



## Estimación de la disponibilidad hídrica superficial en la microcuenca del río Mapachá, San Lorenzo, Boaco

Raquel Izabá-Ruiz<sup>1\*</sup>, Dimas García<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua.

### RESUMEN

La disponibilidad hídrica en las cuencas de Nicaragua está influenciada por las características geológicas, uso de suelo y actividades antropogénicas como la agricultura y la ganadería. En el presente estudio se estimó la disponibilidad hídrica en la microcuenca del río Mapachá, San Lorenzo-Boaco, Nicaragua. Se realizó reconocimiento hidrológico y geológico de la microcuenca. Se midió el caudal en siete puntos en los ríos principales. Adicionalmente, se llevaron a cabo pruebas de infiltración por el método del doble anillo para determinar la capacidad de infiltración de los diferentes tipos de suelos. El Balance Hídrico de Suelo (BHS), se calculó por el método de Schosinsky (2006), a partir de los resultados de las pruebas de infiltración (I), precipitación (P) y temperatura (T) del

período comprendido entre 1995-2011. Los resultados mostraron que las mayores pérdidas de agua se dan por la evapotranspiración real (ETR), escorrentía superficial (ESC) y recarga potencial (Rp) que corresponden al 75%, 17% y 7% de la precipitación total, respectivamente; resultando una disponibilidad de 0.30 millones de metros cúbicos al año (MMCA); lo que se refleja en la falta de caudal base en los principales ríos. Concluyendo que la recarga potencial del acuífero y el flujo base en los ríos son influenciados por las condiciones naturales de la microcuenca.

**Palabras Clave:** Balance hídrico superficial; flujo base; geología; recarga potencial; uso del suelo.

### ABSTRACT

Water availability in the Nicaraguan basins is influenced by geological characteristics, land use and anthropogenic activities such as agriculture and livestock. In the present study there was an estimated water availability in the microbasin of the Mapachá River, San Lorenzo-Boaco, Nicaragua. Hydrological

and geological survey of the microbasin was carried out. The river flow was measured at seven points in the main tributaries. Additionally, ten infiltration tests were performed by the double ring method to determine the infiltration capacity of the different soil types. The Soil Water Balance

#### <sup>1</sup> Datos del autor

**Teléfono:** +(505) 89049246 (R. Izabá-Ruiz).

**Correo electrónico:** raquel.izaba@cira.unan.edu.ni (R. Izabá-Ruiz)\*.  
dimas.garcia@cira.unan.edu.ni (D. García).

Recibido: 11/07/2017 / Aceptado: 23/08/2018

(SWB) was calculated by the Schosinsky method (2006), based on the results of the infiltration (I), precipitation (P) and temperature (T) tests for the period 1995-2011. The results showed that the highest water losses are due to real evapotranspiration (ETR), surface runoff (ESC) and potential recharge (Rp) corresponding to 75%, 17% and 7% of the total precipitation, respectively; resulting in

an availability of 0.30 million cubic meters per year (MMCA); what is reflected in the lack of base flow in the main tributaries. Concluding that, the potential recharge of the aquifer and the base flow in the rivers are influenced by the natural conditions of the microbasin.

**Keywords:** Surface water balance; base flow; geology; potential recharge, land use.

## INTRODUCCIÓN

El balance hídrico superficial contribuyen a comprender la dinámica del ciclo hidrológico dentro de una cuenca hidrográfica y a la vez permite la estimación de la disponibilidad hídrica en la misma (Marini & Piccolo, 2000). La litología de las cuencas y los cambios de la cubierta vegetal provocados por actividades antropogénicas como la agricultura y la ganadería afectan significativamente los componentes del balance hídrico superficial (Lenters, Coe, & F, 2000; Markich & Brown, 1998). En Nicaragua la disponibilidad hídrica en las cuencas está influenciada por las características geológicas y por el uso de suelo (Flores & Guatemala, 2012). Asimismo, el potencial de aguas superficiales están impactadas por actividades antropogénicas como la agricultura y la ganadería ocurriendo como consecuencia una reducción en la recarga a los acuíferos y por consiguiente el caudal base de los ríos. (Delgado, Calderón, Flores, & Salvatierra, 2010; Caballero, 2009). Otro factor influyente en el potencial de las aguas superficiales de la cuencas son los procesos erosivos, provocados por consecuencia de la deforestación de las áreas boscosas para el establecimiento de pastizales y cultivos anuales (Caballero, 2016).

El presente estudio se realizó en la microcuenca del río Mapacha, municipio de San Lorenzo, Boaco. En la microcuenca

Mapachá, el uso potencial de suelo es forestal; sin embargo, su uso actual prevalece los pastizales y agricultura de autoconsumo. Por otro lado, presenta fuertes pendientes y con geología predominante de la roca fracturada donde presentan basaltos, andesitas-basaltos principalmente. La mayoría de los ríos son de régimen intermitente, predominando el caudal base sobre todo en los meses de septiembre y octubre. Estas condiciones geológicas, de cobertura vegetal y fuertes pendientes que pueden influir en las condiciones de recarga al acuífero y por consiguiente en el flujo base de los ríos.

En el municipio de San Lorenzo para garantizar la sostenibilidad del medio ambiente y consecuentemente de los recursos hídricos, se ha trabajado en aplicar estrategias a través del plan ambiental municipal, sobre la protección y conservación de las fuentes de agua y así asegurar la cobertura del servicio de agua y mejorar la calidad para el consumo humano (AMSL, 2006). Se identificaron 11 comunidades con 1 875 personas en 375 viviendas, cuyas principales actividades económicas son la agricultura de autoconsumo y la ganadería, las cuales dependen de la disponibilidad del agua en la zona (Izabá-Ruíz, 2016). En este contexto, este estudio tuvo como objetivo estimar la disponibilidad hídrico superficial en la microcuenca del río Mapachá con el propósito que estos hallazgos sean utilizados

por las autoridades locales y gubernamentales como herramienta para el diseño de un plan de gestión de los recursos hídricos en el que implementen alternativas de manejo integrado de cuencas, para mejorar las condiciones de las aguas superficiales en la microcuenca del río Mapachá.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

La microcuenca del río Mapachá tiene 54 km<sup>2</sup> de área y está ubicada en el municipio de San Lorenzo, departamento de Boaco. Forma parte de la unidad hidrográfica 952558 (río Tecolostote) que pertenece a la cuenca 952 (cuenca de río San Juan) (INETER, ANA, UNI, & Cooperación Alemana GIZ/PROATA, 2014), con coordenadas 638355 E 1360599 N en la parte alta y 644237 E 1354432 N en la parte baja. El río Mapachá es el río principal de la

microcuenca, tiene una longitud de 6 km, desde su nacimiento al NE, hasta su desembocadura con el río Tecolostote. Su lecho es poco profundo y en época seca pierde su caudal base o sea es de régimen intermitente. La red hídrica de la microcuenca Mapachá comprende al río principal y sus 23 tributarios, de los cuales 18 ríos son de orden 1, tres de orden 2 y dos de orden 3. Sus principales tributarios son: Las Lajas, El Guabo, Las Guabas y El Terrero (Figura 1).

La mayoría de los ríos tributarios son de régimen intermitente y presentan caudal base en la época lluviosa, principalmente en los meses de septiembre y octubre. En la época seca solamente presentan caudal base los ríos Las Guabas ubicado al NE en la parte alta de la microcuenca y Las Lajas ubicado en la parte media (Izabá-Ruiz, 2016).

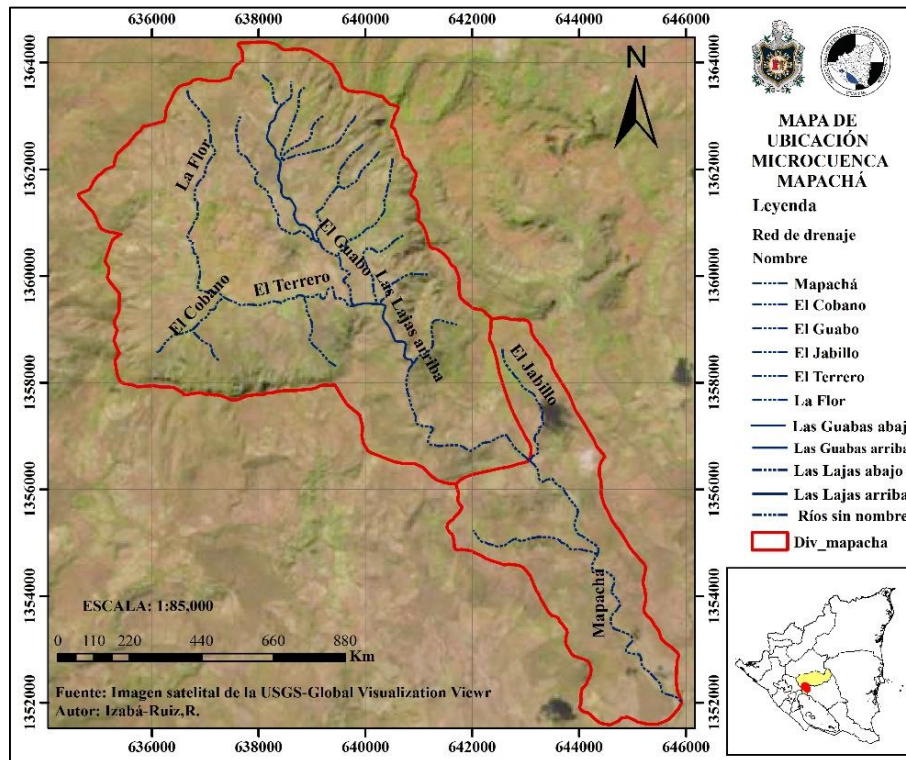


Figura 1. Área de estudio y red hídrica de la microcuenca del río Mapachá en San Lorenzo, Boaco.

La geología predominante pertenece a la Provincia Geológica Central o Tierras Altas del Interior, de terreno abrupto, moderado hasta muy escarpado, con pendientes entre 15-75% (promedio 34 %). La geología se encuentra afectada por un sistema de fallas ubicadas en la parte NE y NO en la caldera, con otra conjugación de fallas identificada en la parte media-baja (Figura 2) (Izabá-Ruiz, 2016). El relieve es fuertemente accidentado, resultado de un sistema de fallas denso y complejo con elevaciones máxima y mínima de 923 y 71 msnm, respectivamente (Fenzl, 1989). Estas características favorecen al aumento de la escorrentía superficial (González & Guerra, 2002). La parte alta de la microcuenca está representada por una caldera volcánica

inactiva. Las principales rocas son flujos de basaltos compactos, andesitas-basaltos y flujo de lavas piroclásticas que descansan sobre formaciones sedimentarias terciarias, cubiertas por depósitos cuaternarios (coluviales y aluviales) que rellenan las zonas planas y valles de los ríos (Krásný & Hecht, 1989; Fenzl, 1989). La vocación del suelo es forestal y pecuaria con un 94% y 6%, respectivamente. Sin embargo, su uso actual es mayoritariamente para siembra de pastizales (61%), tacotales (25%); cultivos anuales, bosque abierto latifoliado y vegetación arbustiva (14%). Los tipos de suelo predominantes son molisoles y alfisoles con un 97% y 3%, respectivamente (WRB, 2007).

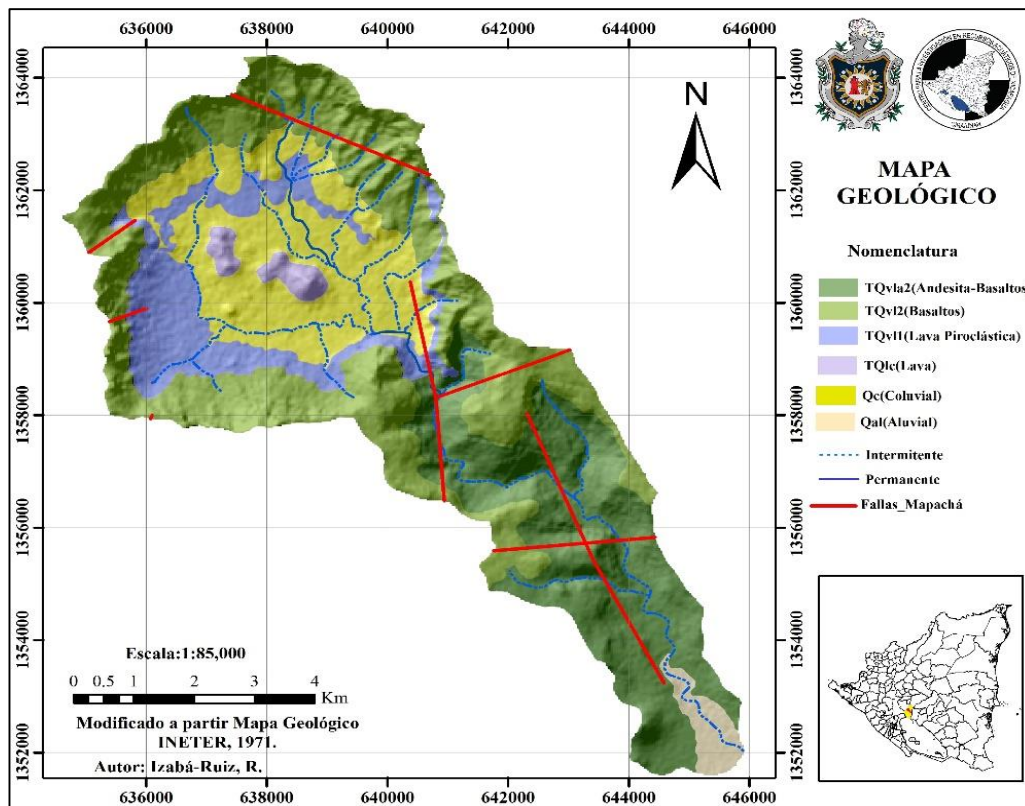


Figura 2. Mapa geológico de la microcuenca del río Mapachá.

## Datos ambientales: Precipitación y Temperatura

Los datos de precipitación se obtuvieron a través de la base de datos meteorológica del Instituto Nicaraguense de Estudios Territoriales (INETER). Se seleccionaron cinco estaciones pluviométricas distribuidas en torno a la microcuenca: San Lorenzo, Las Canoas, Teustepe, El Cascabel y Tecolostote. La serie de datos analizada comprende el período entre 1995 y 2011; con excepción de la estación El Cascabel en la que se analizaron los registros de 1995 a 2009. Se estimó la precipitación media de la zona a través de la distribución espacial por el métodos de las isoyetas (OMM, 1994), utilizando el software ARGIS 10.1. Se utilizaron los datos de temperatura de la

estación Juigalpa con código 69034 por ser la más cercana del área de estudio. Los datos analizados corresponden al período comprendido de 1995 al 2011 (INETER, 2013). La evapotranspiración potencial (ETP) se determinó por el método de Hargreaves (Hargreaves & Samani, 1985).

## Reconocimiento hidrológico y geológico

Se realizó una gira de reconocimiento del área de estudio en junio-2013, corroborando la red hídrica (Figura 1). Esta actividad permitió definir el orden de los tributarios; así como definir los siete puntos de medición de caudal (Tabla 1): También se identificaron las unidades geológicas, tipos de rocas, fallas y fracturas, así como el rumbo y buzamiento de las mismas (Figura 2).

Tabla 1

Ubicación geográfica de los puntos de monitoreo en el río principal y en los tributarios en la microcuenca del río Mapachá.

ID	Nombre del río	Coordenadas		Elevación msnm
		N	E	
1	Las Guabas	1362068	638384	321
2	El Guabo	1360247	639533	237
3	Las Lajas aguas arriba	1358938	640484	223
4	Las Lajas aguas abajo	1357618	640864	198
5	Mapachá aguas arriba	1356440	643164	153
6	Mapachá Centro	1354658	644261	112
7	Mapachá a 100 metros	1352130	645786	92

## Determinación de los componentes del Balance Hídrico Superficial

### Caudales (Q) en ríos

Los caudales se midieron haciendo aforo en los ríos por el método del molinete en la época lluviosa junio, agosto y octubre del 2013 y en la época seca febrero y marzo de

2014 ; esto con el fin de tener representatividad del régimen hídrico del río en los meses de mayor pluviosidad y sequía, respectivamente. Se utilizó un molinete Gurley Pigmeo modelo 625 para flujos menores y uno Scientific Instruments Inc. modelo tipo AA, para flujos mayores.

Para la determinación de caudales ( $Q$ ), se calculó la velocidad de la corriente de agua por una sección transversal del río, utilizando

las ecuaciones (1 y 2) para cada molinete establecidas por los fabricantes (Tabla 2).

Tabla 1

Molinetes y ecuaciones utilizadas para medir la velocidad del agua en los ríos estudiados en la microcuenca del río Mapachá.

Molinetes	Ecuación de velocidad (m.s <sup>-1</sup> )
Gurley Pigmeo modelo 625	$v = (0.2927 * n + 0.0095)$ (1)
Scientific Instruments Inc. modelo tipo AA	$v = (n * 2.2048 + 0.0178 * 0.0348)$ (2)

Se calculó el caudal ( $Q$ ), utilizando la ecuación propuesta (3) por (Turnipseed & Sauer, 2010):

$$Q = \sum v_i * A_i \quad (3)$$

Donde  $v$  es la velocidad de la corriente (m.s<sup>-1</sup>) y  $A$  el área de la sección trasversal (m<sup>2</sup>), la cual se calculó utilizando la siguiente ecuación (4):

$$A = b * h \quad (4)$$

Donde  $b$  es el ancho (m) y  $h$  la altura (m).

### Pruebas de infiltración

Se realizaron diez pruebas de infiltración en febrero de 2014 por el método de doble anillo (Johnson, 1991) distribuidos en toda la microcuenca de acuerdo al tipo de suelo. Se realizaron nueve pruebas en el tipo molisol y una prueba en el tipo alfisol (Tabla 3). Se realizó un reconocimiento de la pendiente y cobertura vegetal predominante en el área cercana al punto donde se realizaron las pruebas. Esta información se utilizó para determinar el coeficiente de infiltración propuesto por (Schosinsky & Losilla, 2000).

### Balance hídrico superficial

La determinación del balance hídrico superficial se basa en el principio de conservación de masa (UNESCO, 1981):

$$P - ESC - Q_{subsup} - \Delta S = 0 \quad (5)$$

Donde  $P$  es la precipitación (mm);  $ESC$  es la escorrentía superficial (mm);  $Q_{subsup}$  (mm) es el agua que interviene en la zona no saturada y está representada por la siguiente ecuación (6):

$$Q_{subsup} = I = ETR + R_p + AgD \quad (6)$$

donde:  $I$  es la infiltración (mm),  $ETR$  la evapotranspiración real (mm),  $R_p$  es la recarga al agua subterránea (mm) y  $AgD$  es el agua disponible (mm). Al sustituir  $I$  (6) en la ecuación (5) se obtiene (7):

$$P - ESC - (ETR + R_p + AgD) - \Delta S = 0 \quad (7)$$

En la ecuación 7, el término de  $AgD$  se desprecia ya que está estipulado en el método del Balance Hídrico de Suelo (BHS) de (Schosinsky G. , 2006), obteniéndose la ecuación (8):

$$P - ESC - ETR - R_p - \Delta S = 0 \quad (8)$$

Donde  $\Delta S$  es el agua superficial disponible en mm.

Para determinar la evapotranspiración real ( $ETR$ ) en el balance hídrico de suelo (BHS) se calculó la evapotranspiración potencial ( $ETP$ ) con los datos de temperatura a través del método de Hargreaves (Hargreaves & Samani, 1985):

$$ETP = 0,0023(t_{med} + 17,78)RO * (t_{max} - t_{min})^{0.5} \quad (9)$$

Tabla 2

Ubicación geográfica de los puntos seleccionados para las pruebas de infiltración en la microcuenca del río Mapachá.

Punto	Fecha	Nombre de la ubicación	N	E	Elevación msnm
1	10/02/2014	La Uva	1388340	638811	268
2	10/02/2014	Las Lajas	1362064	638347	324
3	11/02/2014	La Pita	1363030	638849	427
4	11/02/2014	El Aguacate	1361366	640509	357
5	12/02/2014	Las Guabas	1361539	636055	336
6	12/02/2014	Los Bajos	1359195	636662	272
7	13/02/2014	Las Lajas	1358462	640814	232
8	13/02/2014	El Tigre	1356802	642063	170
9	14/02/2014	Mapachá	1355189	644076	126
10	14/02/2014	San Antonio	1353566	645153	89

Donde **ETP** es la evapotranspiración potencial (mm),  $t_{med}$  la temperatura media (°C),  $t_{max}$  es la temperatura máxima (°C);  $t_{min}$  la temperatura mínima (°C) y  $RO$  la radiación extraterrestre ( $mes.m^{-2}.día^{-1}$ ).

Con los resultados de las pruebas de infiltración se determinó la infiltración efectiva por el método propuesto por Schosinsky & Losilla, 2000, ecuación (10):  $I = 1 - Ki * C * P \dots\dots (10)$

Donde **I** es la Infiltración ( $mm. día^{-1}$ ), **C** el Coeficiente de Infiltración, **Ki** la fracción interceptada por el follaje y **P** es la precipitación (mm); **C** está representado por la ecuación (11):

$$C = Kp + Kv + Kfc \quad (11)$$

donde **Kp** es fracción que infiltra por efecto de pendiente, **Kv** es fracción que infiltra por efecto de cobertura vegetal, **kfc** es fracción que infiltra por textura del suelo; por lo tanto, al sustituir **C** en la ecuación 10, ésta se convierte en la ecuación (12):

$$I = 0,88 * C * P \quad (12)$$

A partir de los resultados del Balance Hídrico de Suelo (BHS), según el método propuesto por Schosinsky G. (2006) se obtuvo la recarga potencial (Rp) de aguas subterráneas, la escorrentía superficial (ESC) y la evapotranspiración real (ETR), cuyos valores fueron utilizados en la ecuación 8 para obtener la disponibilidad hídrica superficial.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Componentes del balance hídrico superficial

**Precipitación, temperatura, evapotranspiración potencial (ETP) y real (ETR)**

La precipitación promedio anual fue de 1 427 mm, con un promedio mensual mínimo de 7 mm y máximo de 270 mm en enero y octubre, respectivamente (Figura 3a). La temperatura promedio anual calculada fue de 27 °C, con un máximo en el mes de abril de 29 °C y un mínimo de 26 °C (Figura 3a). La ETP estimada presentó un promedio anual de

1 803 mm, un promedio mensual mínimo de 122 mm (enero) y un máximo de 178 mm (mayo). Los valores de ETR estimados reportaron un promedio anual de 1 076 mm, promedio mensual mínimo de 2 mm (enero) y máximo 162 mm (agosto) (Figura 3b).

La variación de la ETP es congruente con las variaciones de la temperatura durante todo el año (Figura 4a), tomando en cuenta que su cálculo depende de la temperatura (mínima,

máxima y media), radiación extraterrestre y la latitud; este comportamiento sugiere que a una mayor temperatura induce a una mayor ETP (Galindo, Otazo, & Reyes, 2010; Vanderlinden, Giráldez, & Van Meirvenne, 2004). En cambio, el valor de la ETR es proporcional a la precipitación (Figura 4b), ya que la ETR se debe a las condiciones existentes de humedad en el suelo (Sánchez, 2006).

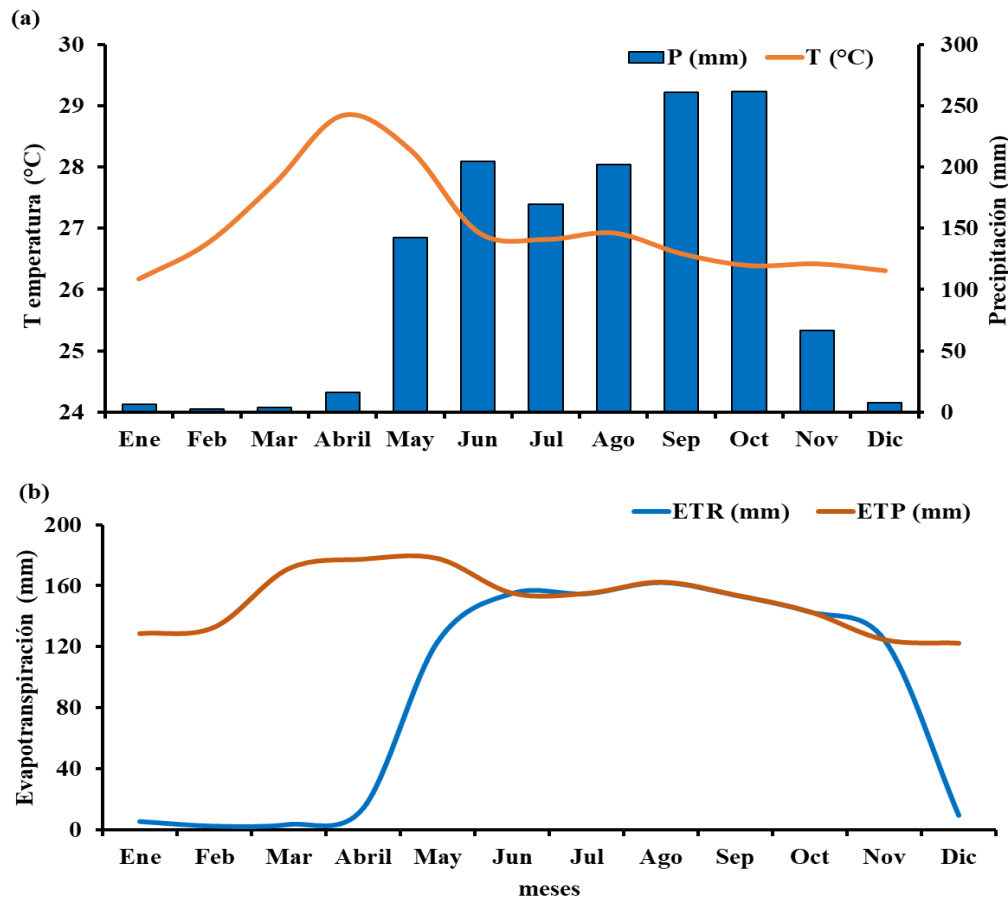


Figura 3. Comportamiento mensual de la precipitación y temperatura (a). Comportamiento mensual de la evapotranspiración potencial (ETP) y real (ETR) (b) en el área de estudio.



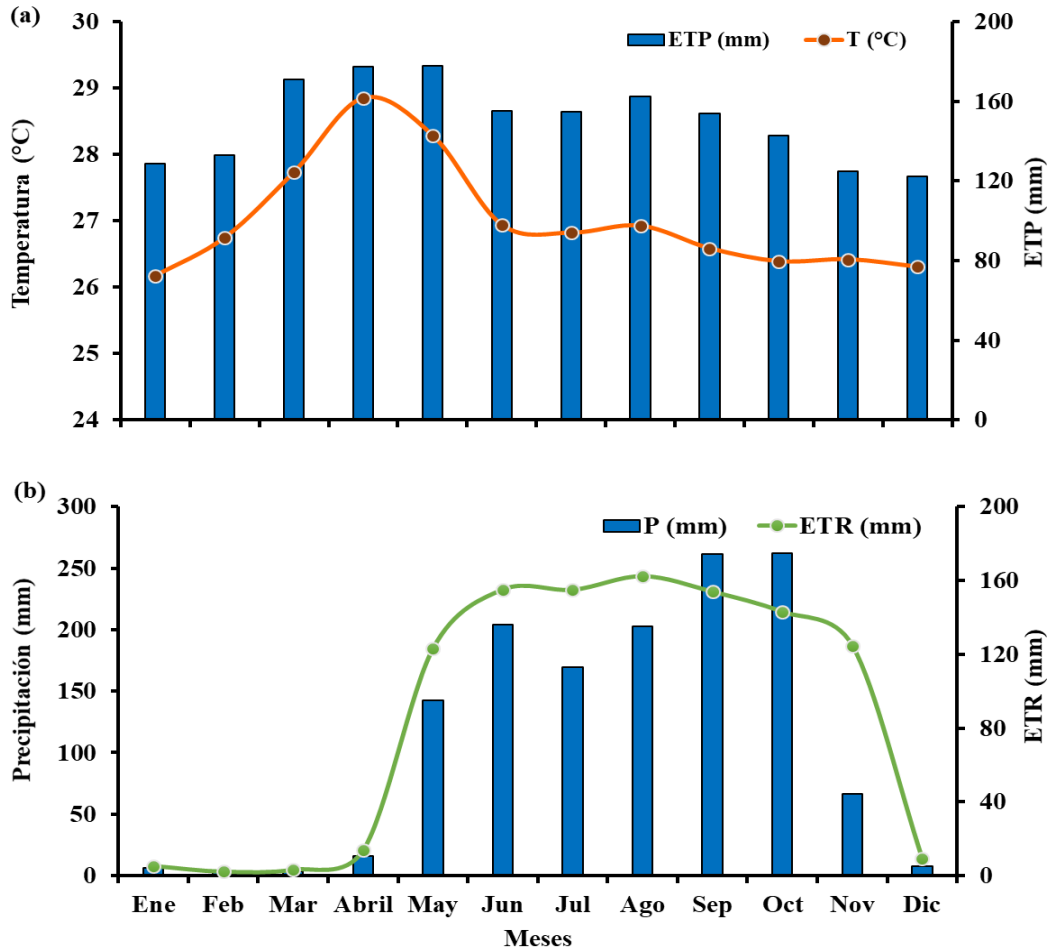


Figura 4. Comportamiento de la ETP con relación a la temperatura(a). Comportamiento de la ETR con relación a la precipitación (b).

### Caudales y escorrentía

Los caudales medidos en los siete puntos de aforo en los meses lluviosos oscilaron entre 0.002 y 1.859 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> en junio y octubre, respectivamente. En los meses secos el valor máximo fue de 0.023 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> en Las Lajas-arriba y en los tres puntos de monitoreo del río Mapachá debido a la ausencia de agua, no fue posible medir el caudal (Figura 5). La escorrentía media estimada fue de 238.26 mm, registrándose la mayor escorrentía en la parte media-baja con un valor de 284.05 mm. La escorrentía está vinculada con el comportamiento de los caudales en los ríos,

regulados por el régimen estacional, obteniéndose mayores caudales en los meses de septiembre y octubre, por consiguiente hubo un aumento en la escorrentía. En la época seca la escorrentía es prácticamente nula, por lo que solamente los ríos Las Guabas ubicado al NE en la parte alta y Las Lajas-arriba ubicado en la parte media de la microcuenca presentaron caudal base. La permanencia del caudal base en estos ríos, sugiere que está limitada por la geología (rocas fracturadas) y el sistema de fallas (Fenzl, 1989; Krásný & Hecht, 1989); ya que la descarga del río Las Guabas, proviene de los manantiales ubicados en la parte NO en la

caldera, a través del sistema de fracturas de la roca. (Price, 2011; Vargas, 1998). En la parte media, el caudal base del río Las Lajas, está afectado por el sistema de fallas (Figura 2), que facilita la descarga de agua subterránea al mismo, comportándose como río efluente (Arumí, Rivera, Muñoz, & Billib, 2012; Winter, Judson, Harvey, Lehn, & William, 1998). En la parte baja, la pérdida del caudal base en el río Mapachá durante la época seca, podría estar afectado por la conjugación de fallas que se forman creando un eje de interacción (Figura 2), que actúan como un canal de drenaje hacia una mayor profundidad de almacenamiento del agua subterránea, impidiendo la conexión agua superficial-subterránea (UNESCO, 1985), o

bien se trata de un sistema desconectado de la fuente subterránea, debido a las bajas transmisividades que oscilan entre  $1-10 \text{ m}^2.\text{día}^{-1}$  (Losilla, Rodríguez, Schosinky, Stimson, & Bethune, 2001; Fenzl, 1989; Krásný & Hecht, 1989). Otro factor influyente en el flujo base, es el cambio de la cobertura vegetal de forestal a pastizales, que aumenta la escorrentía superficial y reduce la capacidad de infiltración. También se ha demostrado que el cambio a grandes escala del uso de la tierra de forestal a pastizales, ha causado cambios significativos en el caudal base de los ríos (Jobbágy, Acosta, & Noretto, 2013; Price, 2011; Hernández & Navar-Cháidez, 2010).

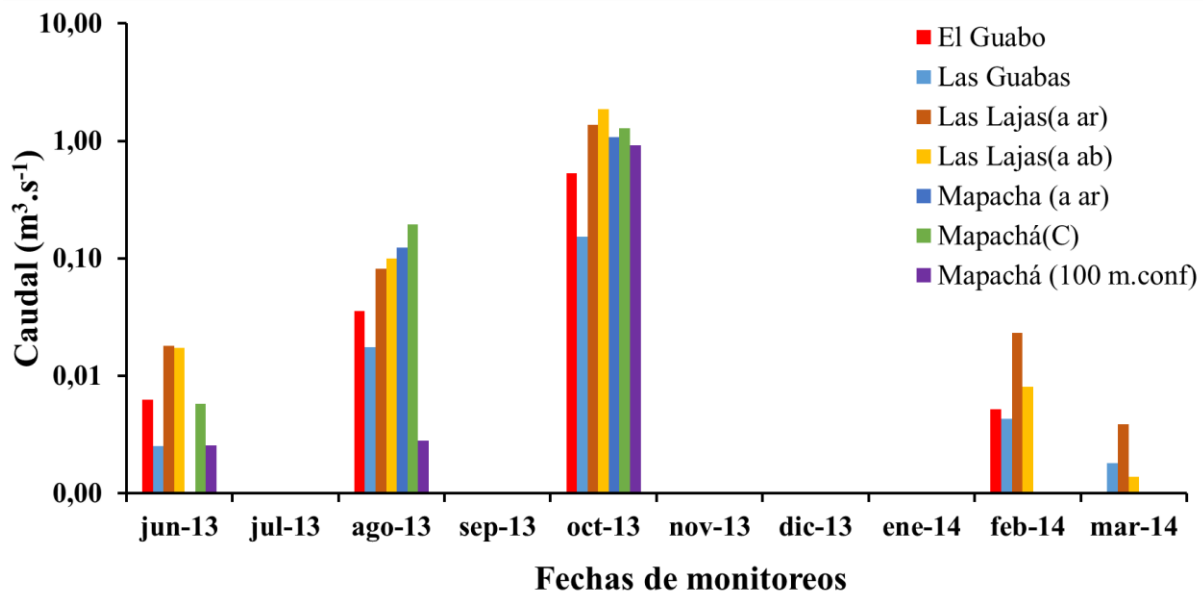


Figura 5. Caudales registrados en la red hídrica de la microcuenca del río Mapachá entre junio del 2013 y marzo del 2014.

### Infiltración y recarga potencial

Se alcanzaron tasas de infiltración entre 5 y  $300 \text{ mm.h}^{-1}$  (Fig. 6). Las mayores infiltraciones se registraron en la parte alta de la microcuenca ( $100-300 \text{ mm.h}^{-1}$ ), a excepción de los puntos Las Lajas y Las Guabas ubicados en la parte norte en la

caldera ( $0-50 \text{ mm.h}^{-1}$ ). Estos altos valores de infiltración ( $100-300 \text{ mm.h}^{-1}$ ) se registraron donde el material geológico predominante son los depósitos aluviales (Krásný & Hecht, 1989), material poroso recubierto por vegetación arbustiva y bosque latifoliado abierto (Price, 2011),

que corresponde al 25% del uso actual del suelo (MAGFOR, 2000). En los dos sitios (Las Lajas y Las Guabas) donde el valor fue entre 0-50 mm.h<sup>-1</sup>, se presentaba afloramiento de la roca basáltica, suelos utilizados para el cultivo de granos básicos, principalmente maíz y sorgo. En la parte media-baja se registraron infiltraciones <50 mm h<sup>-1</sup>, donde el material geológico es la roca andesita-basáltica, los suelos aquí están generalmente revestido con pastizales y tacotales.

La recarga potencial anual determinada en el acuífero oscila entre 1.0 y 156.0 mm con un promedio de 107 mm. Las mayores recargas potenciales al acuífero se adquirieron en el material coluvial (promedio 114 mm), cubierta por área boscosa (Ramírez, 2013; Ávalos, 2008; Juckem, Hunt, Anderson, & Robertson, 2008) y las menores recargas (promedio 78 mm) se obtuvieron en la parte media-baja, donde predomina la roca andesita-basáltica, cubierta de pastizales. Estos bajos valores encontrados coinciden con otro estudio que ha demostrado que la roca basáltica tiene un potencial de agua subterránea de media a baja (Singh, Krishana Thakur, & Kumar, 2013). Asimismo, el cambio de la cubierta vegetal de forestal a pastizal que es el caso en la

microcuenca del río Mapachá, influye en la reducción de la capacidad de infiltración en el suelo; por tal razón, disminuye la recarga potencial al acuífero (Dueñez-Alanís, Gutiérrez, Pérez, & Nívar, 2006). La pendiente es otro factor influyente en las bajas recargas al acuífero en la parte media-baja en la microcuenca (pendientes entre 15-75%). Esta condición favorece la escorrentía, disminuyendo la infiltración y la recarga proporcionalmente. Lo anterior corresponde con una investigación realizada en la provincia volcánica de Deccan de Maharashtra en la India, donde se determinó que las zonas con altas pendientes presentan un potencial de agua subterránea pobre (Singh, Krishana Thakur, & Kumar, 2013).

#### Disponibilidad hídrica superficial

Los resultados del balance hídrico superficial indican que las mayores pérdidas de agua que se dan por la ETR, la ESC y la Rp que corresponden al 75, 17 y 7% de la precipitación anual, respectivamente (Tabla 4). Según el resultado obtenido, esta Rp se clasifica como baja (5-10% de la precipitación), al compararlos con valores obtenidos por la FAO en 1967 (Shaban, Khawlie, & Abdallah, 2006).

Tabla 3

Resultados del balance hídrico superficial en la microcuenca del río Mapachá.

Área Km <sup>2</sup>	Precipitación (mm)	Evapotranspiración (mm)	Escorrentía (mm)	Recarga (mm)	Disponibilidad MMCA
54	1 427	1 076	238	107	0.30

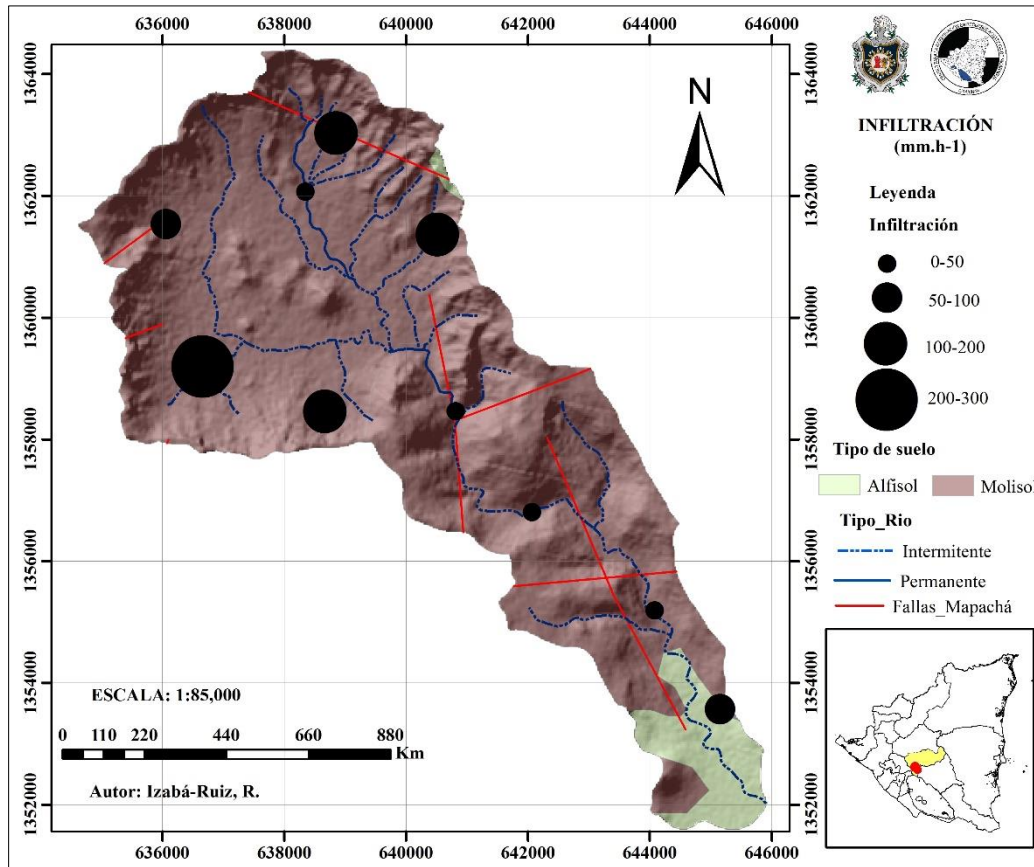


Figura 6. Capacidad de infiltración de los diferentes tipos de suelos de la microcuenca del río Mapachá.

Las altas pérdidas de agua por la ETR probablemente está siendo influenciada por la cubierta vegetal predominante por los pastizales con el 61% del uso del suelo. Otras investigaciones han reportado que el uso del suelo con pastizales presentan pérdidas por ETR mayores al 50% de la precipitación (Jobbágy, Acosta, & Noretto, 2013; Bellot, et al., 1999; Huber, Oyarzún, & Ellies, 1985). La disponibilidad hídrica superficial estimada fue de 6.0 mm que equivale al 0,4% de la precipitación anual, lo que corresponde en una distribución espacial de 54 km<sup>2</sup>, a una disponibilidad de 0.30 MMCA; es decir, una disponibilidad insuficiente, manifestándose principalmente en la escasez de los caudales base en la mayoría de la red hídrica.

## CONCLUSIONES

El balance hídrico superficial obtenido en la microcuenca del río Mapachá reveló una pobre disponibilidad hídrica superficial debido a que la recarga efectiva en el acuífero es mínima, la que se refleja en la escasez de caudal base en la red hídrica y principalmente en el río Mapachá. Es evidente también la poca disponibilidad de agua superficial para el desarrollo de sus actividades económicas importantes. Así mismo, en la parte baja de la microcuenca la falta del caudal base está influenciado principalmente por las características hidráulicas de la roca fracturada y el sistema de fallas predominate. Finalmente, otra causa que influye negativamente en la recarga hídrica es la pobre infiltración la cual está condicionada por la cobertura

vegetal y el uso del suelo en la zona, impactando principalmente en la recarga potencial al acuífero y consecuentemente en la disponibilidad de agua para subsistencia humana.

### AGRADECIMIENTOS

Al CIRA/UNAN-Managua y al Programa de Maestría Regional Centroamericana en Ciencias del Agua con énfasis en Calidad del Agua, bajo el marco del proyecto: “Manejo Comunitario de Agua en Nicaragua y Centroamérica”, por haber financiado y apoyado la presente investigación.

### REFERENCIAS

AMSL. (2006). Plan Ambiental Municipal 2006-2016. Alcaldía Municipal de San Lorenzo, San Lorenzo.

Arumí, J. L., Rivera, D., Muñoz, E., & Billib, M. (2012). Interacciones entre el agua superficial y Agua Subterránea en la Región de Bio Bio de Chile. *Obras y Proyectos*(12), 4-12. doi:10.4067/S0718-28132012000200001

Ávalos, O. (2008). Determinación de las Áreas Principales de Recarga Hídrica Natural de la subcuenca del Río Belejeyá del Municipio de Granados, Baja Verapaz. Guatemala.

Bellot, J., Sánchez, J., Chirino, E., Hernández, N., Abdelli, F., & Martínez, J. (1999). Effect Different Vegetation Type Cover on the Soil Water Balance in Semi-Arid Areas of South Eastern Spain. *Physics and Chemistry of the Earth, Part B: Hydrology, Oceans and Atmosphere*, 24(4), 353-357. doi:10.1016/S1464-1909(99)00013-1

Caballero, Y. (2009). Potencial Hídrico y calidad del Agua de las Aguas Superficiales de la Subcuenca río

Ochomogo del Lago, Cocibolca. *Revista Científica Universidad y Ciencia*(7), 33-36.

Caballero, Y. (2016). Estimación de la erosión y sedimentación en la subcuenca del Embalse Apanás - Asturias usando radioisótopos (<sup>137</sup>Cs y <sup>210</sup>Pb). *Revista Científica Agua y Conocimiento*, Vol.2(1), 34-38.

Delgado, V., Calderón, H., Flores, Y., & Salvatierra, T. (2010). Calidad y Disponibilidad de los Recursos Hídricos en tres Microcuencas Costeras del Municipio de Tola, Rivas. *Universidad y Ciencia*(8), 13-21.

Dueñez-Alanís, J., Gutiérrez, J., Pérez, L., & Návar, J. (2006). Manejo Sivilcula, Capacidad de Infiltración, escurrimiento superficial y Erosión. *Terra Latinoamericana*, 24(2), 233-240.

Fenzl, N. (1989). Nicaragua: Geografía, clima, geología y hidrogeología. Belem, UFPA/INETER/INAN.

Flores, Y., & Guatemala, J. (2012). Potencial Hídrico de las Microcuencas del Río Viejo. *Universidad y Ciencia*, 6(9), 2-5.

Galindo, E., Otazo, E., & Reyes, R. (2010). Balance hídrico en el Acuífero Cuautitlan-Pachuca, México, Porecciones para 2021. *Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*, 65-90.

González, J., & Guerra, F. (2002). Caracterización morfométrica de la cuenca de la Quebrada, La Bermeja,

- San Cristobal, Venezuela. *Geoenseñanza*, 88-108.
- Hargreaves, G. H., & Samani, Z. A. (1985). Reference Crop Evapotranspiration from Temperature. *Applied Engineering in Agriculture*, 1(2), 96-99.
- Hernández, H., & Navar-Cháidez, J. (2010). Tendencias de los caudales en ríos de Michoacán, México. *Tecnología y Ciencias del Agua, antes Ingeniería hidráulica en México*, 153-159.
- Huber, A., Oyarzún, C., & Ellies, A. (1985). Balance Hídrico en tres plantaciones de *Pinus Radiata* y una Pradera II: Humedad del Suelo y Evapotranspiración. *Bosque. Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias Forestal*, 74-82.
- INETER. (2013). Base de datos meteorológicos de Nicaragua. Nicaragua: Instituto Nicaraguense de Estudios Territoriales.
- INETER, ANA, UNI, & Cooperación Alemana GIZ/PROATA. (2014). Cuencas Hidrográficas de Nicaragua bajo la metodología Pfafstetter. Managua.
- Izabá-Ruiz, R. (2016). Potencial hídrico y calidad de agua Asociado a las condiciones Socio-ambientales en la Microcuenca del Río Mapachá, Municipio de San Lorenzo, Departamento de Boaco. Managua, Nicaragua: Tesis para optar al grado de Máster en Ciencias del Agua con énfasis en Calidad del Agua del Programa de Maestría CIRA/UNAN-Managua.
- Jobbágy, E., Acosta, A., & Nosetto, M. (2013). Rendimiento hídrico en cuencas primarias bajo pastizales y plantaciones de pino de las sierras de Córdoba (Argentina). *Ecología Austral*, 87-96.
- Johnson, A. (1991). A Field Method for Measurement of Infiltration. U.S. Geological Survey.
- Juckem, P. F., Hunt, R. J., Anderson, M. P., & Robertson, D. M. (20 de Junio de 2008). Effects of climate and land management change on streamflow in the driftless area of Wisconsin. *Journal of Hydrology*, 355, 123-130.  
doi:10.1016/j.jhydrol.2008.03.010
- Krásný, J., & Hecht, G. (1989). Estudio Hidrogeológico e Hidrogeoquímico de la Región del Pacífico de Nicaragua. Managua: INETER.
- Lenters, J., Coe, M., & F, J. (2000). Surface water balance of the continental United States, 1963-1995: Regional evaluation of a terrestrial biosphere model and the NCEP/NCAR reanalysis. *JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH*, 105, 393-425.
- Losilla, M., Rodríguez, H., Schosinky, G., Stimson, J., & Bethune, D. (2001). Los acuíferos volcánicos y el desarrollo sostenible de América Central. Universidad de Costa Rica.
- MAGFOR. (2000). Uso Potencial del Suelo. Base del Sistema de Información Geográfica. Nicaragua: Ministerio Agropecuario y Forestal.
- Marini, M. F., & Piccolo, M. C. (2000). EL Balance hídrico en la Cuenca del Río Quenquén Salado, Argentina. *Papeles de Geografía*(31), 39-53.
- Markich, S. J., & Brown, P. L. (1998). Relative importance of natural and anthropogenic influences on the fresh surface water chemistry of the Hawkesbury]Nepean River, south-

- eastern Australia. *The Science of the Total Environment*, 217, 201-230.
- OMM. (1994). *Guía de Prácticas Hidrológicas*. (5. edición, Ed.) Organización Meteorológica Mundial.
- Price, K. (2011). Effects of watershed topography, soils, land use, and climate on baseflow hydrology in humid regions: A review. *Progress in Physical Geography*, 35, 465–492. doi:10.1177/0309133311402714
- Ramírez, P. (2013). Determinación de la recarga acuífera potencial mediante un sistema de información geográfica para la cuenca del río Frío, Costa Rica. *Revista Geográfica de América Central*, 15-35.
- Sánchez, F. J. (Mayo de 2006). *Evapotranspiración*. Salamanca: Departamento de Geología, Universidad de Salamanca.
- Schosinsky, G. (2006). *Cálculo de la Recarga Potencial del Acuífero Mediante el Balance Hídrico de Suelo*. Escuela Centroamericana de Geología, Universidad de Costa Rica.
- Schosinsky, G., & Losilla, M. (2000). Modelo Analítico para determinar la infiltración en base a la lluvia mensual. *Revista Geológica de América Central*, 43-55.
- Shaban, A., Khawlie, M., & Abdallah, C. (2006). Use of remote sensing and GIS to determine recharge potential zones: the case of Occidental Lebanon. *Hydrogeology Journal*, 14(4), 433–443. doi:10.1007/s10040-005-0437-6
- Singh, P., Krishana Thakur, J., & Kumar, S. (2013). Delineating groundwater potential zones in a hard-rock terrain using geospatial tool. *Hydrological Sciences Journal*, 58(1), 213-223. doi:10.1080/02626667.2012.745644
- Turnipseed, D., & Sauer, V. (2010). *Discharge measurements at gaging stations Techniques and Methods book 3, chap. A8*. U.S. Geological Survey.
- UNESCO. (1981). *Métodos de cálculo del Balance Hídrico: Guía Internacional de Investigación y métodos*. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura.
- UNESCO. (1985). *Agua Subterránea en rocas duras*. París: Imprimerie de la Manutention, Mayenne.
- Vanderlinden, K., Giráldez, J., & Van Meirvenne, M. (2004). Assessing Reference Evapotranspiration by the Hargreaves Method in Southern Spain. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 130(3), 184-191. doi:10.1061/(ASCE)0733-9437(2004)130:3(184)
- Vargas, A. (1998). Balance Hídrico en la Cuenca Alta del río Reventazón. *Revista Geológica de Americacentral*, 37-46.
- Winter, T., Judson, W., Harvey, O., Lehn, F., & William, M. (1998). *Ground Water and Surface Water A Single Resource*. Denver, Colorado: U.S. Geological Survey.
- WRB, I. G. (2007). *Base Referencial Mundial del Recurso Suelo. Primera actualización 2007. Informes sobre Recursos Mundiales de Suelos No. 103*. Roma: FAO.