

## Artículo científico

**Gestión de la disponibilidad hídrica en la unidad hidrográfica río Sucio, cuenca 64, Nicaragua**

Máximo Edelberto Angulo Jarquín

Ingeniero en Ciencias Agrarias, M. Sc. Recursos hidráulicos, ERIS, USAC, Guatemala

Dirección para recibir correspondencia: maximo.angulo30@gmail.com

Recibido 15.06.2017 Aceptado 14.07.2017

**Resumen:**

Con la problemática del agua en términos de: escasez, uso irracional, contaminación, entre otros; los gobiernos y organizaciones están buscando formas de reducir esta situación, requiriendo de políticas y leyes para una mejor gestión de los recursos hídricos, no obstante, no será suficiente una política o una ley si no hay una voluntad de actuar in situ en cada cuenca hidrográfica. Los recursos hídricos necesitan de una gestión eficiente, partiendo del conocimiento de su disponibilidad con base al análisis de oferta y la demanda. A lo anterior, en el presente artículo se evaluó la disponibilidad hídrica en la unidad hidrográfica río Sucio, ubicada en la cuenca 64, zona del pacífico de Nicaragua, como punto de partida de la planificación de los recursos hídricos de la cuenca. La estimación de la oferta hídrica se realizó mediante la aplicación del balance hídrico superficial, aplicando la metodología de Thornthwaite (1948) y balance hídrico de suelo, basado en la metodología de Schosinsky y Losilla (2000); la demanda hídrica se determinó identificando los diferentes usos en la cuenca. En el análisis de oferta y demanda, se determinó que la cuenca genera caudales de 165 Mm<sup>3</sup> anuales de agua superficial y 131 Mm<sup>3</sup> de recarga de agua subterránea, la demanda se estimó en 153 Mm<sup>3</sup> anuales; estimando que de los usos del agua en la cuenca hay un flujo de retorno de 22 Mm<sup>3</sup> anuales y una descarga de agua subterránea a otras cuencas de 19 Mm<sup>3</sup> anuales, se determinó que la disponibilidad hídrica neta, es de 151 Mm<sup>3</sup> anuales; sin embargo, se considera que la disponibilidad no es constante durante un año hidrológico, ya que se ve afectada en la época de estiaje con déficit de 4 a 9 Mm<sup>3</sup> anuales en agua superficial y 8 a 9 Mm<sup>3</sup> en agua subterráneas. Hay que destacar que, en consulta a los registros de concesiones de aprovechamiento de agua otorgados por la Autoridad Nacional del Agua en la cuenca, las extracciones de agua se dan en estación seca (noviembre a abril); en este período, la oferta es inferior a la demanda y lo que sustenta la producción de agua, es el aporte del acuífero a los ríos y las reservas subterráneas, lo que pone en riesgo la sostenibilidad de los recursos hídricos, los cuales se irán agotando con el tiempo y el resultado podría ser catastrófico.

Palabras claves: Oferta, demanda, flujo de retorno, descargas subterráneas, cuenca hidrográfica.

**Abstract.**

With the problems of water in terms of: scarcity, irrational use, pollution, among others; governments and organizations are seeking ways to reduce this situation, requiring policies and laws for better management of water resources, however, a policy or law will not be enough if there is no willingness to act in situ in each river basin. Water resources need efficient management, based on the knowledge of their availability based on the analysis of supply and demand. In the present article, water availability was evaluated in the Sucio river basin unit, located in basin 64, in the Pacific zone of Nicaragua, as a starting point for water resources planning in the basin. The estimation of the water supply was done by applying the surface water balance, applying the Thornthwaite (1948) and soil water balance methodology, based on the methodology of Schosinsky and Losilla (2000); the water demand was determined by identifying the different uses in the basin. In the supply and demand analysis, it was determined that the basin generates flows of 165 Mm<sup>3</sup> per year of surface water and 131 Mm<sup>3</sup> of groundwater recharge, the demand was estimated at 153 Mm<sup>3</sup> per year; estimating that of the water uses in the basin there is a return flow of 22 Mm<sup>3</sup> annually and a discharge of groundwater to other basins of 19 Mm<sup>3</sup> annually, it was determined that the net water availability is 151 Mm<sup>3</sup> annually, however, it is considered that availability is not constant during a hydrological year, since it is affected in the dry season with a deficit of 4 to 9 Mm<sup>3</sup> per year in surface water and 8 to 9 Mm<sup>3</sup> in groundwater. It should be noted that, in consultation with the records of water use concessions granted by the National Water Authority in the basin, water withdrawals occur in dry season (November to April); In this period, the supply is lower than the demand, sustains the production of water, is the contribution of the aquifer to the rivers and underground reserves, which puts at risk the sustainability of water resources, which will be depleted over time and the result could be catastrophic.

Keywords: Supply, demand, return flow, underground discharges, watershed.

## Introducción

La gestión es un proceso sistemático para el desarrollo, concesión y monitoreo de los recursos hídricos. Para llevar este proceso, es necesario disponer de información confiable y actualizada de la cuenca hidrográfica, de tal manera, que permita tomar decisiones coherentes y sostenibles.

Para iniciar un proceso de gestión de los recursos hídricos, es necesario determinar la oferta de agua, ya sea superficial o subterráneas.

El presente artículo muestra la disponibilidad de los recursos hídricos en la unidad hidrográfica río Sucio, basado en el análisis de oferta y demanda. Esta cuenca se localiza en la zona del pacífico de Nicaragua, en el departamento de Chinandega. Tiene una extensión territorial de 224.85 km<sup>2</sup>, está compartida por los municipios de: Chinandega, Chichigalpa, Posoltega y Corinto. La actividad económica principal es la agricultura, con el 66.17 %, de esto, el 58.90 % es cultivo de caña de azúcar. La agricultura es altamente dependiente del riego, ya que consume el 94.92 % de todas las extracciones registradas en la cuenca. La cuenca tiene una gran importancia económica, debido a, la existencia de suelos fértiles y la presencia del acuífero más importante de la zona del pacífico, como es el de Occidente.

Con base al estudio hidrológico e hidrogeológico para la región del pacífico de Nicaragua, realizado por las Instituciones MAGFOR/INETER en 1998, la disponibilidad de agua en la unidad hidrográfica río Sucio era de 307.53 Mm<sup>3</sup>. Otro estudio, el estudio hidrológico e hidrogeológico elaborado por la empresa Quenca Consulting Group, S.A en la cuenca 64 en 2013, determinó para la unidad hidrográfica río Sucio, una disponibilidad de 313 Mm<sup>3</sup>, para un área de recarga de 337.5 Km<sup>2</sup>.

En el presente artículo, se muestra un análisis de la disponibilidad actual en la cuenca hidrográfica, aplicando las metodologías de balance hídrico superficial y balance hídrico de suelo o recarga potencial. Para la obtención de la disponibilidad se realizó análisis de oferta, resultante de los balances y la demanda de los recursos hídricos en la cuenca.

Para los balances hídricos se tomaron datos obtenidos de seis estaciones meteorológicas, ubicadas dentro y cerca de la cuenca, información obtenida del Instituto Nicaragüense de Estudios

Territoriales (INETER) con series de datos de 1966 a 2015.

La demanda hídrica se realizó con base a registros disponibles en la Autoridad Nacional de Agua (ANA), datos de abastecimientos de agua potable registrados por la Empresa Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados (ENACAL) y base de datos rurales, facilitados por el Fondo de Inversión Social de Emergencia (FISE).

## Descripción del área de estudio

La unidad hidrográfica del río Sucio se localiza entre las coordenadas geográficas 12° 41' 48 Latitud Norte 86° 58' 48 Longitud Oeste, elevación de 1,210 msnm y 12° 28' 12 Latitud Norte 87° 08' 46 Longitud Oeste, elevación de 7 msnm. Se ubica en la zona del pacífico de la República de Nicaragua, en el departamento de Chinandega. Está compuesta por cuatro municipios: Chinandega, Chichigalpa, Posoltega y Corinto. (Figura 1).

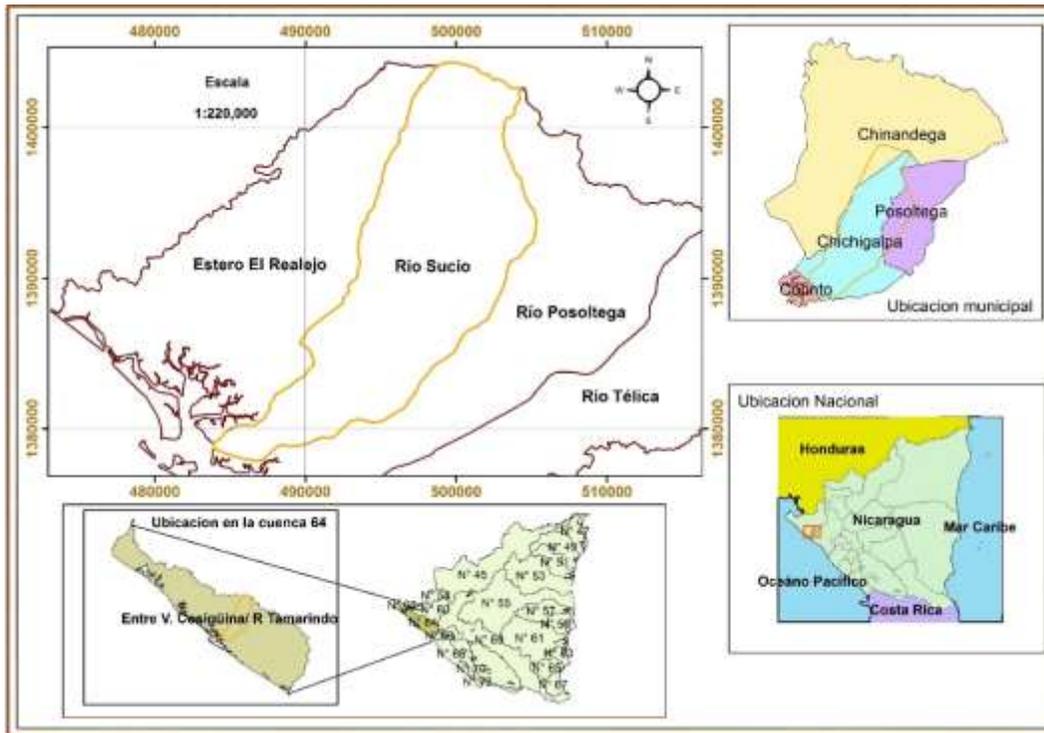
Todos estos municipios pertenecen al departamento de Chinandega. El municipio de Chichigalpa es el que ocupa mayor territorio en la unidad hidrográfica río Sucio, con un 71.56%, seguido de Posoltega, con 14.89%, Corinto, es el que ocupa la menor parte, con 3.52 %. La población de la unidad hidrográfica es de 58,287 habitantes.

La cuenca ocupa una extensión de 224.85 km<sup>2</sup>, pertenece a la cuenca 64 conocida con el nombre "Entre Volcán Cosigüina y Río Tamarindo". Esta unidad hídrica se encuentra en uno de los acuíferos más importantes de la región, como es el de Occidente.

La actividad económica principal de la unidad hidrográfica del río Sucio es la producción agrícola. Según el mapa de uso de suelo (2015), el sector agrícola ocupa el 66.17 % (148.78 km<sup>2</sup>) de la cuenca, de este, el cultivo de caña de azúcar representa el 58.90 % (87.63 km<sup>2</sup>), el 14.5 % lo representan los cultivos perennes y el 4.40% los cultivos anuales, el 22.19 % son áreas de descanso o tacotales.

El sector pecuario representa el 15 % (34.76 km<sup>2</sup>) del área de la cuenca. El uso que se le da al agua en la cuenca es principalmente para riego, en donde se extrae un volumen aproximado de 145 millones de metros cúbicos, que representa el 94.92 % de las extracciones totales.

Figura 1: Ubicación de la unidad hidrográfica río Sucio



Fuente: edición propia con base a información de INETER (2010), UNI-ANA-INETER, 2014.

### Antecedentes

Ha sido evidente durante muchos años, como los recursos hídricos son deteriorados, resultado de una débil planificación de los mismos. Se estima que con las practicas actuales, el mundo enfrentaría un déficit de agua de 40 % entre la demanda prevista y el suministro de agua disponible al 2030 (BM, 2017).

En la unidad hidrográfica río Sucio, los recursos hídricos han a travessado un proceso de deterioro, no solo por la explotación intensiva del agua, sino también por la contaminación a los mismos, obteniendo con eso, menos disponibilidad. Han sido limitados los estudios hídricos en la cuenca. De manera regional, en 1998, las Instituciones: Ministerio Agropecuario y Forestal (MAGFOR) y el Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER), elaboraron un estudio hidrológico e hidrogeológico para la región del pacífico de Nicaragua. Este estudio, fue encaminado a conocer el estado actual y la disponibilidad de los recursos hídricos con la finalidad de aprovecharlos y promover el desarrollo de la agricultura bajo riego.

En dicho estudio se delimitaron unidades hidrográficas de menor tamaño, entre ellas, las subcuencas: río Atoya, Tesorero y río Sucio. En estas

unidades, según balance hídrico realizado, la disponibilidad de agua superficial fue de 0.56 millones de m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>, equivalentes a 125 millones de m<sup>3</sup>/año en un área de recarga de 224.85 km<sup>2</sup>. En cuanto a agua subterránea, el estudio refleja una recarga potencial de 182 millones de m<sup>3</sup> anuales.

En 2013, fue desarrollado otro estudio hidrológico e hidrogeológico para la cuenca 64 por parte de la empresa Quenca Consulting Group, S.A, donde se determinó para la unidad hidrográfica río Sucio, un volumen de 56.32 millones de m<sup>3</sup> anuales en agua superficial y un potencial de recarga de 256.69 millones de m<sup>3</sup> anual en agua subterráneas, en un área de recarga de 337.5 km<sup>2</sup>.

### Metodología

La oferta hídrica de la cuenca, se determinó mediante balance hídrico superficial y subterráneo. Para fuentes superficiales se aplicó el método directo propuesto por Thornthwaite (1948). Este método utiliza las variables de: Precipitación (P), evapotranspiración potencial (ETP), diferencia de P y ETP, reserva (R), variación de la reserva (VA), evapotranspiración real (ETR), déficit o falta (D), exceso o escorrentía (Ex).

$$P - ETR \pm E - \Delta R = 0$$

Para el balance hídrico de suelo o recarga potencial (Rp), se aplicó la metodología desarrollada por Schosinsnky & Losilla (2000).

$$Rp = Pi + HSi - HSf - ETR$$

Donde:

Rp = Recarga potencial mensual en mm/mes.

Pi = Precipitación que infiltra en mm/mes.

HSi = Humedad del suelo en el inicio.

HSf = Humedad del suelo al final del mes en mm.

ETR = Evapotranspiración real en mm/mes.

Ambos métodos utilizan como variables principales, la precipitación y temperatura. Para el caso del balance de suelo se necesitan más variables, tales como: coeficiente de infiltración, capacidad de campo, punto de marchitez, tipo de suelo, entre otras.

Las precipitaciones y temperaturas se obtuvieron de seis estaciones meteorológicas que están dentro y cerca de la unidad hidrográfica, datos que fueron proporcionados por el Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER), estas estaciones presentan registros entre 1966 a 2015. Estas series de datos fueron tratadas estadísticamente para obtener un comportamiento medio ponderado para la cuenca mediante los polígonos de Thiessen.

El Coeficiente de Infiltración (Cf), se obtuvo de la infiltración básica calculada de muestreos de campo, interpretada mediante la metodología de Schosinsky y Losilla (2000), que es un modelo analítico para determinar la infiltración con base a la lluvia mensual.

En cuanto al tipo de suelo, basado en mapa y observación en campo, se identifican suelos franco arenosos. En vista de que no se tienen datos como: textura, profundidad del suelo, capacidad de campo del suelo, entre otros., se aplicó la tabla de propiedades físicas de suelos, según Amisial y Jegat, CIDIAT 1986 y aplicadas por Losilla (2013), utilizado la información que se muestra a continuación. (Tabla 1).

**Tabla 1: Propiedades físicas de suelo**

Textura	Valores en mm			
	Profundidad	Capacidad de campo	Punto de marchitez	Humedad disponible
Arcillosos	1,000	438	213	225

Textura	Valores en mm			
	Profundidad	Capacidad de campo	Punto de marchitez	Humedad disponible
Limo/ arcillas	800	343	166	177
Arcillo/ arenoso	750	302	146	156
Franco arcilloso	500	182	88	95
Franco	400	123	56	67
Franco arenosos	300	63	27	36
Arenosos	200	30	13	17
Gravas	100	11	4	7

Fuente: Amisial y Jegat, CIDIAT 1986.

La demanda hídrica se realizó basado en: a) registros de concesiones emitidas por la Autoridad Nacional de Agua (ANA) a enero de 2017, donde se incluyen diferentes usos, b) datos de abastecimiento de agua potable, registrado por la Empresa Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados (ENACAL) y c) base de datos que lleva el Fondo de Inversión Social de Emergencia (FISE) de los abastecimiento de agua a nivel rural.

## Resultados

A continuación se presentan los resultados de la oferta y demanda de los recursos hídricos como variables importantes para la determinación de la disponibilidad en la unidad hidrográfica río Sucio.

### Oferta hídrica

Para la oferta hídrica que fue determinada a través de balance hídrico, se procesaron los datos de las estaciones meteorológicas consultadas para obtener la precipitación y temperatura media de la cuenca. Se determinó la precipitación media anual de la cuenca en 1,964 mm por año y la temperatura media anual de 27.66 °C.

### Balance hídrico superficial

En la tabla 2, se presenta el balance hídrico superficial de la unidad hidrográfica río Sucio.

Tabla 2: Balance hídrico superficial

Variables	Meses												Total
	May	Jun	Jul	Ag	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	
Precipitación (mm)	268	303	197	271	415	364	114	9	2	1	4	16	1,964
Evapotranspiración (mm)	195	172	167	162	146	140	133	127	130	146	173	204	1,894
P-ETP (mm)	73	131	30	109	270	224	-19	-119	-128	-145	-168	-188	70
ETR (mm)	195	172	167	162	146	140	133	90	2	1	4	16	1,227
R (mm)	73	100	100	100	100	100	81	0	0	0	0	0	654
VR	-73	27	0	0	0	0	19	81	0	0	0	0	54
Déficit	0	0	0	0	0	0	0	37	128	145	168	188	667
Ex (mm)	0	104	30	109	270	224	0	0	0	0	0	0	737
1/2 Ex (mm)	0	52	15	54	135	112	0	0	0	0	0	0	368
1/2 Ex mes anterior	2	0	26	20	37	86	99	50	25	12	6	3	367
Ex (mm/mes)	2	52	41	75	172	198	99	50	25	12	6	3	735
Caudal Mm <sup>3</sup> /mes	0	12	9	17	39	45	22	11	6	3	1	1	165

La diferencia entre P-ETP es el balance mensual de entradas y salidas potenciales del agua del suelo, clasificando los meses secos con  $P-ETP < 0$  y húmedos con  $P-ETP > 0$ .

La reserva (R), representan el sobrante de que pasa a engrosar las reservas del suelo, con  $P > ETP$ . Los valores de la reserva se irán acumulando mes a mes en el período húmedo según los incrementos,  $P-ETP > 0$ , y disminuirán al llegar el período seco decreciendo mes a mes según los valores mensuales  $P-ETP < 0$ .

Como referencia de la capacidad de almacenamiento o humedad se empleó lo sugerido por Thornthwaite y Mather, 1955, los que dieron valores de reserva máxima entre 50 y 400 mm. Thornthwaite (1948), en su clasificación climática utilizó como referencia la reserva de 100 mm, y Turc en su índice de productividad agrícola emplea una reserva de 100 mm.

La variación de la reserva (VR) o almacenamiento representa la diferencia entre la reserva del mes en el que se está realizando el cálculo y la reserva del mes anterior. La evapotranspiración real (ETR) será la capacidad potencial de evapotranspirar la ETP

siempre que haya agua disponible. La ETP es siempre mayor o igual a la ETR. En el período húmedo, ETR es igual a la potencial. En el período seco, el agua la que se evapora será el agua de precipitación más la variación de la reserva, es decir,  $ETR = P + VR$ .

La falta de agua o déficit, es el volumen de agua que falta para cubrir las necesidades potenciales de agua (para evaporar y transpirar), es decir  $F = ETP - ETR$ .

El exceso de agua (Ex), será el agua que sobra de la reserva máxima y que se habrá perdido por escorrentía superficial, o por flujos subterráneos, es decir  $Ex = P - ETP - VR$ . Thornthwaite propuso que el 50 % del excedente de agua de un mes se escurre hacia los ríos durante el mes en cuestión y el resto se infiltra hacia los acuíferos.

En la tabla 3, se presenta el balance hídrico de suelo incluida la descripción de cada variable, el resultado es la recarga potencial al acuífero.

**Tabla 3: Balance hídrico de suelo en la unidad hidrográfica río Sucio**

Variables	Meses												Total
	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	
P (mm)	268	303	197	271	415	364	114	9	2	1	4	16	1,944
Cf (mm)	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
Pi (mm)	236	267	174	238	366	320	101	8	0	0	0	0	1,708
Pe (mm)	32	36	24	32	50	44	14	1	2	1	4	16	235
Pe(m3/ha)	322	363	237	325	498	437	137	10	16	6	45	159	2,352
ETP(mm)	195	172	167	162	146	140	133	127	130	146	173	204	1,517
HSi(mm)	0	36	36	36	36	36	36	4	0	0	0	0	0
AgD(mm)	41	95	6	76	220	181	-32	-120	-130	-146	-173	-204	0
HSf(mm)	36	36	36	36	36	36	4	0	0	0	0	0	0
cHS (mm)	36	0	0	0	0	0	-32	-4	0	0	0	0	0
DCC(mm)	0	0	0	0	0	0	32	36	36	36	36	36	0
Rp(mm)	5	95	6	76	220	181	0	0	0	0	0	0	583
Rp(m3/ha)	46	949	62	761	2200	1807	0	0	0	0	0	0	5,825
ETR(mm)	195	172	167	162	146	140	133	11	0	0	0	0	1,126
NR(mm)	0	0	0	0	0	0	32	36	36	36	36	36	140
Rp (Mm³)	1	21	1	17	49	41	0	0	0	0	0	0	<b>131</b>

P = precipitación media	ETP = evapotranspiración potencial	DCC = déficit de capacidad de campo
Cf = coeficiente de infiltración	Hsi = humedad de suelo inicial	Rp = recarga potencial al acuífero
Pi = precipitación que infiltra	AgD = agua disponible después de la ETP	ETR = evapotranspiración real
Pe = precipitación que escurre	HSf = humedad de suelo final	NR = necesidad de riego

El balance hídrico de suelo, representa el potencial de las aguas subterráneas de un acuífero, refleja la máxima cantidad de agua a sustraer para que no sea sobreexplotado. Dicho potencial se estima mediante la recarga al acuífero, que se determina conociendo en primer lugar, la fracción de lluvia que es interceptada por el follaje. En segundo lugar, se requiere conocer la infiltración del agua de lluvia hacia el suelo generada por la precipitación que llega a su superficie. En tercer lugar, se debe realizar un balance de suelos, que nos permita estimar el agua que drena del suelo hacia el acuífero, que se encuentra ubicado debajo del suelo (Schosinsky, G., 2006).

Lluvias menores de 5 mm mensuales, no van a generar infiltración ya que se considera que en un

mes con lluvia, al menos 5 mm son retenidos por el follaje sin llegar al suelo (Schosinsky & Losilla, 2000). Se considera que la retención de la lluvia en follajes, es del 12% (Butler, 1957) de la precipitación mensual.

El valor de infiltración corresponde a la permeabilidad del suelo saturado, en los primeros 30 centímetros de profundidad, por considerar que este es el espesor que está en contacto directo con el agua de lluvia. Dicho valor se obtiene en el campo, con la prueba de doble anillo o un infiltrómetro. En una zona dada, entre menor sea la pendiente del terreno y mayor sea su cobertura vegetal, la velocidad de escurrimiento se retrasa, generando una mayor infiltración.

En el balance del suelo, en primera instancia se requiere la infiltración mensual al suelo, generada por la lluvia. Posteriormente, es necesario conocer la

capacidad de campo y punto de marchitez del suelo. Estos valores, se obtienen en laboratorio o se estiman mediante tablas (Tabla 1). También es necesario conocer la profundidad aproximada de las raíces extractoras de agua, en la zona donde se ha de realizar el balance hídrico.

La evapotranspiración para este caso fue la misma calculada en el balance hídrico para agua superficial.

En este tipo de balance hídrico, la escorrentía superficial generada por la lluvia mensual, corresponde a la precipitación mensual, menos la retención de lluvia en el follaje, menos la infiltración.

### Demanda de agua en la cuenca

Para poder determinar la demanda de agua se consideraron los usos principales de la unidad hidrográfica río Sucio. (Tabla 4).

Tabla 4: Usos del agua en la unidad hidrográfica río Sucio

Consumo	Fuente		Mensual (Mm³)	Anual (Mm³)
	Subterránea	Superficial		
Agua potable	0.65	0.00	0.65	7.82
Agrícola	8.51	12.13	20.64	144.46
Pecuario	0.00	0.00	0.01	0.07
Industrial	0.09	0.00	0.09	1.12
Total	9.26	12.13	21.39	153.48

### Disponibilidad de agua de la cuenca

La disponibilidad de agua en una cuenca está en dependencia de las entradas (precipitación y otros aportes) y salidas (Evapotranspiración, descargas a otros espacios, demandas). Las variables de precipitación y evapotranspiración ya fueron abordadas anteriormente en el presente artículo. Aquí se abordó dos variables más que son de importancia en el sistema, como son: los flujos de retorno y descargas subterráneas que pueden ser al océano o a otras cuencas.

### Flujo de retorno

Después de aprovechar el agua, se genera un cierto caudal de retorno que vuelve al sistema hídrico, el que es necesario considerar a la hora de determinar la disponibilidad hídrica de una cuenca, los resultados se describen en la tabla 5.

Tabla 5: Estimación de flujo de retorno

Consumos	Agua potable	Agrícola	Pecuario	Industrial	Total
Subterráneo (Mm³)	0.65	8.51	0.00	0.09	9.26
Superficial (Mm³)	-	12.13	0.00	-	12.13
Total Mm³ mensual	0.65	20.64	0.01	0.09	21.39
Tasa de retorno (%)	70.00	15.00	-	50.00	
<b>R Mm³ mensual</b>	<b>0.46</b>	<b>3.10</b>	<b>-</b>	<b>0.05</b>	<b>3.60</b>

Se estima que el flujo de retorno total de la cuenca es de 3.60 Mm³ mensual, siendo de 22 Mm³ anual. Cabe señalar el flujo de retorno es mayor en los meses de estiaje, que es donde se dan el mayor aprovechamiento. El 49.44 % es flujo de retorno es proveniente del uso de agua subterránea y el 50.56 % del aprovechamiento superficial.

### Descarga de agua subterráneas

En cuanto a las descargas de agua subterránea, se puede estimar con base a los niveles freáticos, el gradiente hidráulico de la cuenca y la transmisividad del acuífero (Vélez, 1999). Los niveles freáticos fueron determinado con base a monitoreo de pozos; el gradiente hidráulico se estimó en tres sitios diferentes, iniciando de la parte alta de la cuenca hacia la zona de descarga; el valor de transmisividad corresponde al promedio en la cuenca, obtenida de base de datos de pruebas de bombeos. (Tabla 6).

Tabla 6: Descarga de agua subterránea

Sitios	Nivel 1 (m)	Nivel 2 (m)	Δniv. (m)	Distancia en Mapa (m)
1	230	100	130	4,139
2	100	60	40	6,149
3	60	20	15	6,075

i	L (m)	T (m²/día)	Q (m³/mes)	Q Mm³ mes
0.03	10,702	384	3921,956	4
0.01	9,229	384	700,572	1
0.00	4,652	384	134,024	0
Promedio				1.59

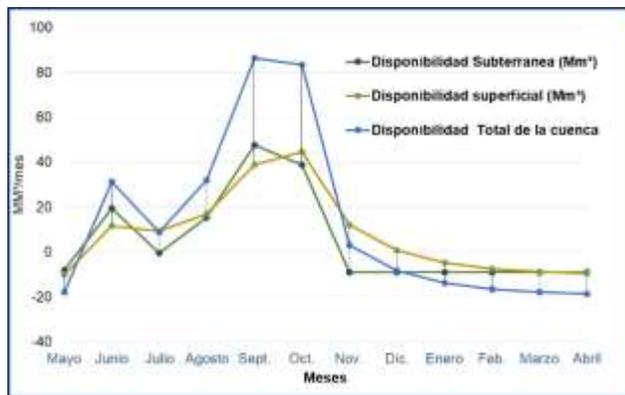
Analizada las entradas y salidas del sistema hídrico, se ha determinado la disponibilidad de agua superficial y subterránea de la cuenca. (Tabla 7).

Tabla 7: Disponibilidad de recursos hídricos en la cuenca

Parámetro	Meses												Total
	May	Jun	Jul	Ag	Sep	Oct	Nov	Dic	En	Fe	Ma	Abr	
Caudal Mm <sup>3</sup> mensuales	0	12	9	17	39	45	22	11	6	3	1	1	165
Demanda Mm <sup>3</sup>	12	0	0	0	0	0	12	12	12	12	12	12	85
Flujo de retorno Superficial (Mm <sup>3</sup> )	2	0	0	0	0	0	2	2	2	2	2	2	13
Disponibilidad superficial (Mm <sup>3</sup> )	-10	12	9	17	39	45	12	1	-5	-8	-9	-10	93
Recargas subterráneas (Mm <sup>3</sup> )	1	21	1	17	49	41	0	0	0	0	0	0	131
Descarga Subterráneas (Mm <sup>3</sup> )	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	19
Demanda Subterránea (Mm <sup>3</sup> )	9	1	1	1	1	1	9	9	9	9	9	9	69
Flujo de retorno (Mm <sup>3</sup> )	2	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	15
Disponibilidad Subterránea (Mm <sup>3</sup> )	-8	19	0	15	48	39	-9	-9	-9	-9	-9	-9	58
Disponibilidad total de la cuenca	-18	31	9	32	86	83	3	-8	-14	-17	-18	-19	151

El comportamiento de la disponibilidad total de la unidad hidrográfica río Sucio se puede apreciar en la figura 2.

Figura 2: Disponibilidad de agua de la unidad hidrográfica río sucio



En la figura anterior se puede mostrar la disponibilidad tanto de agua superficial como subterránea.

### Análisis de resultados

Con base a análisis de oferta, se estima que en agua superficial en la unidad hidrográfica río Sucio hay una escorrentía anual de 165 millones de m<sup>3</sup> anuales. En la época seca, de noviembre a abril, la escorrentía se da en rango de 0.7 a 22 millones de m<sup>3</sup> anuales, siendo el valor máximo para el mes de noviembre debido al aporte que recibe del mes lluvioso anterior. En la época lluviosa de mayo a octubre la escorrentía se estima de 0.3 a 44.6, siendo el mes de mayor drenaje octubre, mayo en este caso, presenta bajos

caudales debido a que el mes antecesor es abril, catalogado como el mes más seco.

En cuanto a la oferta de agua subterránea, se estima que hay una recarga potencial de 5,825 m<sup>3</sup>/ha, en una área de recarga de 224.85 km<sup>2</sup>, la cual representa un potencial de recarga de 130 millones de metros cúbicos anuales. Los recursos hídricos subterráneos en los meses de déficit (noviembre a mayo y también en el mes de julio) no haya recarga, las extracciones son abastecidas por las reservas del acuífero que se han acumulado con el tiempo. La demanda total de la cuenca en función de los usos se estimó en 153 millones de metros cúbicos anuales. En la demanda de agua, el 56.71% es de agua superficial y 43.29% de agua subterráneas. El 94.12% lo representa la demanda del sector agrícola, un 5.09% agua potable y en menor proporción el uso industrial y pecuario.

Para dar paso a la estimación de la disponibilidad neta de la cuenca, se consideraron dos variables importantes en las entradas y salidas del sistema, como son: los flujos de retornos y descargas subterráneas.

El cálculo del flujo de retorno es complicado obtenerlo cuando no se tiene información, un método aplicable es a través del hidrograma anual de escurrimiento natural a partir de los registros disponibles de hidrometría y usando la conservación de la masa (Silva A., Martín I, et al. 2007). Otro método es considerar la diferencia entre el volumen abastecido y los requerimientos ideales de agua, es decir la eficiencia de utilización para los diferentes cultivos que se tengan en la zona. (PHI-UNESCO, 2006). Sin

embargo no se tiene esos datos en la cuenca y para estimarlo se tomaron algunos datos de referencia de algunas bibliografías.

El flujo de retorno para riego se estima en un 20%, el 80% restante es perdido o evapotranspirado. En el caso del agua potable, se estima que del agua captada un 80% retorna como agua residuo y de esta, un 70% retorna al sistema, (Plan de manejo integral de los recursos hídricos - PIRH, Ecuador (1989). Otra fuente tomada, Aparicio-Mijares et al. 2006 y mencionado por Gómez (2013), refieren valores de retorno de 70-80 % para uso público, 5-15 % para uso agrícola y 50-60 % uso industrial. Tomando estos datos de referencia, se empleó: 70 % para agua potable, 15% para riego agrícola, 50 % industrial y para uso pecuario 0 %. Con lo anterior se estimó que el flujo de retorno total de la cuenca es de 3.60 millones de m<sup>3</sup> mensual, es decir 27.7 Mm<sup>3</sup> anuales. El 45.96 % (12.73 millones de m<sup>3</sup>) es flujo de retorno proveniente del uso de agua subterránea y el 54.04 % (14.97 millones de m<sup>3</sup>) aprovechamiento superficial.

Hay que destacar que los flujos de retorno contribuyen a disminuir el déficit en la época de estiaje, sin embargo, aunque es significativo, la disponibilidad en esta época sigue siendo negativa tanto en agua superficial como en el potencial de agua subterránea.

En cuanto a la descarga de agua subterránea del acuífero en la cuenca, se estimó en 1.59 millones de m<sup>3</sup> mensuales, es decir 19.08 millones de m<sup>3</sup> anuales.

A partir del análisis de entradas y salidas, en la cuenca se estimó la disponibilidad de agua en 151.40 millones de metros cúbicos anuales. De estos 93.07 millones son aportados por fuentes superficiales y 58.33 millones por fuentes subterráneas. Cabe señalar que la disponibilidad se da en la época lluviosa, sin embargo, la demanda principal se da en la época de estiaje, época más crítica, en donde se da paso a los conflictos entre usuarios por el uso del agua.

## Conclusiones

La evaluación previa de la cuenca, permitió identificar que la oferta hídrica es de 165 Mm<sup>3</sup> anuales en agua superficial y de 131 Mm<sup>3</sup> en agua subterránea y la demanda es de 153 Mm<sup>3</sup> anuales; estimando que de los usos del agua en la cuenca hay un flujo de retorno de 22 Mm<sup>3</sup> anuales y una descarga de agua subterránea a otras cuencas de 19 Mm<sup>3</sup> anuales, se determinó que la disponibilidad hídrica neta, es de 151 Mm<sup>3</sup> anuales; sin embargo, se considera que la disponibilidad no es constante durante un año hidrológico, ya que se ve afectada en la época de

estiaje con déficit de 4 a 9 Mm<sup>3</sup> anuales en agua superficial y 8 a 9 Mm<sup>3</sup> en agua subterráneas.

Hay que destacar que, en consulta a los registros de concesiones de aprovechamiento de agua otorgados por la Autoridad Nacional del Agua en la cuenca, las extracciones de agua se dan en estación seca (noviembre a abril); en este período, la oferta es inferior a la demanda y lo que sustenta la producción de agua, es el aporte del acuífero a los ríos y las reservas subterráneas, lo que pone en riesgo la sostenibilidad de los recursos hídricos, los cuales se irán agotando con el tiempo y el resultado podría ser catastrófico.

En la evaluación de disponibilidad no se incluye el análisis de los caudales ecológicos, el cual es de suma importancia. En Nicaragua no se tiene normado un valor guía, como referencia se utiliza 10%, que puede o no ser preciso, pero al considerarlo habría que restar ese porcentaje a la disponibilidad estimada.

## Agradecimientos

Esta investigación pudo llevarse a cabo gracias al apoyo de Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos – ERIS- y al Servicio Alemán de Intercambio Académico (DAAD) por el otorgamiento de fondos.

## Referencias

- Angulo J. Máximo E. Plan para la sostenibilidad de los recursos hídricos de la unidad hidrográfica río Sucio, cuenca 64, Nicaragua. Estudio especial para optar al título de Maestro en Ciencia en recursos hidráulicos. ERIS/USAC, 2017. 250 p.
- Autoridad Nacional del Agua: Sistema Nacional de Información Hídrica. Base de datos de información hidrológica. Managua, Nicaragua, 2016. 82 p.
- CNPA. Comité Nacional de Productores de Azúcar. Estadísticas: datos de producción. Managua, Nicaragua, mayo 2017. 2 p. <http://www.cnpa.com.ni/indicadores/>.
- Colacelli Norberto A. Ganadería: Consumo de agua por el ganado. Facultad de Agronomía y Zootecnia. Universidad Nacional de Tucumán, Argentina, febrero 2014.
- Empresa Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados. Abastecimiento público de agua potable. Managua, Nicaragua, 2015.

Fondo de Inversión Social de Emergencia. Base de datos de acueductos rurales. Managua, Nicaragua, 2015.

INETER/MAGFOR. Estudio hidrológico e hidrogeológico para la región del pacifico de Nicaragua. Managua, Nicaragua, 1998. 105 p.

INETER. Datos meteorológicos 1966-2015. Managua, Nicaragua, 2015.

Mapa División Política - Administrativa departamento de Chinandega. Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (Nicaragua). Escala 1:250,000. Proyección universal transversal de Mercator. Managua, Nicaragua, 2010.

Quenca Consulting Group, S.A. Estudio hidrológico e hidrogeológico para la cuenca 64. Managua, Nicaragua, junio 2013. 342 p.

Sánchez F. Javier: Evapotranspiración. Dpto. Geología Univ. Salamanca. Octubre 2010.

Schosinky, G. Calculo de la recarga potencial de acuíferos mediante un balance hídrico de suelo. Revista Geológica, América Central, 2006. 18 p.

Schosinsky, G. & Losilla, M. Modelo analítico para determinar la infiltración con base en la lluvia

mensual.- Rev. Geológica América Central, 2000. 55 p.

Thorntwaite CW, Mather RJ. The water balance. Publications in climatology, laboratory of climatology. Centerton, NJ, 1995. 104 p.

UNI-ANA-PROATAS. Guía de procesamiento de delimitación de unidades hidrográficas bajo metodología Pfafstetter. Managua, Nicaragua. Julio 2014. 44 p.

Velez M. Victoria. Hidráulica de aguas subterráneas. 2da edición, Facultad de Minas, Universidad de Colombia, Medellín, 1999. 156 p.

### **Información del autor**

Ingeniero en Ciencias Agrarias, graduado en la Universidad Popular de Nicaragua, 2008.

Maestro en Planificación y Gestión Territorial de los Riesgos del Agua y del Medio Ambiente, graduado en el Programa Regional de Maestría, INCAP/PREVDA, desarrollado por la Facultad de Química y Farmacia de la Universidad de San Carlos de Guatemala, 2010.

Maestro en Ciencias en Recursos Hidráulicos, graduado en la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos de la Universidad de San Carlos de Guatemala, ciclo 2016-2017.