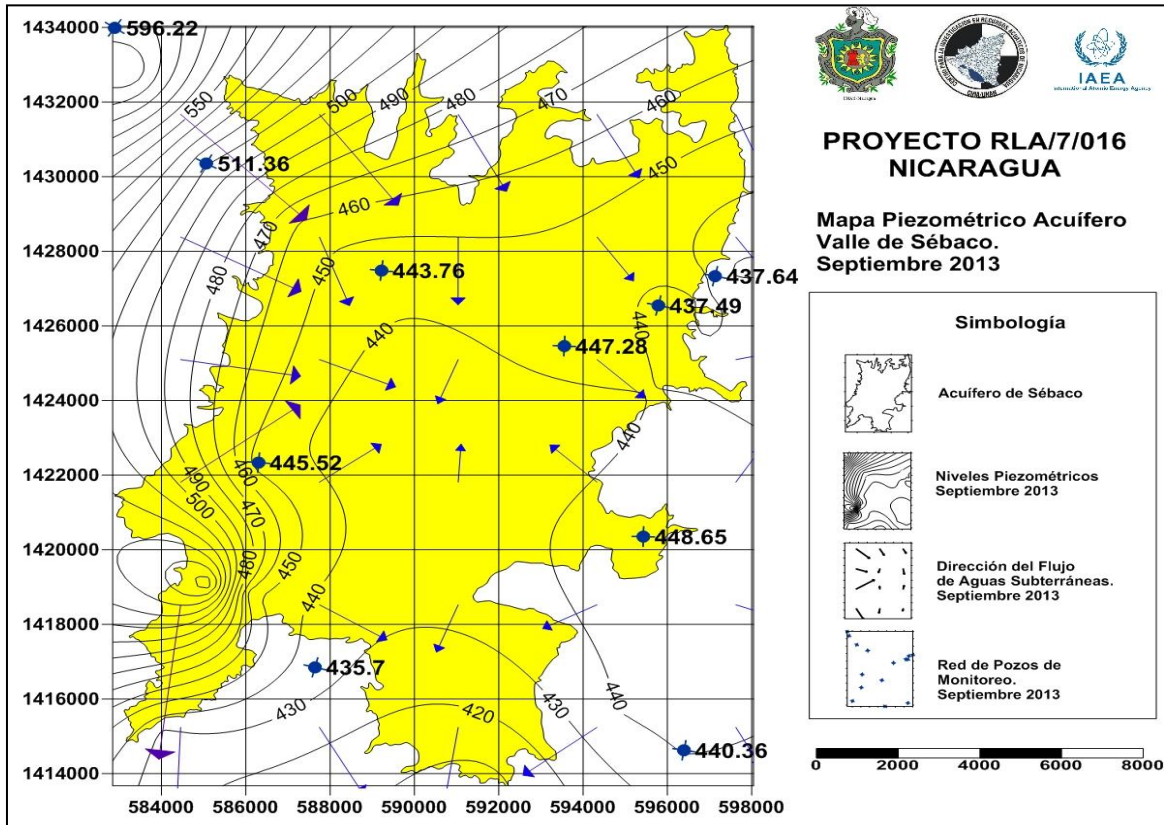


Figura 7. Piezometría del mes de septiembre 2013, Valle de Sébaco.

La dirección del flujo subterráneo en época lluviosa es marcadamente del noroeste al sureste del acuífero, y cerca de la salida es predominantemente hacia el sur (Figura 8).

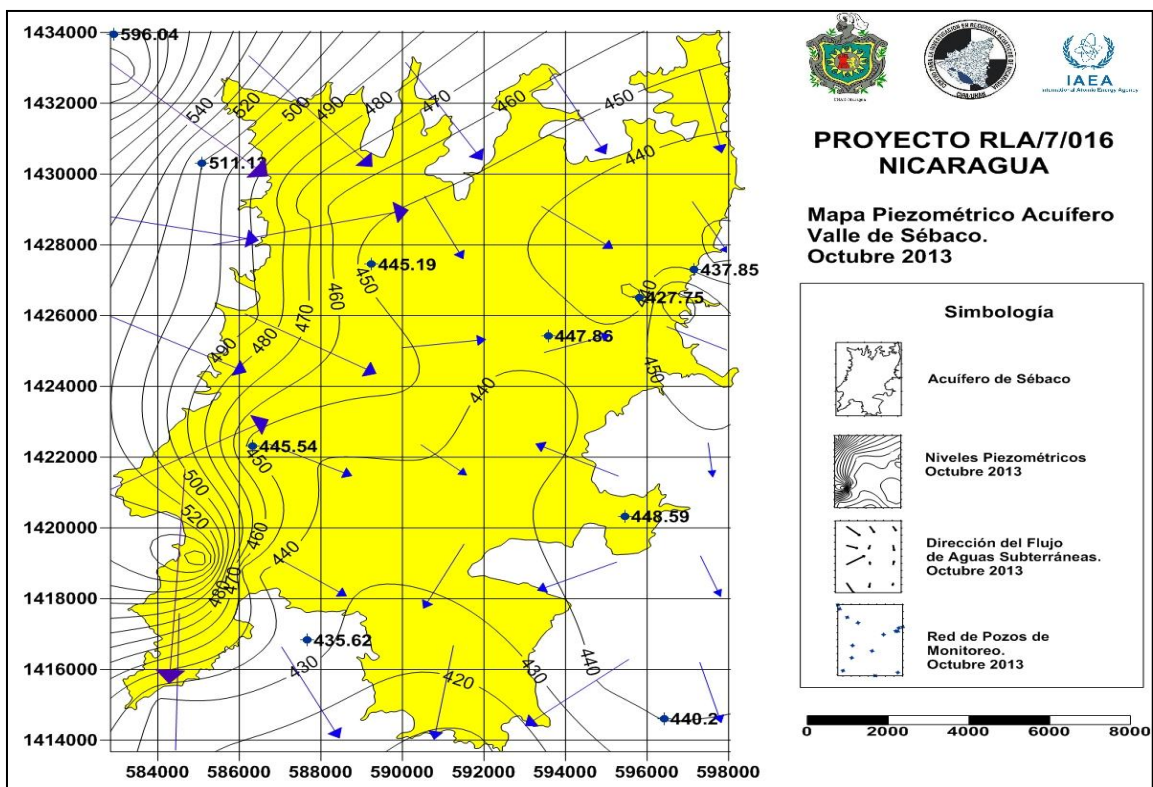


Figura 8. Piezometría del mes de agosto 2013, Valle de Sébaco.

Los menores caudales en ambos ríos se reportan para el mes de marzo 2013 (0.4 y 0.1 m³/s, respectivamente), y los mayores en el mes de septiembre 2013 (28.5 y 11.7 m³/s) (Figura 9). Los mayores caudales en el Río Viejo se deben a la alimentación artificial desde el Lago de Apanás.

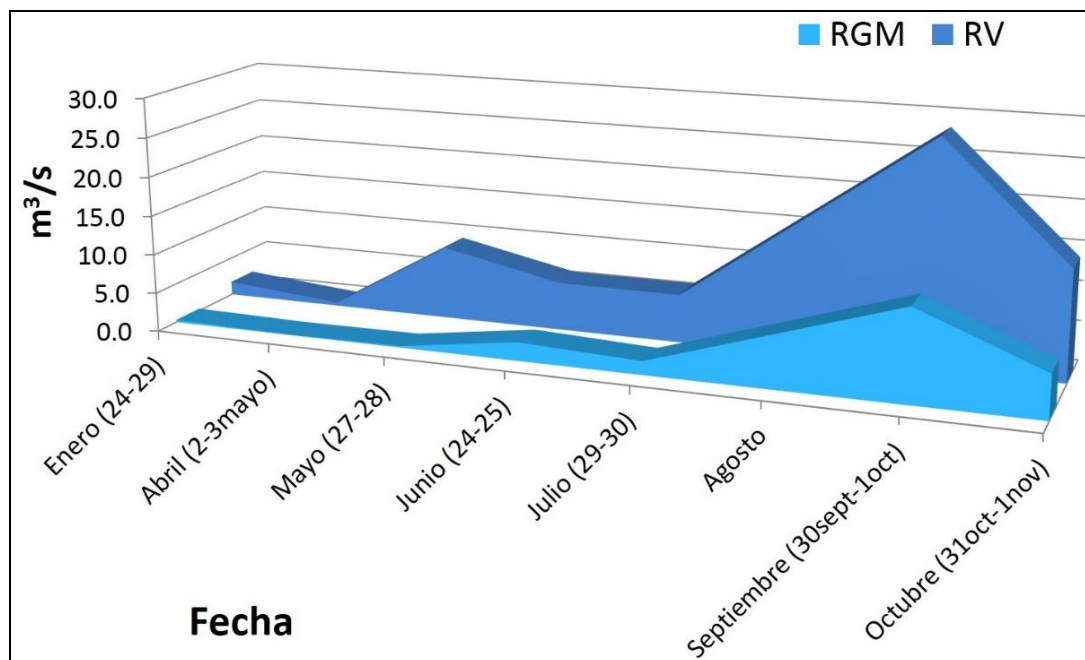


Figura 9. Caudales mensuales en los puntos de monitoreo en los ríos del Valle de Sébaco.

La composición hidroquímica del agua subterránea monitoreada en marzo del 2013 es predominantemente bicarbonatada-cálcica, seguida de los tipos: bicarbonatada-sódica, bicarbonatada-cálcica-sódica y bicarbonatada-magnésica (Figura 10); los cuales no difieren mucho con los monitoreados por González Tapia, R. M. (2004) que reportó bicarbonatada-cálcica, seguida por bicarbonatada-sódica y bicarbonatada-magnésica.

En cuanto a la hidroquímica de las aguas del Río Viejo y del Río Grande de Matagalpa, éstas son del tipo bicarbonata-cálcica (Figura 10), que se corresponde con las reportadas por González, Tapia (2004).

El tipo de agua bicarbonatada-cálcica corresponde a aguas de recarga, que en el Valle de Sébaco proceden de las zonas montañosas aledañas y de la infiltración del agua de los ríos Viejo y Grande de Matagalpa.

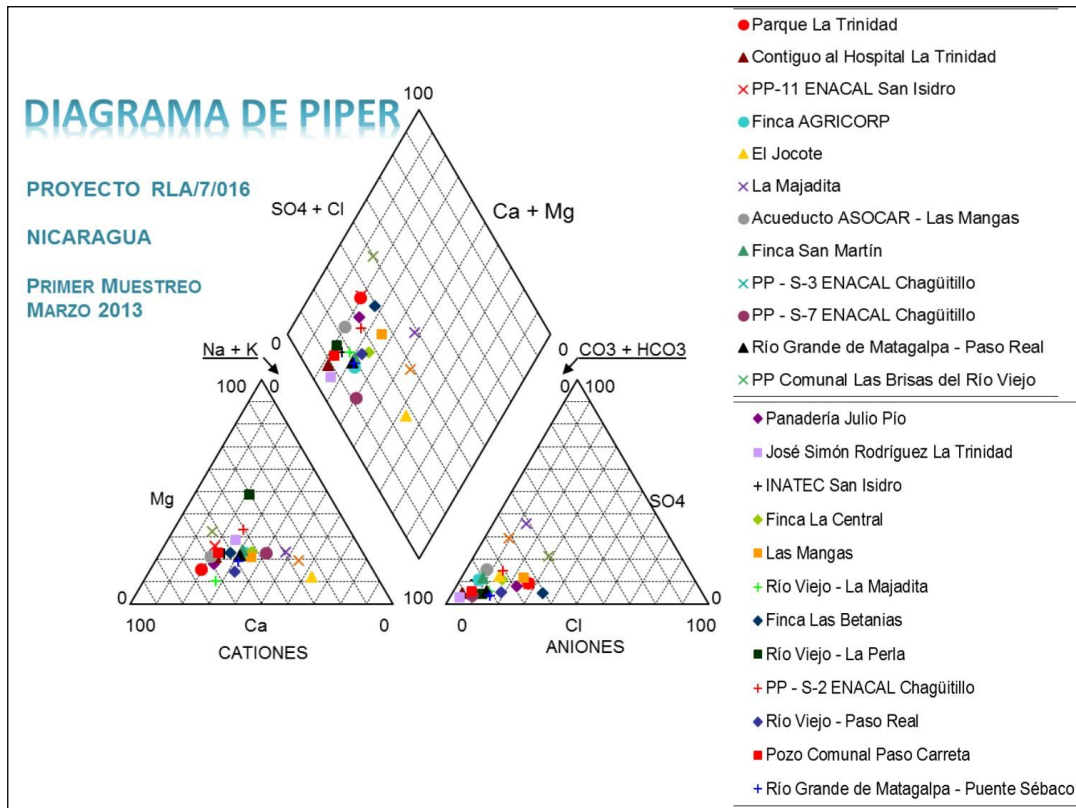


Figura 10. Tipos Hidroquímicos de las Aguas Superficiales y Subterráneas del Valle de Sébaco.

Los resultados isotópicos de ^{18}O y D de marzo 2013, indican que las aguas del Río Viejo se encuentran evaporadas; mientras que las del Río Grande de Matagalpa son aguas evaporadas (en el norte del valle) y aguas de recarga provenientes del valle desde la parte media hasta la zona de descarga del acuífero (Figura 11). El contenido de ^{18}O y D en las aguas subterráneas, indican que éstas son aguas de recarga (Figura 11).

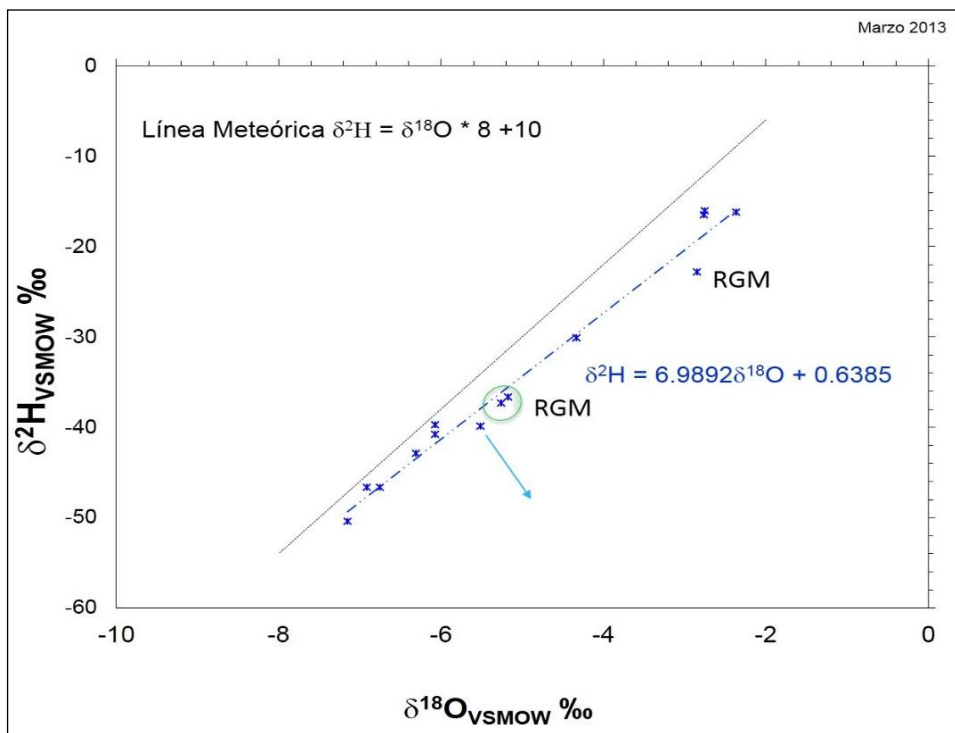


Figura 11. Composición isotópica ^{18}O vs D en el Valle de Sébaco.

El contenido ^3H reportado para los sitios monitoreados en marzo 2013, varía de -0.07 ± 0.63 a 1.62 ± 0.66 U.T. (Figura 12); indicando que en el valle hay aguas que infiltraron antes de 1952 y cuyo contenido de tritio es de origen termonuclear (valores < 1.0 U.T.); así como también existen aguas de recarga local (tritio termonuclear de 1.9 a 3.2 ± 1.0 U.T.).

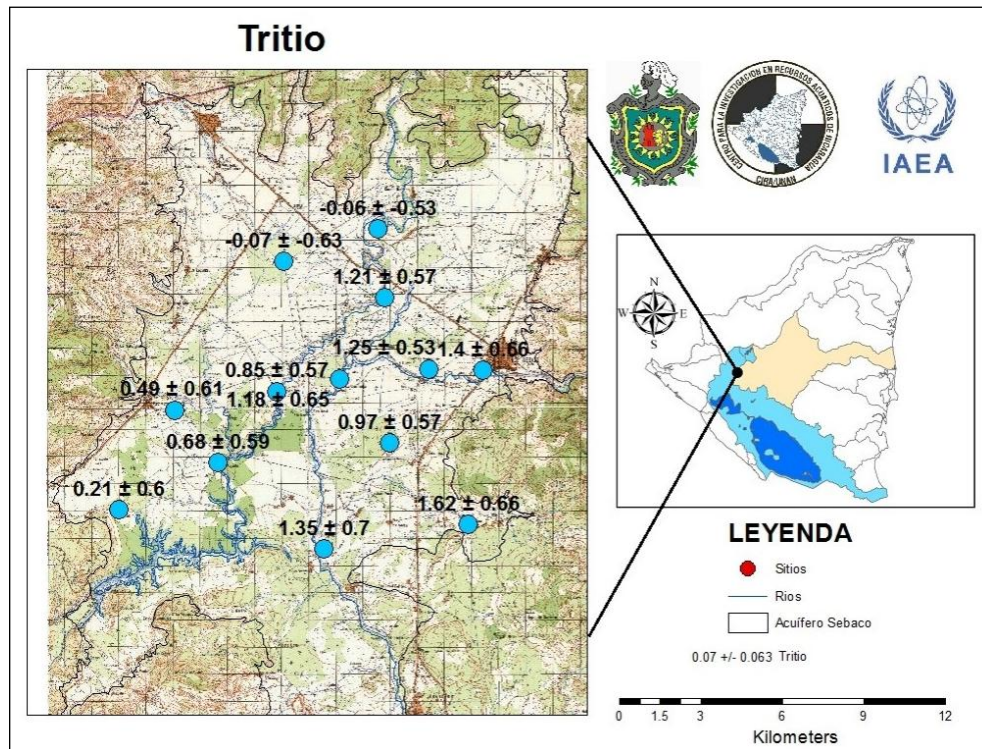


Figura 12. Resultados de tritio en el Valle de Sébaco.

Discusión.

Como se ha reportado en estudios anteriores Plata, Antonio (1988) y Flores, Meza (2004), la mayoría de los pozos presentes en el área del Valle de Sébaco, son pozos de producción los cuales están equipados con sistemas de bombeo. Sólo unos pocos pozos en el valle, se encuentran sin bomba o cuentan con piezómetro para medición de niveles. Cabe mencionar que en el sur del valle, la mayoría de los pozos excavados existentes a finales de los años 80, actualmente se encuentran aterrados; esto producto de la introducción del sistema de agua potable y alcantarillado realizado a mediados de los años 90.

La aseveración dada por Flores, Meza (2004) respecto al desconocimiento del diseño y profundidad de la mayoría de los pozos y al intenso bombeo a que están sometidos; es una constante en los pozos perforados en el Valle de Sébaco hasta la actualidad.

El descenso medio observado en los niveles de agua monitoreados de enero a octubre 2013 con los medidos en 2003 por Flores, Meza (2004) es de aproximadamente 4.96 metros.

Se observa un cambio en la dirección del flujo de las aguas subterráneas. Plata, Antonio (1988) y Flores, Meza (2004), reportan que el flujo se dirigía hacia las zonas de descarga del acuífero: una localizada en el suroeste del valle, hacia el Embalse La Virgen, y la otra en la parte sur del valle, en dirección a Ciudad Darío. En el 2013, la

dirección del flujo subterráneo es hacia el centro del acuífero, en donde se realiza la mayor explotación del manto acuífero en dos puntos localizados en San Isidro y en Chagüitillo.

Flores, Meza (2004), realizó prospección de la explotación del acuífero a 30 años, utilizando VISUAL MODFLOW, donde se estimó un descenso regional de 15 metros.

En el estudio realizado por Plata, Antonio (1988) y por Flores, Meza (2004), el mapa de isopiezas (piezométrico) indica que el acuífero es recargado principalmente en las zonas próximas al contacto con los materiales volcánicos circundantes (al norte y bordes del valle). Para el 2013, el mapa de isofreáticas indica que el acuífero se recarga en el norte y el borde oeste del valle.

Los caudales promedio medidos en los ríos Viejo y Grande de Matagalpa en el 2013 (10.4 y 3.6 m³/s, respectivamente), son menores que los promedios reportados por Consulting Engineers Ltd, (1977). (12.7 y 0.4 m³/s, respectivamente); siendo esta reducción en los caudales promedio, un claro indicador del bombeo realizado en diversos sectores en el cauce de los ríos.

Los tipos hidroquímicos de las aguas subterráneas del 2013 presentan ligera evolución geoquímica (sin una mayor evolución) respecto de los tipos hidroquímicos de las mediciones realizadas en el 2002 por González Tapia, R. M. (2004) y lo reportado por Flores, Meza (2004), indicativo del poco tiempo de tránsito del agua en el acuífero y poca interacción agua-roca, ya que la composición de estas aguas es similar a la del agua de lluvia. El tipo de aguas bicarbonatadas cálcicas, predominante en todo el acuífero, indican que el movimiento del agua es relativamente rápido y no da lugar a una evolución hidrogeoquímica completa Flores, Meza (2004).

No hay variación a través del tiempo en la composición o tipo hidroquímico de las aguas superficiales; manteniéndose éste del tipo bicarbonatado-cálcico, indicando aguas de recarga.

El contenido de isótopos estables (¹⁸O y D) en las aguas del Río Viejo y del Río Grande de Matagalpa indican que son evaporadas, el cual corresponde con los valores reportados en aguas superficiales por Plata, Antonio (1988). El contenido de ¹⁸O y D en el Río Viejo es similar a los reportados por Plata, Antonio (1988) y los medidos en 2013; sin embargo los valores de D reportados por Plata, Antonio (1988) están enriquecidos respecto a los obtenidos en 2013.

Por otra parte, el rango de valores de ¹⁸O y D en las aguas subterráneas presentan similitud con los reportados por Plata, Antonio (1988) y los medidos en este estudio; indicando que son aguas de precipitación en las montañas aledañas al valle, y que posteriormente se infiltran en el acuífero.

Los valores de tritio reportados en el Valle de Sébaco para 2013, únicamente reportan la presencia de tritio de origen termonuclear para: 1) aguas infiltradas antes de 1952, mayoritariamente en el sector norte y noroeste del Río Viejo; y 2) aguas de recarga local, en el resto del valle.

Conclusiones.

Es notorio la disminución de los niveles del agua en el centro del acuífero producto de la intensa explotación que se realiza tanto del recurso subterráneo como del superficial.

Se evidencia que la prospección realizada en 2002, a través del modelo matemático Visual MODFLOW, en donde se estimó un descenso regional del nivel del agua de aproximadamente 15 m a lo largo de 30 años de explotación Flores, Meza (2004), es válida para estos primeros diez años.

Se observó un cambio en la dirección del flujo de las aguas subterráneas en el año 2002 (hacia la zona de descarga del acuífero; reportado por Flores, Meza (2004), al observado en 2013 el cual es hacia el centro del acuífero.

La mayor explotación del manto acuífero se localiza en San Isidro y en Chagüitillo, en donde se encuentran los pozos de explotación agrícola para el cultivo del arroz y los pozos de explotación para consumo humano.

Los caudales promedio medidos en los ríos Viejo y Grande de Matagalpa en el 2013 son menores que los promedios reportados en 1977 por Consulting Engineers Ltd. (1977), debido al bombeo que realizan los productores agrícolas y a la generación eléctrica.

Se observó una ligera evolución geoquímica de las aguas subterráneas en el valle, al reportarse aguas del tipo bicarbonatado-cálcico-magnésico en el 2013. Las aguas superficiales no presentan evolución geoquímica con el tiempo, conservando siempre su carácter de agua de recarga.

El contenido de isótopos estables (^{18}O y D) en las aguas del Río Viejo y del Río Grande de Matagalpa indican que son evaporadas. Las aguas subterráneas son aguas de recarga, infiltradas de la precipitación proveniente de las montañas que rodean al valle.

Los valores de tritio reportados en el Valle de Sébaco para 2013, únicamente reportan la presencia de tritio de origen termonuclear para: 1) aguas infiltradas antes de 1952, mayoritariamente en el sector norte y noroeste del Río Viejo; y 2) aguas de recarga local, en el resto del valle.

Las variaciones presentadas en los resultados isotópicos presentados por Plata, Antonio (1988), a las reportadas en este estudio, pueden deberse a la diferencia de los métodos analíticos utilizados.

Agradecimientos.

Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA).

Personal de los laboratorios de Hidrogeología, Aguas Naturales, Aguas Residuales y Radioquímica Ambiental del Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua (CIRA/UNAN-Managua) de la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua (UNAN-Managua).

Personal de Catholic Relief Services (CRS), Juan Adrián Rivera y Ariel Espinoza.

Literatura Citada.

- Consulting Engineers Ltd., T. (1977). *Estudio Hidrológico del Valle de Sébaco*. Managua.
- Flores Meza, Y. (2004). *Criterios Hidrogeológicos para la Formulación del Plan de Gestión en el Acuífero del Valle de Sébaco*. Managua.
- González Tapia, R. M. (2004). *Estudio sobre la calidad del agua y peligro de contaminación de los pozos de abastecimiento público, ríos Viejo y Grande de Matagalpa en el Valle de Sebaco, Matagalpa, 2002*. Managua.
- Greenberg, A. E. (2005). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (21st ed.). American Water Works Association/American Public Works Association/Water Environment Federation.
- MARENA-PNUD. (2000). *Evaluación de la vulnerabilidad y adaptación de los recursos hídricos de Nicaragua ante el cambio climático*. Managua.
- Plata, Antonio. (1988). *Hidrología Isotópica del Acuífero Aluvial del Valle de Sébaco*. Proyecto NIC/8/002, Sección de Hidrología Isotópica, Organismo Internacional de Energía Atómica, Viena.
- Red IANAS y FCCyT. (2012). *Diagnóstico del Agua en las Américas*. México.