

ACTUALIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA Y DISPONIBILIDAD DEL ACUÍFERO DEL VALLE DE SÉBACO, NICARAGUA

HIDROGEOLOGICAL UPDATE AND AVAILABILITY OF THE SÉBACO VALLEY AQUIFER IN NICARAGUA

Delgado Quezada, Valeria¹; Flores Meza, Yelba del Carmen²

Resumen

El acuífero del Valle de Sébaco es uno de los más importantes de la Región Central de Nicaragua, entre los Departamentos de Matagalpa, Estelí y León. Se encuentra en la subprovincia hidrogeológica de valles intramontanos; entre las cuencas del Río Grande de Matagalpa y del Río Viejo, cuyas aguas son utilizadas para la generación hidroeléctrica desde su nacimiento en el lago artificial Apanás-Asturias (Planta Centroamérica) hasta salir por el embalse La Virgen (Santa Bárbara). El acuífero presenta una distribución irregular de sedimentos (arcilla, limo, arena, grava y bolones), por lo que es difícil determinar unidades acuíferas y se le considera como una sola unidad heterogénea y anisotrópica. La explotación del acuífero comenzó en 1970 para el consumo humano y agricultura intensiva (arroz por inundación y hortalizas), la cual se ha incrementado con los años, por lo que es posible que el acuífero se encuentre en riesgo de sobreexplotación y contaminación. Este estudio se realizó para actualizar la información hidrogeológica del acuífero y estimar su disponibilidad actual ante la demanda futura de agua. Durante un año hidrológico (marzo a diciembre 2013) se realizó el monitoreo mensual de la red de pozos, determinando la dinámica subterránea. Los descensos en los niveles de agua van desde 3,46 a 15,43 m en los pozos familiares y/o comunales para el mes de abril, de finalización del verano. En el caso de los pozos de ENACAL para suministro de agua potable a la población, en San Isidro (en el norte del valle, en donde se localizan la mayoría de los pozos de producción) se observan descensos van desde 14,80 a 20,23 m (julio 2013, que se corresponde con *la canícula*): y en ENACAL Chagüitillo de 27,01 m (octubre 2013) a 36,26 m (abril 2013). Se observó que la recarga del acuífero responde directamente a la recarga por precipitación, aumentando el nivel freático entre cinco metros en el centro del valle y hasta 10 m en las cercanías de San Isidro y en la entrada de los ríos al valle. El caudal medio anual en el Río Viejo fluctúa de los 0,43 a los 28,47 m³/s, esto está en dependencia de la central hidroeléctrica y de las bombas de extracción a lo largo del río; mientras que el Río Grande de Matagalpa tiene un caudal promedio anual de 0.02 a 9.68 m³/s. La mayor extracción es de agua subterránea a través de los pozos de producción y los pozos de abastecimiento para consumo humano, estimada en 79,58 Mm³, seguida por el bombeo del Río Viejo (64 Mm³). El balance hídrico reporta 25,5 Mm³ de agua disponible en el valle, aporte procedente en su mayoría de la recarga de los ríos (139,75 Mm³); la cual es mucho mayor que la recarga potencial por infiltración de precipitación (11 Mm³), que es influida notablemente por la evapotranspiración y el tipo de suelo en el valle. Se recomienda disminuir los volúmenes de explotación del acuífero e implementar medidas de protección y recuperación del recurso hídrico.

Palabras claves: Nicaragua, Valle de Sébaco, disponibilidad, acuífero, Hidrogeología.

ABSTRACT

The aquifer of the Valley of Sébaco, is one of the most important in the Central Region of Nicaragua, between the Departments of Matagalpa, Estelí and León. It is found in the hydrogeological subprovince of intramontane valleys; between the basins of the Rio Grande de Matagalpa and the Rio Viejo, whose waters are used for hydroelectric generation from its source in the Apanás-Asturias artificial lake (Central America Plant) until leaving through La Virgen damming (Santa Bárbara). The aquifer presents an irregular distribution of sediments (clay, silt, sand, gravel and boulders), so it is difficult to determine aquifer units and is considered as a single heterogeneous and anisotropic unit. The exploitation of the aquifer began in 1970 for human consumption and intensive agriculture (rice by flood and vegetables), which has increased over the years, so it is possible that the aquifer is at risk of overexploitation and pollution. This study was carried out to update the hydrogeological information of the aquifer and to estimate its current availability to future water demand. During a hydrologic year (March to December 2013), the monthly monitoring of the well network was carried out, determining the underground dynamics. The declines in water levels range from 3.46 to 15.43 m in the family and/or communal wells for the month of April, at the end of the summer. In the case of ENACAL wells for the supply of drinking water to the population, in San Isidro (in the north of the valley, where most of the production wells are located), there are declines ranging from 14.80 to 20, 23 m (July 2013, corresponding to the heatwave): and in ENACAL Chagüitillo from 27.01 meters (October 2013) to 36.26 m (April 2013). It was observed that the recharge of the aquifer responds directly to the recharge by precipitation,

1 Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua. Nicaragua. valeria.delgado@cira.unan.edu.ni;

2 Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua. Nicaragua. yelba.flores@cira.unan.edu.ni

increasing the water table between five meters in the center of the valley and up to 10 meters in the vicinity of San Isidro and at the entrance of the rivers to the valley. The average annual flow rate in the Río Viejo ranges from 0.43 to 28.47 m³/s, depending on the hydroelectric power station and the extraction pumps along the river; while the Río Grande de Matagalpa has an average annual flow of 0.02 to 9.68 m³/s. The largest extraction of groundwater is through the production wells and the supply wells for human consumption, estimated at 79.58 Mm³, followed by the pumping of the Río Viejo (64 Mm³). The water balance reports 25.5 Mm³ of available water in the valley, contribution coming mainly from the recharge of the rivers (139.75 Mm³); which is much larger than the potential recharge by precipitation infiltration (11 Mm³), which is significantly influenced by evapotranspiration and the type of soil in the valley. It is recommended to reduce aquifer exploitation volumes and implement measures to protect and recover water resources.

Keywords: Nicaragua, Valley of Sébaco, availability, aquifer, Hydrogeology.

1. 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).

La información hidrogeológica del acuífero del Valle de Sébaco ha sido proporcionada a través de (Tahal, 1977); la hidrología isotópica y el balance isotópico de la recarga al acuífero con (Plata, 1988); la disponibilidad de agua y las proyecciones a futuro con (Flores Meza, 2004); y calidad del agua subterránea y superficial con (González Tapia, 2004). A través del uso de un modelo matemático se 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 (Flores Meza, 2004); paralelamente a este estudio (González Tapia, 2004) concluyó que el agua subterránea del Valle de Sébaco que es utilizada para consumo humano, está siendo impactada por las actividades del uso del suelo e industriales. 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. Es por esto que el presente estudio tiene por objeto la actualización y evaluación de las características hidrodinámicas del acuífero del Valle de Sébaco para el año 2013, con el fin de estimar su potencial actual.

Este estudio ha sido realizado conjuntamente por el Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua (CIRA/UNAN-Managua), el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) y Catholic Relief Services (CRS).

Área de Estudio

El acuífero del Valle de Sébaco se localiza en la Región Central de Nicaragua, entre las coordenadas UTM 575000-606000 al Oeste y 1399000-1437000 al Norte. Políticamente pertenece a los Departamentos de Matagalpa, Estelí y León. Está compartido entre nueve municipios, abarcando mayor área los de San Isidro, Sébaco y Darío del Departamento de Matagalpa. Presenta una situación geográfica compleja al localizarse entre dos cuencas hidrográficas: la del Río Grande de Matagalpa al Este y la del Río Viejo, afluente del Río San Juan al Oeste. La cuenca de drenaje directa al valle ocupa un área de aproximadamente 652,8Km², mientras que el valle abarca aproximadamente 263,3Km² (Figura 1).

Comenzó a ser explotado en 1970 para suministro de agua potable y la irrigación de cultivos de arroz y hortalizas. La siembra de arroz se realiza por inundación (agua subterránea, y superficial proveniente de los Ríos Viejo y Grande de Matagalpa), por lo que los volúmenes de agua utilizados son considerables. Posteriormente da inicio la generación hidroeléctrica en el valle (1972) con la Planta Carlos Fonseca (Santa Bárbara), que utiliza las aguas del Río Viejo (desde su nacimiento en el lago artificial Apanás-Asturias, cuyas aguas generan energía a través de la Planta Centroamérica), hasta salir por el embalse La Virgen (con un área de 6 Km²). La planta Santa Bárbara tiene una capacidad para generar 50 megavatios de potencia y una generación bruta anual promedio de 204.000 megavatio-hora(MWH).

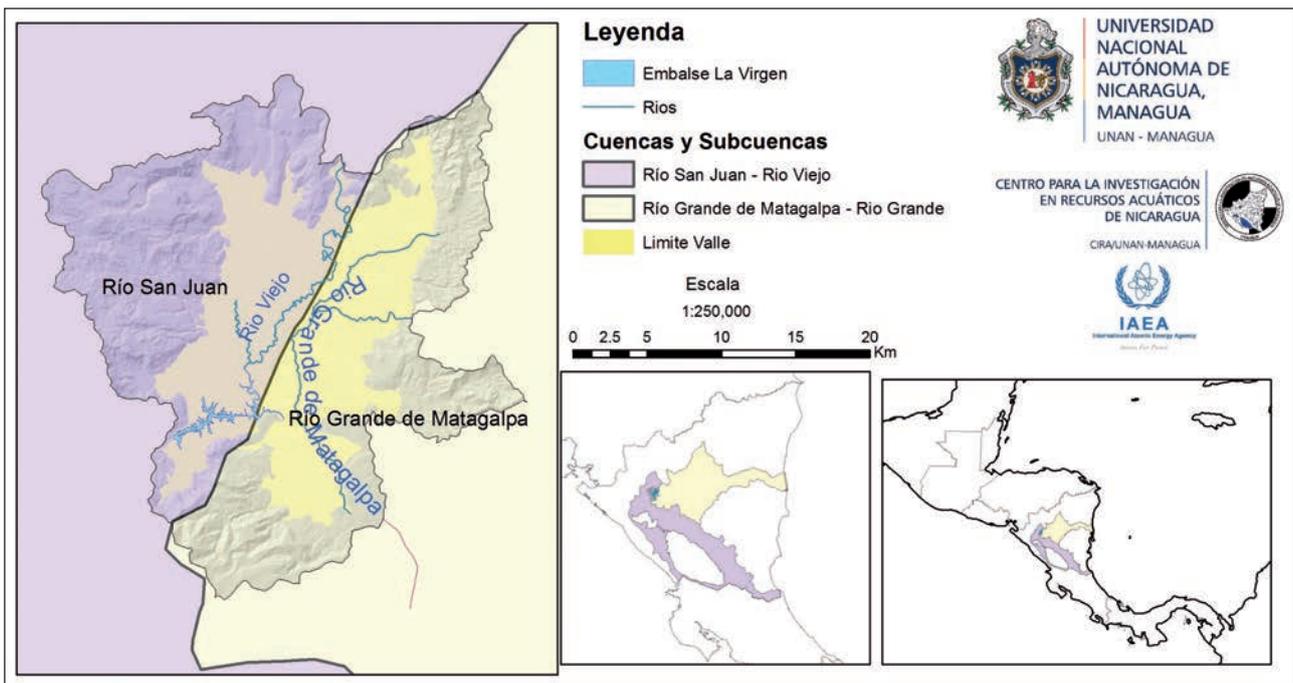


Figura 1. Localización geográfica del Valle de Sébaco

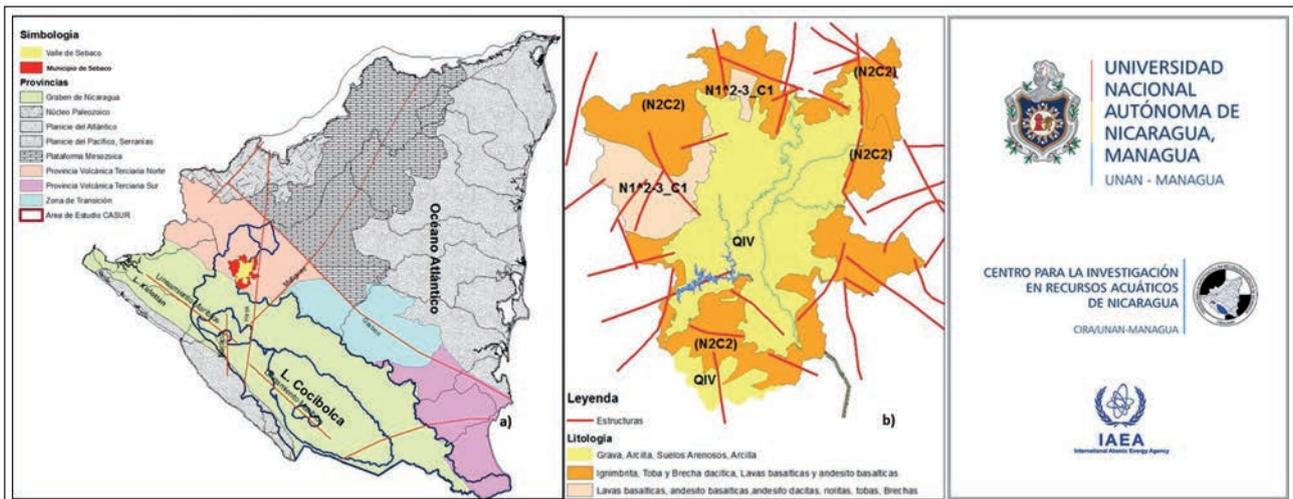


Figura 2a. Ubicación espacial del Valle de Sébaco en las Provincias Geológicas de Nicaragua

Figura 2b. Formaciones Geológicas Valle de Sébaco

Clima

El clima de la región se clasifica como tropical de sabana (Köppen, 1936), caracterizado por un régimen de sequía (de noviembre a abril) y un régimen de lluvia (mayo a octubre); en los meses de julio a agosto se da el fenómeno de la *canícula*, en el que predomina la disminución de las precipitaciones y el aumento de la temperatura. La temperatura media en el valle oscila entre los 21 y 30 °C, con precipitaciones de 800 mm en el centro del valle hasta 2000 mm en la zona montañosa (Flores Meza, 2004).

Formaciones Geológicas

Cinco provincias geológicas forman el territorio nicaragüense: La Planicie Costera del Pacífico,

El Graben de Nicaragua, La Provincia Volcánica Terciaria, La Provincia Geológica del Norte y la Planicie Costera del Atlántico.

En los terrenos de la Provincia Volcánica Terciaria, dividida a su vez en Provincia Volcánica del Norte, Zona de Transición y Provincia Volcánica del Sur, se han formado numerosos valles intramontanos (depresiones rellenas con sedimentos aluviales y coluviales), entre los que se destaca el Valle de Sébaco, localizado en la Provincia Volcánica del Norte. Las rocas volcánicas más importantes son tobas, basaltos, andesitas e ignimbritas, agrupadas en los Grupos Matagalpa y Coyol (Figura 2a). Localmente la cuenca de drenaje directa del valle de Sébaco se formó a partir de las rocas volcánicas del Cuaternario. La mayor parte del área está

desarrollada sobre rocas agrupadas en la Formación Coyal, son rocas volcánicas del periodo Terciario. Estas erupciones tuvieron lugar entre las series del

Mioceno-Pleistoceno, con posterior levantamiento debido a las compresiones de las placas Coo-Caribe (Figura 2b, Tabla 1).

Tabla 1. Litoestratigrafía del Área de Estudio

Período	Espesor	Formación	Litología
Cuaternario Sedimentario	Aproximadamente 140 m	Aluvial (QIV)	Se presume que ocupa un pequeño graben, rellenado por los materiales de derrumbe de las montañas y de los aluviales arrastrados por las dos corrientes principales que atraviesan el valle. Está conformado por gravas, guijarros, bolones, arenas, suelos arenosos, arcillas.
Terciario (Pleistoceno)	-	Grupo Coyal Superior (N2C2)	Ocupan toda el área de drenaje directo al Valle de Sébaco. Se desarrolla en las partes altas de la microcuenca. Son rocas ignimbríticas, tobas y brechas dacíticas, lavas basálticas y andesito-basálticas.
Terciario (Mioceno)	-	Grupo Coyal Inferior (N1^2-3_C1)	Afloran al oeste del valle, el terreno superior puede haber sido erosionado durante la compresión. Son lavas basálticas y andesito-basálticas, andesito-dacitas, riódacitas, tobas y brechas tobáceas de riolitas y dacitas: aglomerádicas.

Tipo y Uso de Suelo

Los suelos que predominan en el valle son vertisoles, seguidos de molisoles, inceptisoles, alfisoles y entisoles (Tabla 2, Figura 3). Los suelos del valle por las características topográficas y tipo de suelo, son propicios para tierras cultivables (predominio del cultivo de arroz por inundación, con una lámina de agua utilizable de 10cm aproximadamente; y

de hortalizas como zanahorias, chiltomas, tomates y cebollas), llegando a tener un área cultivable de 163,39 km² la cual se extiende por todo el centro del Valle de Sébaco; y por la disposición de agua procedente del Río Viejo y del Río Grande de Matagalpa, así como de pozos perforados en todo el valle.

Tabla 2. Tipo de Suelo Valle de Sébaco

Orden	Subgrupo	Área (Km ²)
Inceptisol	Typic Ustropepts	30,61
Molisol	Udic Haplustolls + Pachic Haplustolls	15,04
	Entic Haplustolls + Fluventic Haplustolls + Udorthentic Haplustolls	42,29
	Udic Argiustolls + Pachic Argiustolls	10,47
	Lithic Haplustolls + Lithic Argiustolls	11,84
Alfisol	Udic Haplustalfs + Ultic Haplustalfs	17,57
Vertisol	Typic Pellusterts	152,46
Entisol	Typic Troporthents	3,65

Un total de 118,77 Km² del área total del valle está cubierta por vegetación arbustiva, malezas y pastos, ubicados en los márgenes del valle; en éstas predominan las especies arbóreas no mayor de 3 m de alto, así como pastos para follaje de ganado sin manejo alguno, así como las malezas de menos de 1m de alto, distribuidos en las márgenes del valle (Figura 4).

Hidrología

El Valle de Sébaco está ubicado en la parte baja de la Subcuenca Río Viejo (ocupa 149,45 km²), y en las subcuencas Matagalpa (58,54 km²) y Laguna

de Moyuá-Las Playitas (75,93 km²; Figura 5). El Río Viejo atraviesa el valle con una longitud de 40,38 km, con pendiente media de su cauce de 21%; entra al valle por el sitio denominado La Perla en la parte Noroeste, hasta salir por el embalse La Virgen en la parte Suroeste, el cual fue creado para la generación hidroeléctrica Carlos Fonseca (Santa Bárbara), luego de la cual abandona el valle para depositar sus aguas en el Lago Xolotlán. El Río Grande de Matagalpa, con una longitud dentro del valle de 29,10 km, inicia en la ciudad de Sébaco al Noreste saliendo del valle en Ciudad Darío al Sureste, con una pendiente del cauce de 18%.

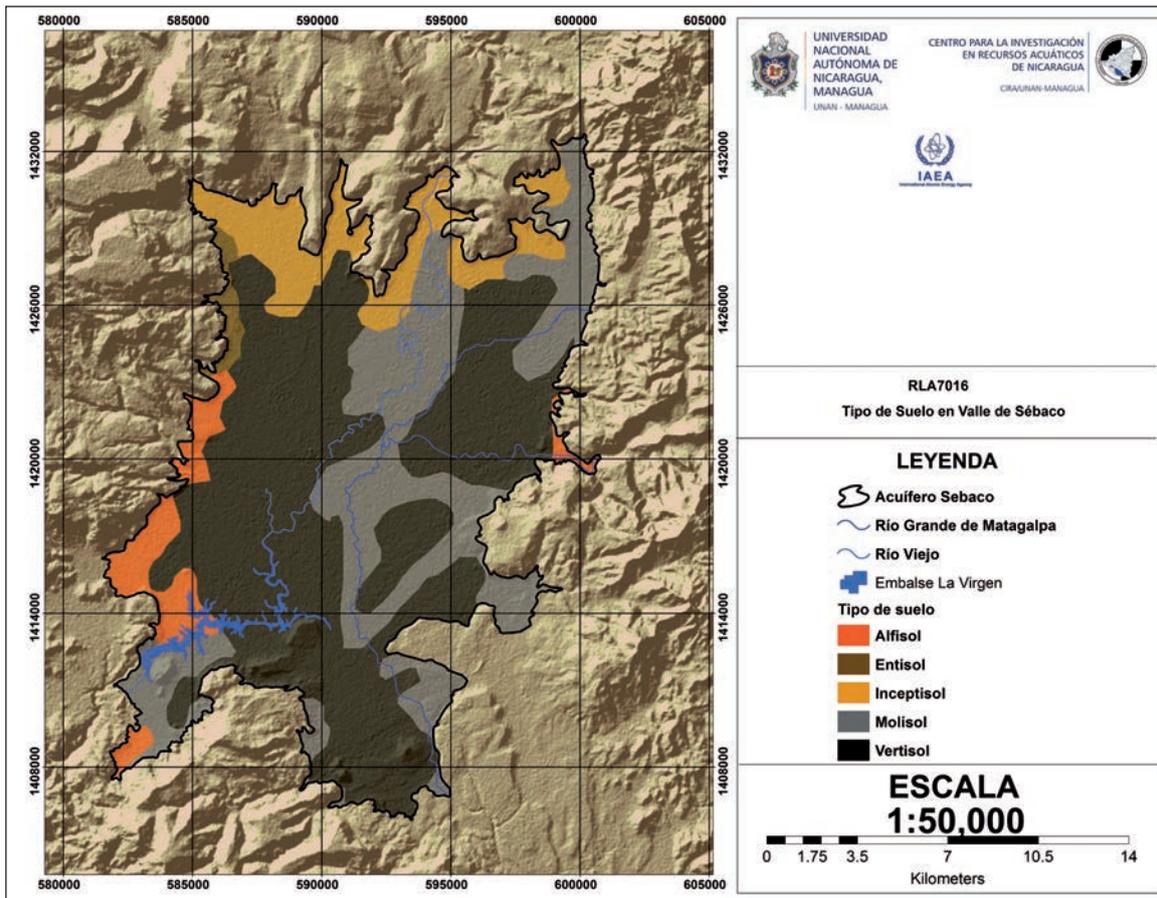


Figura 3. Tipo de suelo en el Valle de Sébaco

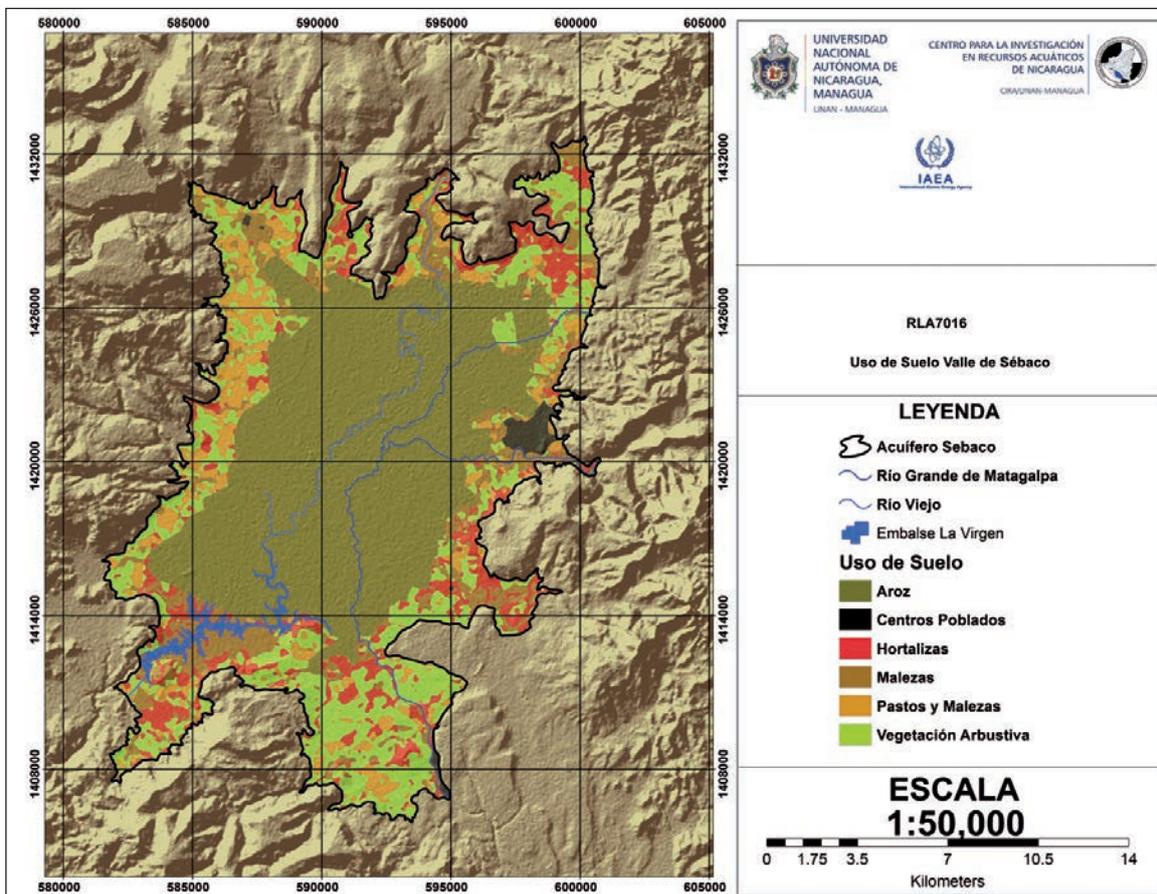


Figura 4. Uso de Suelo Valle de Sébaco

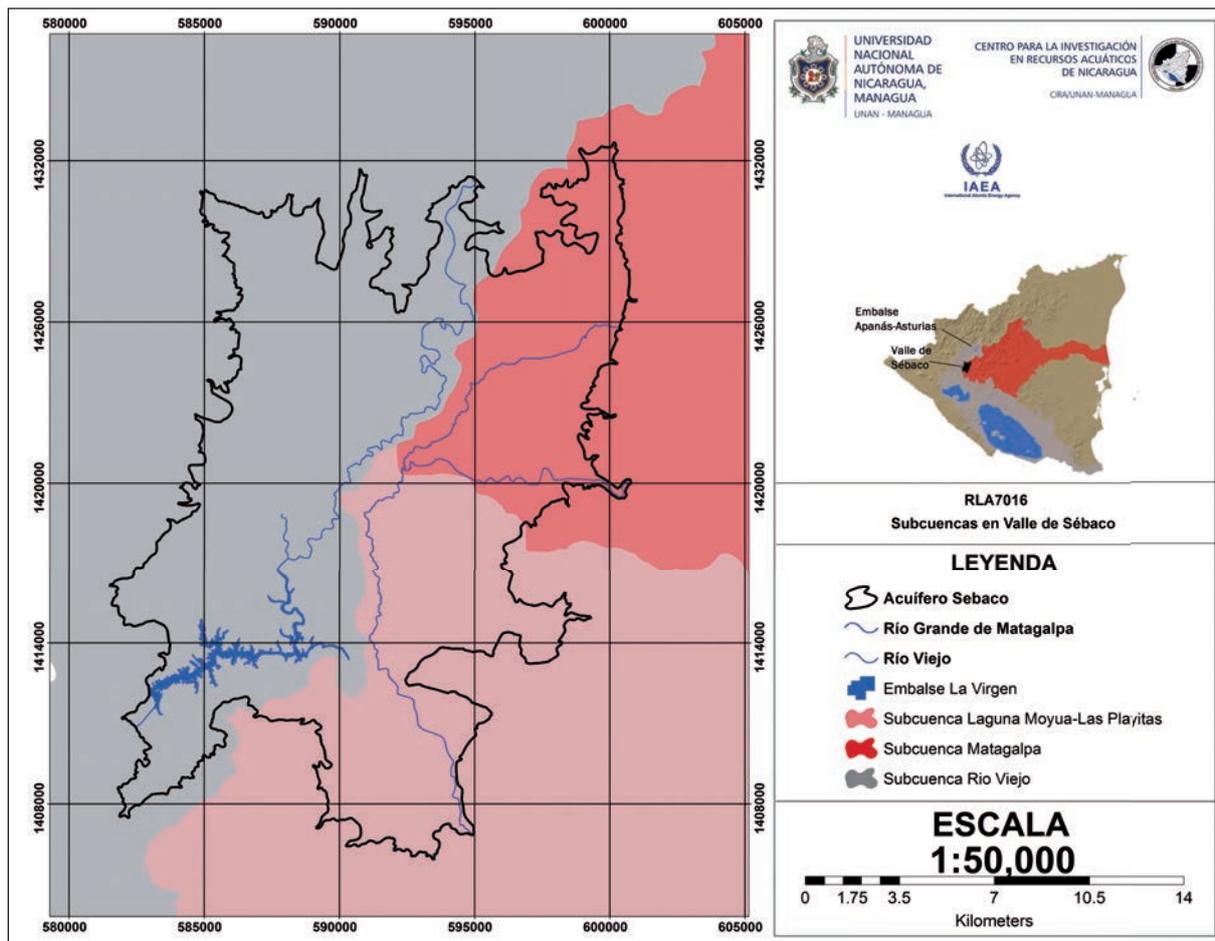


Figura 5. Subcuencas Río Viejo, Matagalpa y Moyúa-Las Playitas en Valle de Sébaco

El trascurso del Río Viejo por el Valle de Sébaco es con flujo a régimen permanente, influenciado por la descarga de la Planta Centroamérica; por lo cual es utilizado para la agricultura intensiva para irrigar los campos de cultivo de arroz y hortalizas. En cuanto al Río Grande de Matagalpa, es común encontrar seco su cauce en época seca, producto de las bombas instaladas en el mismo para irrigar los cultivos de arroz y hortalizas.

Estos ríos han excavado su cauce dentro del valle en una capa superficial de arcilla que forma el estrato superior de los materiales aluviales. Esta capa dificulta la infiltración del agua, la cual se produce de forma preferencial en las zonas donde falta dicha capa o donde su espesor es más reducido (Plata, 1988).

Hidrogeología

El acuífero del Valle de Sébaco se desarrolla en una fosa cuya superficie se muestra aproximadamente rectangular, elongada en dirección NNE-SSW. En profundidad se ha descrito como un trapecio delimitado por sistemas de falla. La reconstrucción geológica presenta bloques escalonados que formaron la depresión, posteriormente rellenada. Se calcula una extensión de 263,33Km² en superficie. En profundidad el acuífero presenta un espesor

máximo de 110m, según un pozo de investigación (Tahal, 1977). Los bloques entre fallas forman montañas de rocas volcánicas terciarias las que se suponen impermeables cuando no han sufrido ninguna alteración. En la periferia del valle los pozos alcanzan la formación rocosa a unos pocos metros. En el centro del Valle las rocas han sido alcanzadas por debajo de los 100m.

Sedimentos de diferente granulometría conforman el acuífero del Valle de Sébaco: arcillas, limos, arena, gravas y bolones. De acuerdo con los registros litológicos, la distribución de estos sedimentos es irregular, por lo que es difícil determinar unidades acuíferas; por lo tanto, se toma el acuífero como una sola unidad heterogénea y anisotrópica, 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. La penetración de los pozos de explotación en el acuífero oscila entre los 40 y 80 metros sin llegar a penetrar el basamento. Presenta condiciones de acuífero libre en unas zonas de los bordes Este y Oeste del valle (Flores Meza, 2004).

La explotación del acuífero puede decirse que comenzó en 1969. El volumen total de agua extraída hasta finales de 1987 puede estimarse en unos

350 Hm³. La tasa de extracción de los últimos años es del orden de 40 Hm³/año. La transmisibilidad del acuífero es muy variable de unos puntos a otros, variando entre unas pocas decenas de m²/día hasta casi 3000 m²/día. No se tiene información directa sobre el coeficiente de almacenamiento y su valor se estima que puede estar comprendido entre 0,1 y 0,3 (Plata, 1988).

El Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER), a través del Proyecto “Red Hidrogeológica Nacional”, realiza el monitoreo de los niveles estáticos de agua (NEA) en el país. Para el Valle de Sébaco, se tiene información desde mayo 2003 a febrero 2012, obtenida de una red de monitoreo conformada por 33 pozos. En la Tabla 3, se reportan los mínimos y máximos para este periodo de medición (INETER, 2009), (INETER, 2012).

Tabla 3. Mínimos y máximos de NEA (m), de mayo 2003 a febrero 2012.

Fecha de medición	Mínimo	Máximo
may-03	4,50	39,86
mar-04	5,50	40,12
jul-04	6,17	44,48
oct-04	2,85	40,72
feb-05	6,06	41,30
jun-05	5,05	49,00
nov-05	3,80	45,50
may-06	5,75	38,85
oct-06	5,67	43,13
mar-07	5,25	43,70
jun-07	5,90	43,80
oct-07	2,52	42,70
jun-08	4,50	43,07
sep-08	4,27	42,36
oct-08	4,15	46,99
may-09	5,51	42,40
jul-09	5,40	42,30
sep-09	5,25	41,70
mar-10	4,76	43,46
jun-10	3,99	42,87
ago-10	3,47	42,72
sep-10	1,00	41,87
feb-11	1,03	31,52
feb-12	3,66	30,65
Mayo 2003- febrero 2012	1,00	49,00

2. METODOLOGÍA

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 reconocimientos Geológico, Hidrogeológico e Hidrológico.

Para el reconocimiento hidrológico se realizaron mediciones de caudales en tres sitios tanto en el Río Viejo como en el Río Grande de Matagalpa: la entrada del río al Valle, en la parte intermedia y en la salida del mismo del valle (Figura 6 y Tabla 4). Las mediciones se realizaron en una base mensual durante el periodo comprendido de enero a diciembre 2013, con excepción del mes de febrero. Se utilizó un molinete Gurley 627.

Tabla 4. Sitios de aforo en el Valle de Sébaco

No.	Fuente	Sitio	Coordenadas		
			Este	Norte	Elev. (m)
1	Río Viejo	La Perla	544280	1428697	471
2		Paso Real	589841	1419493	463
3		La Majadita	587666	1416858	451
4	Río Grande de Matagalpa	Puente Sébaco	597426	1420273	482
5		Paso Real	592152	1419962	474
6		El Zarzal	597425	1420067	476

El reconocimiento hidrogeológico incluyó la dinámica del agua subterránea la que se determinó a través del levantamiento de 162 objetos hidrogeológicos en el Valle de Sébaco, de los cuales 60 ya fueron clausurados o se encuentran abandonados o aterrados; quedando en uso 20 pozos excavados y 82 pozos perforados. De estos se seleccionó una red de monitoreo de 27 pozos (11 pozos excavados y 16 pozos perforados; Tabla 5, Figura 7). Los pozos perforados son mayoritariamente para irrigación de cultivos y un mínimo porcentaje para el suministro de agua potable a la población (pozos de ENACAL y comunales).

Se realizó la medición mensual (abril a diciembre 2013) de los niveles de agua de la red de pozos establecida. Se utilizó una sonda para medir niveles de agua, marca Solinst modelo 102.

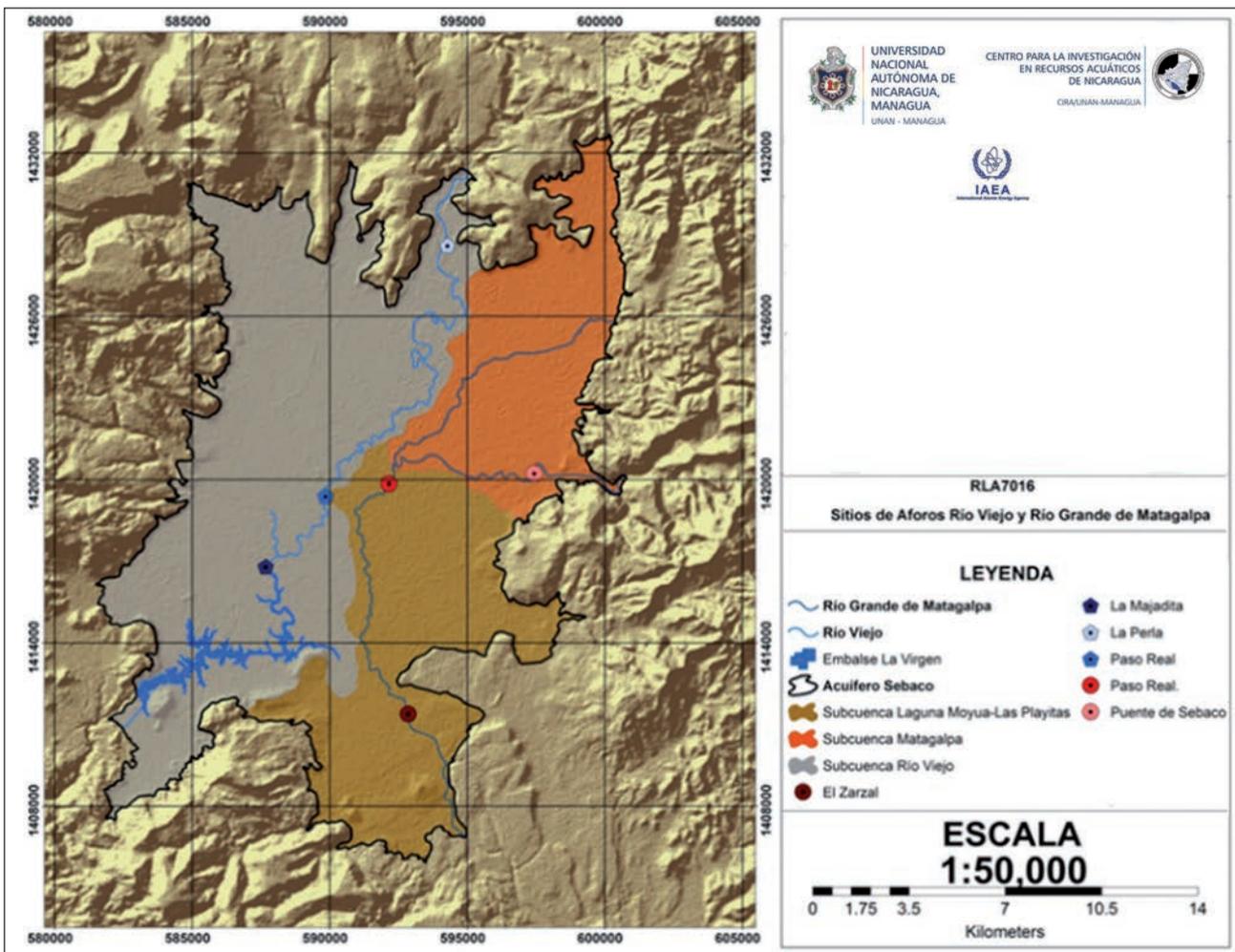


Figura 6. Sitios de Aforo en el Valle de Sébaco

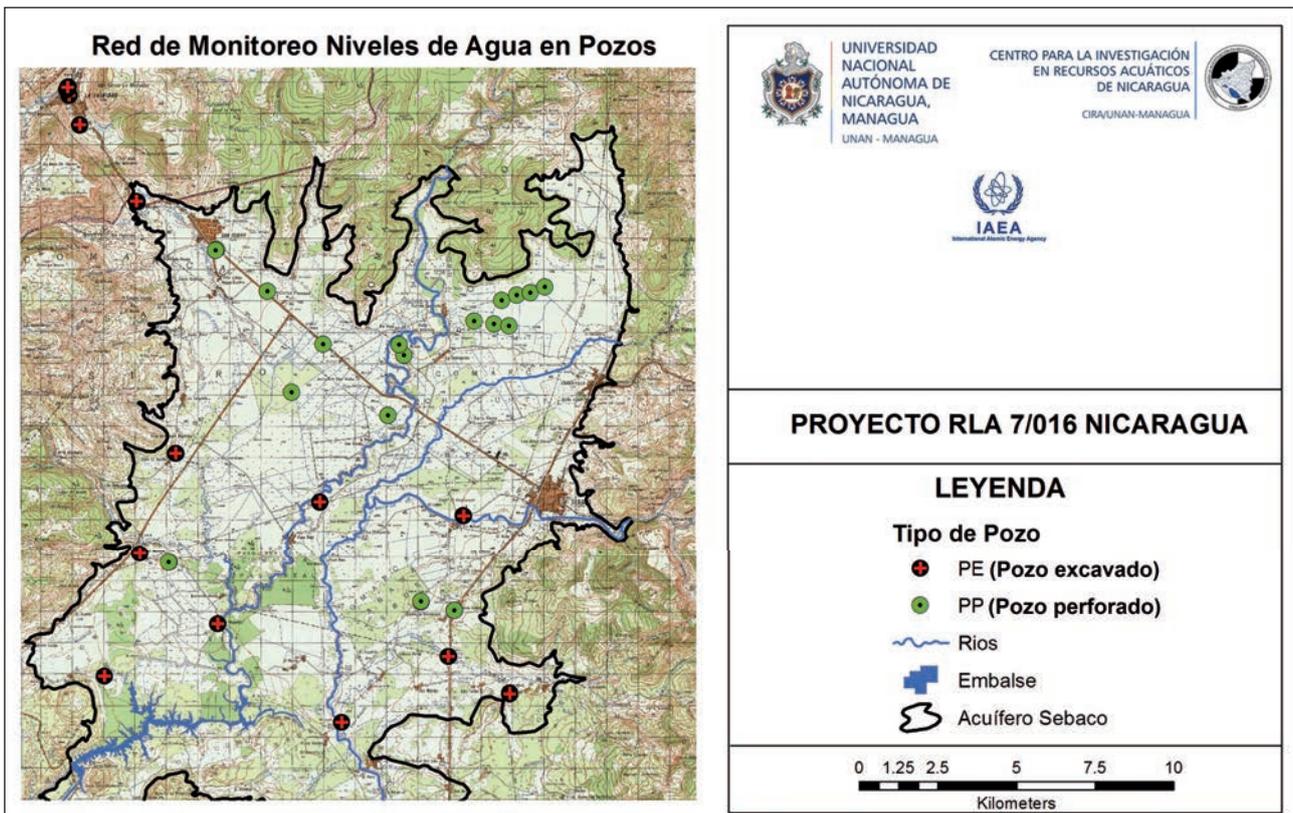


Figura 7. Red de monitoreo de pozos

Tabla 5. Red de monitoreo de pozos en el Valle de Sébaco, 2013

No.	Lugar	Propietario	Tipo	Este	Norte	Elev. (m)
1	San Isidro	ENACAL (Nº5)	PP	587605	1428859	488
2	San Isidro	ENACAL (Nº 7)	PP	587578	1428814	488
3	San Isidro	INATEC	PP	589217	1427504	461
4	Santa Rita-Sébaco	Samuel Mansen	PE	590875	1420759	458
5	La Central-Sébaco	José María Lira Moncada	PP	589984	1424281	467
6	El Jocote-Sébaco	Comunitario	PE	586294	1422326	473
7	Las Mangas	Hermenegildo Vílchez Lazo	PE	585153	1419088	468
8	Las Mangas	Acueducto ASOCAR	PP	586084	1418797	469
9	La Majadita	Virgilio Valdivia	PE	587631	1416807	453
10	Real de La Cruz	Vicitación Rojas	PE	584039	1415123	456
11	Sébaco	AGRICOR	PP	593054	1423539	471
12	Las Brisas del Río Viejo	Pozo comunal 1	PP	593565	1425462	479
13	Las Brisas del Río Viejo	Pozo comunal 2	PP	593403	1425792	453
14	Chagüitillo	ENACAL (S-3)	PP	596430	1426472	470
15	Chagüitillo	ENACAL (S-2)	PP	595799	1426555	472
16	Chagüitillo	ENACAL (S-4)	PP	596903	1426404	469
17	Chagüitillo	ENACAL (S-6)	PP	596679	1427218	469
18	Chagüitillo	ENACAL (S-7)	PP	597151	1427346	472
19	Chagüitillo	ENACAL (S-8)	PP	597579	1427463	471
20	Chagüitillo	ENACAL (S-10)	PE	598049	1427646	472
21	Sébaco	Berta Sánchez	PE	595447	1420326	451
22	Palos Verdes	Luis Zelaya Escalante	PE	591570	1413674	468
23	Santa Isabel	Pozo Comunal	PP	594094	1417530	463
24	Santa Isabel	Pozo Comunal	PE	595165	1417235	461
25	Quebrada Grande	Virgilio Flores Pérez	PE	594966	1415764	482
26	Apompuá	Tina Mairena	PE	596915	1414584	487
27	Santa Isabel	Pozo comunal (abandonado) 2	PP	595165	1417235	490
PP: pozo perforado			PE: pozo excavado			

Para determinar la disponibilidad hídrica en el Valle de Sébaco, se realizaron los balances hídricos superficial y subterráneo. La recarga potencial del acuífero se calculó mediante un balance hídrico de suelo, siguiendo la metodología matemática propuesta por Schosinsky y Losilla en el año 2000. Este método fue desarrollado para estimar la recarga de los acuíferos de Costa Rica. La ecuación desarrollada permite estimar la infiltración potencial (infiltración debida únicamente a la intensidad de lluvia y a la textura del suelo), integrando la interceptación de lluvia en las hojas, la infiltración básica del suelo, cobertura de la superficie y la topografía, para cada uno de estos lugares, mediante un coeficiente de infiltración. Este coeficiente, se determina mediante correlaciones de los datos obtenidos del análisis de bandas. Simplifica enormemente el procedimiento para el cálculo de la

precipitación que infiltra, la que es necesaria conocer, para determinar la recarga a los acuíferos, utilizando la infiltración básica de los suelos y la precipitación mensual de la zona. El no contar con dicha ecuación, implicaría realizar análisis diarios de las bandas pluviográficas. Esta ecuación, posiblemente puede utilizarse en algunas regiones de Centro América, donde el clima es similar (Schosinsky & Losilla, 2000).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Precipitación, Temperatura y Evapotranspiración

Las precipitaciones en el valle para el periodo 2000-2013, presentan una media anual de 940,59 mm; en los meses de julio-agosto se observa la disminución en la precipitación (105,10 y 104,73 mm, respectivamente).

La temperatura en el Valle de Sébaco, oscila la media entre 23 y 27°C para la serie de datos del 2000-2013, con máxima de 36,4°C para abril 2013. La evapotranspiración potencial fue calculada utilizando el método de Hargreaves (Hargreaves & Samani, 1985), teniendo como resultado 1315,73 mm, respectivamente en el periodo 2000-2013. Los meses de marzo a junio presentan la mayor evapotranspiración potencial correspondiéndose con las mayores temperaturas (Figura 8).

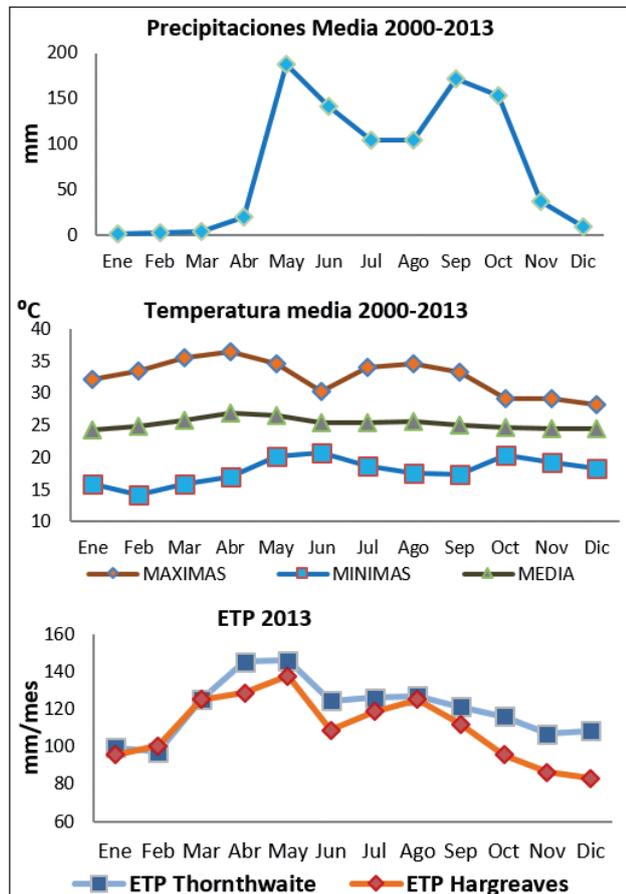


Figura 8. Datos de precipitación media, temperatura media y ETP calculada en el periodo 2000-2013. Datos obtenidos de estación meteorológica Raúl Gonzales/San Isidro 69132

Balance Hidrometeorológico

Para el balance hidrometeorológico se utilizó la serie de datos de precipitación y temperatura del 2000-2013, y el valor de la ETP calculada por el método de Hargreaves. Para el cálculo de la escorrentía se utilizó la expresión matemática ($E=(31.536 \times Q) / A$), que relaciona el caudal y el área de drenaje de cada microcuenca. La escorrentía esta expresada en mm/año.

En los meses de enero, febrero, marzo y abril el almacenamiento de agua es cero, debido a que las precipitaciones son prácticamente nulas.

La demanda de agua (por el tipo de suelo predominante) para estos mismos meses está en el

orden de 93 a los 125 mm; la ETP es mayor que las precipitaciones por lo cual la demanda de agua en el área de estudio tendrá que ser suplida con sistema de riego tanto de pozos como con la de los propios ríos. Los meses subsiguientes que están comprendidos en la época de mayores regímenes lluviosos (de mayo a octubre) las precipitaciones son mayores a la ETP, generando una diferencia entre estos (P-ETP) de 317,66 mm que podrán ser utilizados por las plantas, como escorrentía sub-superficial o recarga al acuífero. En este periodo la ETP es igual a la ETR, por lo que no hay excedentes ni déficits, salvo en los meses de septiembre y octubre que se sule la totalidad del almacenaje donde el agua no será infiltrada y esta se pierde por escorrentía superficial (64,7 mm). En los meses de noviembre y diciembre, en los cuales ha terminado el periodo lluvioso e inicia del periodo seco, las precipitaciones son menores a la ETP dando como resultado que la vegetación comienza utilizar el agua almacenada disminuyéndolas en un 69,82%; en el mes de octubre y en el mes de diciembre se habrán agotado las reservas existentes, iniciando la demanda de agua en 72,67mm (Figura 9).

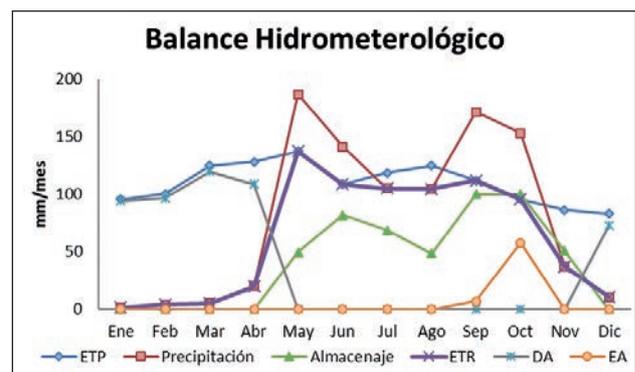


Figura 9. Comparación de las variables Evapotranspiración Potencial, Precipitación, Demanda Agua, Exceso de agua, Almacenaje, Evapotranspiración Real a partir de datos climáticos del periodo 2000-2013. Datos obtenidos de estación meteorológica Raúl Gonzales/San Isidro 69132. ETP: Evapotranspiración Potencial. ETR: Evapotranspiración Real. DA: Demanda de Agua. EA: Exceso de Agua. j

Caudal Superficial

Los sitios de aforos para el Río Viejo presentaron regímenes de escurrimiento bien definidos, con crecidas en varios meses del año de acuerdo con las precipitaciones y descarga desde el embalse de Apanás. Los caudales del Río Viejo (Figura 10) fluctúan en dependencia de la planta hidroeléctrica Centroamérica, y de las bombas instaladas en a lo largo del recorrido del río por el valle. Datos por la empresa hidroeléctrica HIDROGESA, contabilizan unas 180 a 200 bombas extrayendo agua en su mayoría para irrigar las áreas destinadas al cultivo de

arroz y en menor cantidad para las áreas destinadas a las hortalizas. El Río Viejo tiene un caudal medio anual que fluctúa de los 0,43 m³/s a los 28,47 m³/s; sin embargo, en su entrada al valle (sitio La Perla) su caudal medio es de 9,17 m³/s; en la parte central en la estación de aforo Paso Real tiene 11,09 m³/s; y en La Majadita, en la entrada del embalse La Virgen, 12,66 m³/s. La diferencia de caudal medio del Río Viejo entre su entrada al valle y su salida, corresponde a 3,15 m³/s; esto se explica por los caudales generados dentro del valle producto del drenaje producido por la cuenca y de las áreas de cultivo.

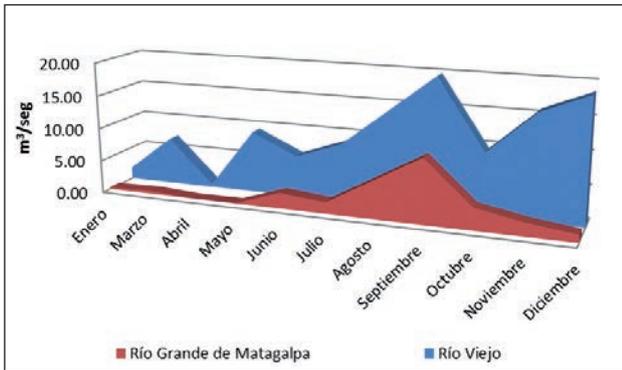


Figura 10. Caudales medio (m³/s) del Río Viejo y Río Grande de Matagalpa, periodo 2013

El Río Grande de Matagalpa, escurre con caudales muy variados a través del año, que van de 0,02 a 9,68m³/s. La estación de aforo ubicada en Puesto de Sébaco en la entrada del Valle tiene caudales promedio 3,39 m³/s, en Paso Real de 2,11 m³/s y en El Zarzal de 1,98 m³/s. En esto destaca la reducción del caudal a cero para los sitios Paso Real y El Zarzal para los meses de marzo a mayo el cual está influido los materiales en el lecho del mismo, que permiten la infiltración (río influente o perdedor); y también las pozas realizadas por los agricultores en las orillas del río, a través de las cuales bombean agua para irrigar sus campos de cultivos (Figura 10).

Dinámica de flujo subterráneo

Para la determinación de la dinámica subterránea se midieron mensualmente los niveles de pozos durante un año hidrológico, desde marzo hasta diciembre del año 2013. Durante el mes de marzo se describe una descarga del agua subterránea hacia la parte central del valle en dirección al embalse La Virgen (Figura 11a). Para el mes de abril 2013 es evidente la influencia del bombeo con una disminución del nivel freático de 10m en el área del Río Grande de Matagalpa y en el norte del valle. En el campo de pozos de ENACAL en Chagüitillo, se registró un descenso de 36,26 metros (abril 2013). La descarga se realiza principalmente en dirección al Río Grande de Matagalpa (Figura 11b). Durante el mes de mayo 2013 se intensifica el bombeo. Se produce recarga

desde el embalse La Virgen a los pozos cercanos (Figura 11c). En junio 2013 puede verse la influencia de la recarga desde las partes altas, los niveles freáticos aumentan hasta 10m en las cercanías de San Isidro y cerca de la entrada de los ríos. Las curvas piezométricas se suavizan describiendo un flujo horizontal de agua (Figura 11d). Con *La Canícula* (de julio a agosto), se observaron descensos desde 14,80 hasta 20,23 metros en San Isidro, donde se localizan la mayoría de los pozos de explotación para riego de arroz. Los meses de septiembre a diciembre 2013, los pozos familiares se comportan de la misma manera, respondiendo directamente a la recarga por precipitación aumentando en 5m el nivel freático en el centro del valle (Figura 11e). En Chagüitillo, el nivel descendió hasta 27,01 m (octubre 2013).

Balance Hídrico y Disponibilidad en el Valle de Sébaco

El Balance Hídrico de una cuenca, se basa en el cálculo de las entradas y salidas del agua durante un período de tiempo determinado, así como también del almacenamiento al inicio y al final del periodo. La ecuación general es la siguiente:

$$\Sigma Entradas - \Sigma Salidas = \Delta Almacenamiento$$

Donde la **ΣEntradas** comprende: la recarga potencial, el retorno por bombeo de ríos y pozos, y la recarga por los lechos de los ríos. La incluye: el bombeo del acuífero para suministro de consumo humano e irrigación, y de los ríos.

Recarga potencial

La recarga potencial fue calculada por balance hídrico de suelo, siguiendo la metodología matemática propuesta por (Schosinsky & Losilla , 2000), en la cual se toman condiciones del medio como son tipo de suelo, vegetación, precipitación, pendiente, infiltración básica, evapotranspiración potencial, evapotranspiración real. El balance de suelo indica una recarga de 11 Mm³/año para el valle (Tabla 6). La recarga ocurre en las márgenes noroeste, oeste y sureste del mismo.

Tabla 6. Recarga Potencial, por balance hídrico de Suelo en el Valle de Sébaco 2013. Método (Schosinsky & Losilla , 2000).

Tipo de suelo	Recarga Potencial (mm)	Área (Km ²)	Rp (Mm ³ /año)
Vertisol	0,00	152,46	0,00
Inceptisol	0,17	30,31	5,20
Entisol	0,21	3,65	0,78
Alfisol	0,29	17,57	5,03
Molisol	0,00	79,65	0,00
Total			11,00

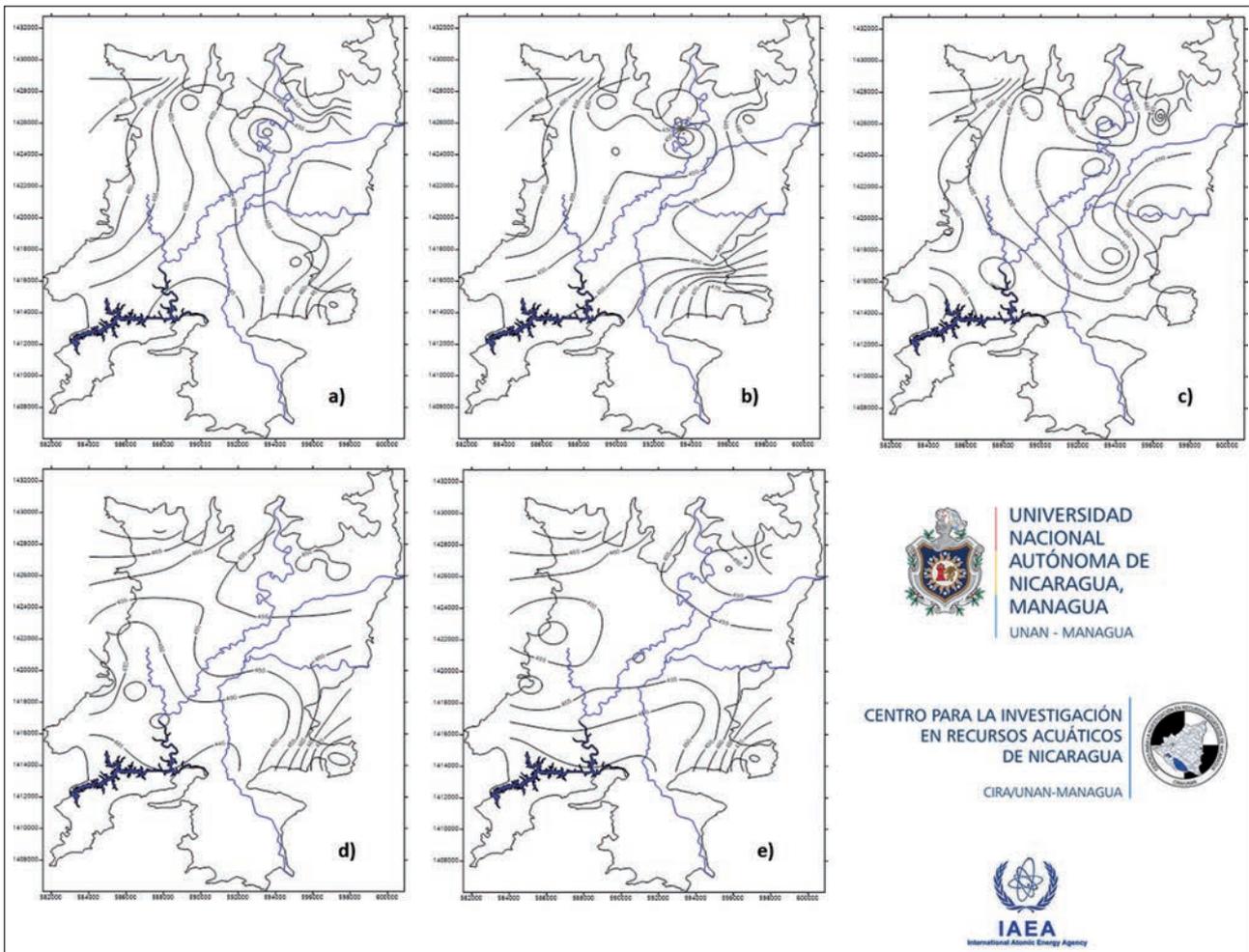


Figura 11. Niveles freáticos en el Valle de Sébaco.
a) marzo 2013; b) abril 2013; c) mayo 2013; d) junio 2013; e) de julio-diciembre 2013.

Recarga por retorno de extracciones de pozos y ríos

Los datos obtenidos de extracción por bombeo de pozos fueron obtenidos de fuentes secundarias, las cuales dan un estimado de las extracciones reales que se dan dentro del valle. De la escorrentía del Río Viejo que fluye en el tramo comprendido dentro del Valle de Sébaco, se extraen unos 64 Mm³ para riego de arroz y hortalizas, esencialmente; mientras que del Río Grande de Matagalpa se extraen unos 2.7 Mm³ para el mismo fin. De todos los pozos del valle, se estima una extracción de 6,09 Mm³ para el suministro de agua potable para consumo humano, y de 73,49 Mm³ para irrigar los cultivos.

La recarga generada por el retorno por bombeo (Tabla 7) tanto de ríos como por pozos para la irrigación, se estimó en base al 15% de las extracciones realizadas. Se tiene que las extracciones de ríos 10,00 Mm³. De las extracciones por pozos sólo se calcula el retorno en base al riego agrícola ya que no se conoce cuáles son las pérdidas por filtraciones en el sistema de distribución de agua para consumo humano, de esto se tiene que 11,02 Mm³ que retorna por infiltración. El retorno puede ocurrir tanto por infiltración de río como de los campos de irrigación.

Tabla 7. Extracciones por bombeo de pozos y ríos para irrigación, y cálculo de la recarga por retorno de dichas extracciones.

Detalle	Extracción (MMC/Año)	Área Regada (Km ²)	Total recarga de Retorno (Mm ³ /año)
Extracción Bombeo en pozos	73,49	174,73	11,02
Extracción Bombeo Río Viejo	64	61,5	9,6
Extracción Bombeo Río Grande de Matagalpa	2,7	-	0,40
Total			21,02

Recarga por infiltración de los Ríos Viejo y Grande de Matagalpa

La recarga producida por los ríos se realizó partiendo de su carácter de influentes y que ambos atraviesan todo el valle. Por las estaciones de aforo se conoció la dinámica de flujo que predomina en los ríos; por los

materiales predominantes en ambos ríos (bolones y arena gruesa) se obtuvo un coeficiente de infiltración de 0,2. El cálculo se obtiene en base a 702,47 Mm³ que escurren tanto el Río Viejo como Río Grande de Matagalpa. Lo que da una recarga total de 139,75 Mm³ anuales (Tabla 8).

Tabla 8. Recarga por infiltración de Ríos Viejo y Grande de Matagalpa

Sitio	Longitud (km)	Ancho (km)	Recarga por infiltración en Río (Mm ³)	Recarga Total (Mm ³ /año)
Río Viejo	40,38	0,03	107,41	130,12
Río Grande de Matagalpa	29,10	0,01	33,08	9,63
			Total	139,75

Balance Hídrico

De los ingresos al sistema se obtienen 171,78 Mm³ procedentes en su mayoría de la recarga por los Ríos Viejo y Grande de Matagalpa, producto que estos han: a) excavado la capa superficial de arcilla, b) han llegado a capas donde ésta es más reducida o c) llegado a capas de mayor permeabilidad aumentando la infiltración y por ende la recarga, de lo cual fue mucho mayor que la recarga potencial por infiltración de lluvia; ésta es influida notablemente por la evapotranspiración potencial y el tipo de suelo predominante en el valle.

Las salidas cuantificadas tanto por bombeo de pozos para irrigación y para consumo humano, y propiamente del bombeo de ambos ríos fue cuantificada en 146,28 Mm³ anuales. Cabe mencionar que los valores de extracción se obtuvieron de información secundaria, la cual nos da solo un estimado de las extracciones reales en el valle; de lo cual se tiene un excedente disponible en el valle de 25,50 Mm³ (Tabla 9).

Tabla 9. Balance Hídrico Valle de Sébaco

Entradas	Mm³
Recarga potencial (Rp)	11,00
Retorno Bombeo Río Viejo	9,6
Retorno Bombeo Río Grande de Matagalpa	0,40
Retorno Bombeo de pozos	11,02
Recarga por lechos de Ríos	139,75
Total	171,78
Salidas	Mm³
Bombeo pozos (consumo humano)	6,09
Bombeo Río Viejo	64,00
Bombeo Río Grande de Matagalpa	2,70
Bombeo en Pozos (irrigación)	73,49
Total	146,28
Disponibilidad (ΔV)	25,50

4. CONCLUSIONES

En los meses de enero, febrero, marzo y abril las precipitaciones en el valle son mínimas y la ETP es mayor (correspondiéndose con las mayores temperaturas), por lo que el almacenamiento de agua es cero y la demanda tendrá que ser suplida con los sistemas de pozos y bombeo de ríos. En los meses de mayo a octubre, las precipitaciones son más abundantes por lo que habrá una recarga al acuífero, con excepción de los meses de septiembre y octubre en donde el excedente se perderá como escorrentías superficiales.

Los caudales del Río Viejo dependen de la descarga de la planta hidroeléctrica Centroamérica y de la extracción que realizan las bombas instaladas a lo largo del río. El ligero incremento de caudal del Río Viejo a su entrada en el Valle de Sébaco con respecto a su salida, es producido por el drenaje de la cuenca y las áreas de cultivo. En cuanto al Río Grande de Matagalpa, los caudales son muy variados durante el año, debido a la recarga por infiltración y a la irrigación de cultivos; reduciéndose a cero en la parte media y a la salida del río en el valle en los meses de marzo a mayo.

Los descensos en los niveles de agua van desde 3,46 a 15,43 m en los pozos familiares y/o comunales para el mes de abril, de finalización del verano. En el caso de los pozos de ENACAL para suministro de agua potable a la población, en San Isidro (en el norte del valle, en donde se localizan la mayoría de los pozos de producción) se observan descensos van desde 14,80 a 20,23 m (julio 2013, que se corresponde con *la canícula*): y en los pozos de ENACAL Chagüitillo de 27,01 m (octubre 2013) a 36,26 m (abril 2013).

La actualización hidrogeológica indica un cambio en la dirección del flujo subterráneo y la disminución en los niveles de agua del acuífero, conforme la estación del año. La mayor explotación subterránea se localiza en el centro del valle, en donde se encuentran ubicados los pozos de explotación agrícola, y en el campo de pozos de Chagüitillo, utilizado para el suministro de la población de la ciudad de Matagalpa.

La recarga por retorno por bombeo de los pozos es similar a la recarga potencial por precipitación. La recarga efectiva al acuífero es a través de las contribuciones por infiltración de los lechos de los ríos, principalmente del Río Viejo a través de las descargas de la planta Centroamérica.

La mayor extracción en el valle se realiza por el bombeo de los pozos para irrigación (73,49 Mm³), y sólo 6,09 Mm³ se extrae del acuífero para consumo humano; por lo que la explotación del agua subterránea ha sobrepasado la recarga directa por precipitación, y por ende lo que se está extrayendo es parte de las reservas del acuífero, complementada con el bombeo de los ríos y el retorno por riego.

En 2002, se concluyó que para minimizar el rebajamiento del acuífero se debe mantener la explotación actual de 72 Mm³; cifra que en el 2013 es 2,03 veces mayor (146,28 Mm³); por lo que se recomienda disminuir los volúmenes de explotación e implementar medidas de protección y recuperación del recurso hídrico, debido a que el volumen disponible (25,5 Mm³) equivale a un 17.43% del volumen total de agua (superficial y subterránea) considerada como salidas del balance hídrico.

5. AGRADECIMIENTOS

Al Organismo Internacional de Energía Atómica, a través del Proyecto RLA/7/016 "Empleo de isótopos para la evaluación hidrogeológica de los acuíferos excesivamente explotados en América Latina (CXXVII)". Informe de Nicaragua: "Balance Isotópico e Hidrogeológico del Acuífero del Valle de Sébaco, Nicaragua".

A Catholic Relief Services (CRS), por su colaboración en la realización de este estudio; en especial a los Ingenieros Juan Adrián Riveray Ariel Espinoza, por su acompañamiento durante las campañas de monitoreo mensual y muestreo realizadas para la ejecución de este estudio.

A la Empresa Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados (ENACAL), delegación departamental de Matagalpa, por su colaboración al permitirnos monitorear los campos de pozos Chagüitillo y Santa Isabel, que proveen el suministro potable para consumo humano de Matagalpa y Ciudad Darío, respectivamente. Así como también del campo de pozos de San Isidro, que abastece al municipio de San Isidro.

Al personal del Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua (CIRA/UNAN-Managua), en especial a todo el personal del **Laboratorio de Hidrogeología**, quienes realizaron

todas las actividades de campo, monitoreo mensual, muestreo hidroquímico e isotópico, así como la redacción del informe. Al MSc. Yader Caballero del Laboratorio de Radioquímica Ambiental por su colaboración durante el muestreo isotópico; al Laboratorio de Aguas Naturales y Aguas Residuales por los análisis hidroquímicos de las muestras de agua, y al Laboratorio de Contaminantes Orgánicos por la custodia de las muestras isotópicas.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Flores Meza, Y. 2004. *Criterios Hidrogeológicos para la Formulación del Plan de Gestión en el Acuífero del Valle de Sébaco*. Managua: Tesis de Maestría.

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 Sébaco, Matagalpa*. Managua: Tesis de Maestría.

Hargreaves, G., & Samani, Z. 1985. *Crop evapotranspiration from ambient air temperature*. American Society of Agricultural Engineers.

INETER. 2009. *Proyecto "Red Hidrogeológica Nacional"*. Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales, Departamento de Hidrogeología. Managua: Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales.

INETER. 2012. *Proyecto "Red Hidrogeológica Nacional"*. Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales, Departamento de Hidrogeología. Managua.

Köppen, W. 1936. *Updated Köppen-Geiger climate map of the world*. Obtenido de The University of Melbourne: <http://people.eng.unimelb.edu.au/mpeell/koppen.html>

MARENA-PNUD. 2000. *Evaluación de la vulnerabilidad y adaptación de los recursos hídricos de Nicaragua ante el cambio climático*. Managua.

Plata, A. 1988. *Hidrología Isotópica del Acuífero Aluvial del Valle de Sébaco. Proyecto NIC/8/002*. Viena: Sección de Hidrología Isotópica, Organismo Internacional de Energía Atómica.

Red IANAS y FCCyT. 2012. *Diagnóstico del Agua en las Américas*. México.

Schosinsky, G., & Losilla, M. 2000. Modelo Analítico para Determinar la Infiltración con Base en la Lluvia Mensual. *Revista Geológica de América Central*, 23: 43-55,.

Tahal, C. E. 1977. *Estudio Hidrológico del Valle de Sébaco*. Managua.