



**Por un Desarrollo
Agrario Integral
y Sostenible**

**Universidad Nacional Agraria
Facultad de Recursos Naturales y del Ambiente**

Trabajo de Graduación

**Estimación del potencial hídrico en las
microcuencas Jalapa, La Tablazón, Inalí y
Guayucalí ubicadas en las Segovias, 2018-2019**

Autora:

Br: Katya Abigail Romero Soza

Asesores:

**Ing. Alex Castellón Meyrat
Ing. Mp. Álvaro Martínez Gadea
Ing. MSc. Henry Duarte Canales**

**Managua, Nicaragua
Octubre, 2020**



“Por un Desarrollo Agrario
Integral y Sostenible”

Universidad Nacional Agraria
Facultad de Recursos Naturales y del Ambiente

**Tesis para optar al grado de Ingeniero en
Recursos Naturales Renovables**

**Estimación del potencial hídrico en las microcuencas
de Jalapa, La Tablazón, Inalí y Guayucalí ubicadas
en las Segovias, 2018-2019**

Autora:

Br. Katya Abigail Romero Soza

Asesores:

Ing. Alex Castellón Meyrat

Ing. Mp. Álvaro Martínez Gadea

Ing. MSc. Henry Duarte Canales

Managua, Nicaragua

Octubre, 2020

El presente trabajo de graduación fue evaluado y aprobado por el honorable tribunal examinador designado por la decanatura de la Facultad de Recursos Naturales y del Medio Ambiente, como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO EN RECURSOS NATURALES
RENOVABLES

Miembros del tribunal examinador



Presidente

Mp. Mario César Gutiérrez Alarcón



Secretario

MSc. Raquel Dolores Izabá Ruíz



Vocal

Ing. Norland Antonio Méndez Zelaya

Managua, Nicaragua
Octubre, 2020

INDICE DE CONTENIDO

SECCION	PAGINA
DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTO	ii
INDICE DE CUADROS	iii
INDICE DE FIGURAS	iv
INDICE DE ANEXOS	v
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	2
2.1 Objetivo General	2
2.2 Objetivos específicos.	2
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	3
3.1 Descripción del área de estudio	3
3.2 Características biofísica	4
3.2.1 Microcuenca Jalapa	4
3.2.2 Microcuenca La Tablazón	5
3.2.3 Microcuenca Inalí	6
3.2.4 Microcuenca Guayucalí.....	7
3.3 Proceso Metodológico	8
3.4 Método para la Estimación de la morfología de la Cuenca	9
a) Parámetros de forma	10
b) Parámetros de relieve	10
c) Parámetros de drenaje	11
3.5 Estimación Hidrométrica	11
3.6 Realización del Balance Hídrico.....	14
3.6.1 Capacidad de Retención de Agua Disponible en el suelo (CRAD)	14
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	16
4.1 Características morfológicas de las microcuencas	17
4.1.1 Parámetros de forma.....	17
4.1.2 Parámetros de relieve	18
<i>Curva Hipsométrica</i>	18
4.1.3 Parámetros relativos a la red de drenaje	22
4.1.4 Densidad de corrientes y de drenaje.....	23

<i>Mediciones de caudales</i>	23
4.2. Balance Hídrico	24
V. CONCLUSIONES	28
VI. RECOMENDACIONES	29
VII. LITERATURA CITADA	30
VIII. ANEXOS	32

DEDICATORIA

Dedico este trabajo principalmente a Dios padre todo poderoso que me ha permitido culminar mis estudios, brindándome salud y tiempo.

A mis padres: Sra. Martha Soza y Sr. Robert Romero que han estado a mi lado todo este tiempo brindándome su apoyo incondicional y por brindarme formación personal y profesional.

A mis hermanos Roberto Haniel, Anielka Azucena, Abner (q.e.p.d) y Jack Andrew; por brindarme sus consejos y apoyo para poder culminar mis estudios, ya que fueron una base fundamental para alcanzar mi meta.

A mi abuelita, Sr. María del Pilar Ramírez Obando; por estar conmigo en todo momento.

A mis cuñados: Ing. Jorge Sequeira y Dr. Gema Araica, Gracias por su amistad, consejos y por haber compartido sus conocimientos los cuales me fueron y serán de mucha ayuda en mi vida tanto personal como profesional.

A una persona especial, Ing. Carlos Haar; por su apoyo y amor incondicional en los momentos más difíciles.

A mis amigas, Yashibeth Ow; quien estuvo motivándome y ayudándome hasta donde sus alcances lo permitían, y María Benavidez; por brindarme su apoyo y sus consejos.

A Sra. Isabel Muñoz, que incondicionalmente y con gran sacrificio desinteresado me brindó su apoyo.

A mis amigos de la universidad; Oscar Velásquez, Gilberth Hernández, Yarince Delgado; por compartir los momentos de felicidad y tristeza durante la carrera.

A mis compañeros de la carrera Ing. Recursos Naturales generación 2013.

Así mismo, a todas aquellas personas que de forma directa e indirecta me apoyaron para la culminación de este trabajo.

Katya Abigail Romero Soza

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios padre, por permite la vida y salud a mi mamá por su inmenso apoyo en los momentos más difíciles.

A mis asesores Ing. MP. Álvaro Martínez, Ing. Alex Castellón e Ing. MSc. Henry Duarte; por su apoyo durante el proceso de realización de esta investigación. Gracias por la confianza que depositaron en mí y brindarme todo su apoyo.

A los profesores MSc. Miguel Garmendia, Ing. MP. Mario Gutiérrez, Ing. MSc. Álvaro Benavides y a un gran maestro Ing. Claudio Calero (q.e.p.d); por su tiempo y su valiosa contribución para poder culminar esta investigación.

Al Ing. Dimas Mayorga; por su tiempo y ayuda en la etapa de campo y al Ing. José Ariel Cruz; por su apoyo incondicional.

A los docentes del Departamento de Cuencas, muchas gracias por toda la ayuda brindada.

A los docentes de la Facultad de Recursos Naturales y del Ambiente que contribuyeron a mi formación profesional.

De manera perseverante, agradezco a las Familias de las comunidades y Promotores que trabajaron en los nueve municipios de los departamentos de Nueva Segovia, Madriz y Estelí, así como Community Agroecology Network (CAN), Santa Clara University (SCU), Centro de Información e Innovación de la Asociación de Desarrollo Social de Nicaragua (CII-ASDENIC), la asociación de la Central de Cooperativas (PRODECOP R, L), Fundación AGROPOLIS y la Universidad Nacional Agraria, en el marco del proyecto “*Asesorando Estrategias de Diversificación en Sistemas de Café de Pequeños Productores en Mesoamérica*”.

Katya Abigail Romero Soza

INDICE DE CUADROS

CUADRO	PÁGINA
1. Clasificación de forma según Coeficiente de Gravelius (Cg).	10
2. Ubicación de Puntos en las zonas de descarga de las microcuencas.	12
3. Parámetros de forma de las cuatro microcuencas, 2018 - 2019.	17
4. Parámetros de Relieve de las cuatro microcuencas, 2018 - 2019.....	18
5. Orden de Corrientes de las cuatro microcuencas, 2018 - 2019.	22
6. Densidad de corrientes y de drenaje de las cuatro microcuencas, 2018 - 2019.....	23
7. Caudal circulante en las cuatro microcuencas de las Segovias.	24

INDICE DE FIGURAS

FIGURA	PÁGINA
1. Ubicación de las cuatro microcuencas estudiadas localizadas en los municipios de Jalapa, Dipilto, San Lucas y Condega 2018 – 2019.....	3
2. Esquema de proceso metodológico para la estimación del potencial hídrico en las microcuencas Jalapa, La Tablazón, Inalí y Guayucalí ubicadas en Las Segovias, 2018-2019...9	9
3. División de la sección transversal del cauce	13
4. Mapa Microcuenca Jalapa.	16
5. Mapa Microcuenca La Tablazón.	16
6. Mapa Microcuenca Inalí.....	16
7. Mapa Microcuenca Guayucalí.	16
8. Curva hipsométrica, características del ciclo de erosión, según (Strahler, 1964).	19
9. Curva hipsométrica microcuenca Jalapa, 2018 - 2019.....	19
10. Curva hipsométrica microcuenca La Tablazón 2018 - 2019.....	20
11. Curva hipsométrica microcuenca Inalí, 2018 - 2019.	21
12. Curva hipsométrica microcuenca Guayucalí, 2018 - 2019.	21
13. Balance hídrico de la microcuenca Jalapa, 2018 - 2019.	24
14. Balance hídrico de la microcuenca La Tablazón, 2018 - 2019.....	25
15. Balance hídrico de la microcuenca Inalí, 2018 - 2019.....	26
16. Balance hídrico de la microcuenca Guayucalí, 2018 - 2019.	27

INDICE DE ANEXOS

ANEXO	PÁGINA
1. Formato de datos para determinar curva hipsométrica.	32
2. Formato de aforo de caudal en los puntos.	32
3. Balance hídrico Jalapa.	33
4. Balance hídrico La Tablazón.	33
5. Balance hídrico Inalí.	34
6. Balance hídrico Guayucalí.	34
7. Fotos de la microcuenca Jalapa.	35
8. Fotos de la microcuenca La Tablazón.	35
9. Fotos de la microcuenca Inalí.	35
10. Fotos de la microcuenca Guayucalí.	35

RESUMEN

La economía de Nicaragua está principalmente sustentada en las actividades agropecuarias y este sector es el que ejerce mayor demanda de los recursos hídricos. Esto sumado a las prácticas irracionales de uso y manejo del recurso han inducido a su deterioro y reducción en su oferta, lo que origina en muchos lugares del país inseguridad alimentaria y nutricional. El presente estudio se estimó el potencial hídrico en cuatro microcuencas ubicadas en Las Segovias de Nicaragua; para ello, se hizo una caracterización de parámetros morfológicos de las microcuencas, así como, mediciones de caudales mediante el método relación sección-velocidad a través de un correntómetro, seguido del balance hídrico de suelo por el método de Thorntwaite. De las cuatro microcuencas, dos tienen forma rectangular Oblonga y dos tienen forma oval redonda, con pendientes medias desde 6.13 a 9.80% y elevaciones desde 1175 a 1411 msnm, con densidades de drenaje de 0.68 a 1.48 km de corrientes por km². La estimación del potencial hídrico de las cuatro microcuencas presenta una oferta máxima de 17.71 MMC para Jalapa y una mínima de 1.18 MMC para Guayucalí. El mayor potencial hídrico está representado por el exceso medio anual, estimado a partir del análisis de una serie de 40 años de registros por cada microcuenca.

Palabras claves: Morfología, Balance hídrico, Microcuencas

ABSTRACT

The Nicaraguan economy is mainly supported by agricultural activities and this sector is the one that exerts the greatest demand for water resources. This situation, added to the irrational practices of use and management of the resource, have led to the deterioration and water supply reduction, which causes food and nutritional insecurity around the country. This study estimated the water potential in four micro-watersheds located in Las Segovias, Nicaragua; to accomplish this objective, a characterization of the morphological parameters of the micro-watersheds was conducted, as well as flow measurements using the section-velocity relationship method through a current meter, followed by the soil water balance using the Thorntwaite method. From the four micro-basins, two have an oblong-rectangular shape and two have a round-oval shape, with range slopes from 6.13 to 9.80% and elevations from 1175 to 1411 m.a.s.l., with drainage densities from 0.68 to 1.48 km of streams per km². The estimate of the water potential of the four micro-basins presents a maximum supply of 17.71 MMC for Jalapa and a minimum of 1.18 MMC for Guayucalí. The greatest water potential is represented by the annual mean excess, estimated from the analysis of a series of 40 years of records for each micro-watershed.

Keywords: Morphology, Water balance, Micro-watersheds

I. INTRODUCCIÓN

Nicaragua posee un potencial hídrico abundante (recursos hídricos renovables) de 27,059/m³ percapita por habitante por año (FAO-AQUASTAT, 2013), lo que se encuentra arriba incluso del promedio centroamericano. Sin embargo, en las últimas dos décadas ha sufrido una reducción progresiva a 10,830 m³ percapita por habitante por año (Montenegro, 2016), esto es preocupante para el presente y futuro del país que necesita asegurar el acceso al agua para diferentes sectores productivos y la población y asegurar su desarrollo.

La economía nacional esta principalmente sustentada en las actividades agropecuarias, siendo este sector uno de los principales usuarios del recurso hídrico, sin embargo, las prácticas inadecuadas de uso y manejo del agua han inducido la reducción, contaminación y hasta la extinción de muchas fuentes de agua. Esto ha reducido de manera significativa la oferta hídrica, para las diferentes actividades socioeconómicas.

Las Segovias del país, se han visto fuertemente impactadas por los efectos del cambio climático principalmente por la irregularidad en las precipitaciones. Esto ha limitado sus procesos productivos y una reducción de sus ingresos, debido a la desaparición de medios de vida, entre ello bajos rendimientos productivos manifestándose en problemáticas relacionadas a la seguridad alimentaria y nutricional. Esta situación así la percibió el sondeo realizado por el proyecto “Asesorando Estrategias de Diversificación en Sistemas de Café de Pequeños Productores en Mesoamérica” y de manera agudizadas en las microcuencas de La Tablazón del municipio de Dipilto, Jalapa del mismo municipio, Inalí del municipio de San Lucas y Guayucalí del municipio de Condega.

El proyecto “Asesorando Estrategias de Diversificación en Sistemas de Café de Pequeños Productores en Mesoamérica”, considera necesario realizar una estimación del potencial hídrico de cada una de las microcuencas antes mencionadas, a fin de que los productores cuenten con una información básica, pero muy crucial para la toma de decisiones al momento de emprender sus actividades productivas.

II. OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

Estimar el potencial hídrico en las microcuencas río Jalapa, microcuenca río la Tablazón, microcuenca río Inalí y microcuenca río Guayucalí, 2018 – 2019.

2.2 Objetivos específicos.

1. Realizar la caracterización biofísica y morfología de las microcuencas del río Jalapa, río La Tablazón, río Inalí y río Guayucalí.
2. Realizar el balance hídrico de suelo en las cuatro microcuencas seleccionadas de interés para el proyecto “Asesorando Estrategias de Diversificación en Sistemas de Café de Pequeños Productores en Mesoamérica”.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Descripción del área de estudio

El presente estudio se realizó en cuatro microcuencas localizadas en los municipios de Jalapa, Dipilto, San Lucas y Condega respectivamente.

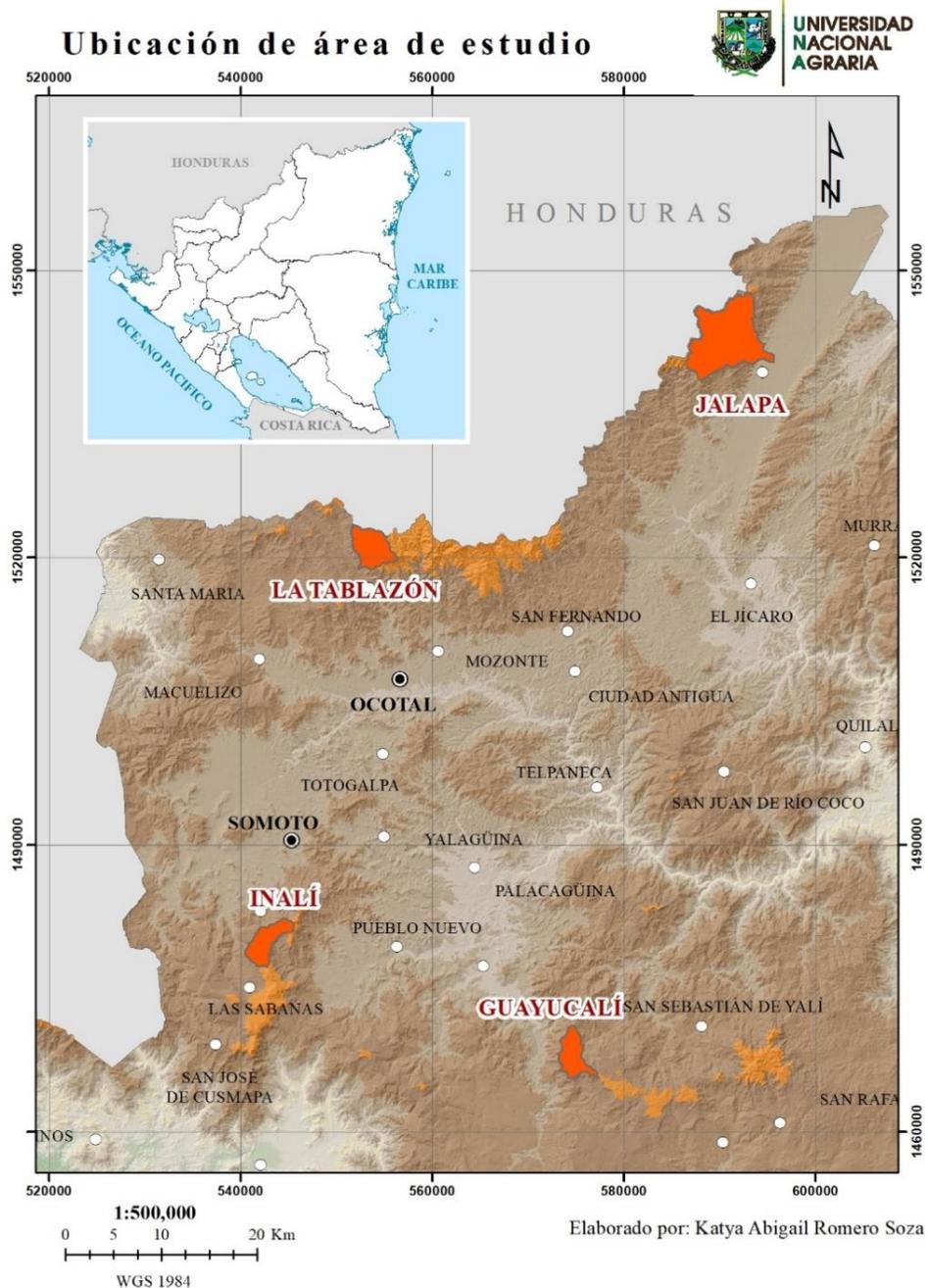


Figura 1. Ubicación de las cuatro microcuencas estudiadas localizadas en los municipios de Jalapa, Dipilto, San Lucas y Condega 2018 – 2019.

3.2 Características biofísica

3.2.1 Microcuenca Jalapa

La microcuenca Jalapa, se encuentra ubicada en el municipio Jalapa, presenta un área de 46.32 km². Limita al norte con la comunidad San Rafael, al sur con el cerro San Francisco, al este con el casco urbano de Jalapa y al oeste con Honduras. Está ubicada en las coordenadas de latitud N 13.95° y longitud W 86.15°.

Clima

El clima es característico de la zona tropical lluviosa, moderadamente fresca y húmeda (sabana tropical de altura). La temperatura media anual oscila entre los 21°C a 23°C, con precipitación de 1,400 mm anualmente (Alcaldía municipal Jalapa, 2012).

Hidrología

La red de drenaje está conformada por una serie afluentes conocidos como: El Subterráneo, Santa Rosa, Quebrada Grande, Las Nubes y La Providencia y todos convergen en el río principal de Jalapa o Solonlí, el cual se constituye como un tributario del río coco.

Geología

La microcuenca Jalapa se encuentra ubicada sobre la formación Batolito de Dipilto, se caracteriza por presentar rocas intrusivas ácidas, granito y granodiorita, constituidas por minerales de cuarzo, feldespatos y plagioclasas (INETER, 2005).

Flora

La flora de la microcuenca de Jalapa es rica y abundante predominando las especies de latifoliados y coníferas. Algunas de estas especies de latifoliados son: Cortez (*Tabebuia ochracea ssp. Neochrysantha*), Ceiba (*Ceiba pentandra (L.) Gaertn.*), Laurel (*Cordia gerascanthus L.*), Chilamate (*Ficus trigonata L.*), Madero Negro (*Gliricidia sepium (Jacq.) Kunth ex Walp.*), Cedro Real (*Cedrela odorata*), Aceituno (*Simarouba amara*), Guachipilín (*Diphysa americana (Mill.) M. Sousa*), entre otras y Coníferas. (Alcaldía municipal Jalapa, 2012).

Suelo

Los suelos de la microcuenca de Jalapa varían entre los órdenes de Alfisol, Ultisol, Mollisol y Inceptisol (INETER y UNA, 2015).

3.2.2 Microcuenca La Tablazón

La microcuenca La Tablazón, se encuentra ubicada en el municipio de Dipilto, presenta un área de 14.03 km². Limita al norte con Honduras, al sur con el poblado de Dipilto viejo, al este con el cerro volcán viejo y al oeste con la comunidad La Garnacha. Está comprendido en las coordenadas de latitud N 13.45° y longitud W 86.5°.

Clima

El clima que predomina en la microcuenca es sub-húmedo, donde las temperaturas medias anuales son estables, oscilando éstas entre 18.60 a 24.5 °C y temperatura media de los meses más fríos (noviembre a diciembre) con 19.9 °C. (Alcaldía municipal Dipilto, 2012).

Hidrología

La red de drenaje está conformada por una serie afluentes conocidos como: Las Nubes, El Volcán, El Trigal y Orocuina; todos convergen en el río principal La Tablazón, el cual se constituye como un tributario del río Dipilto y éste a su vez del río coco.

Geología

La microcuenca La Tablazón se encuentra ubicada sobre la formación Batolito de Dipilto, se caracteriza por presentar rocas intrusivas ácidas, granito y granodiorita, constituidas por minerales de cuarzo, feldespatos y plagioclasas (INETER 2005).

Flora

En la microcuenca existen grandes extensiones de bosques de pino y Latifoliados, solamente en la cordillera de Dipilto y Jalapa se encuentran estos tipos de vegetación (Alcaldía municipal Dipilto, 2012).

Suelo

Los suelos de la microcuenca La Tablazón varían entre los órdenes de Ultisoles, Entisoles y Inceptisoles (INETER y UNA, 2015).

3.2.3 Microcuenca Inalí

La microcuenca Inalí se encuentra ubicada en el municipio de San Lucas, presenta un área de 11.56 km². Limita al norte con el poblado de San Lucas, al sur con el poblado La Sabana, al este con el cerro El Rodeo y al oeste con la meseta Moropoto. Está comprendido en las coordenadas de latitud N 13.38° y longitud W 86.6°.

Clima

Se caracteriza por tener un clima de tipo tropical seco, tornándose húmedo en las partes elevadas y montañosas. La temperatura promedio oscila entre los 25 a 27 °C. La precipitación media anual varía entre los 1000 a 1400 mm (Alcaldía municipal San Lucas, 2012).

Hidrología

La red de drenaje está conformada por una serie afluentes conocidos como: La Lima que converge en el río principal de Inalí, el cual se constituye como un tributario del río coco.

Geología

La microcuenca Inalí se encuentra ubicada sobre las formaciones del grupo Coyoil superior e interior, se caracteriza por rocas volcánicas: lavas basálticas, andesíticas y dacíticas, ignimbritas y tobas (INETER 1995).

Flora

La mayor parte de la microcuenca presenta una flora predominante de especies latifoliadas, como matorrales combinada con una escasa cobertura de arbustivas y árboles de tamaño considerable. (Alcaldía municipal San Lucas, 2012).

Suelo

Los suelos de la microcuenca Inalí son del suborden inceptisol y Molisol (INETER y UNA, 2015).

3.2.4 Microcuenca Guayucalí

La microcuenca Guayucalí, se encuentra ubicada en el municipio de Condega, presenta un área de 11.28 km². Limita al norte con el cerro Manaslagua, al sur con las Loma Las Tinajas, al este con la comunidad La Laguneta y al oeste con la Loma La Cueva. Está comprendido en las coordenadas de latitud N 13.26° y longitud W 86.3°.

Clima

Presenta un clima de sabana tropical que tiene sus variaciones según su altitud, con temperaturas desde 22.6 a 24.2 °C, siendo la media anual 6 a 24°C. y precipitaciones que oscilan de 800 a 900 mm anuales caracterizándose como zona seca. (Alcaldía municipal Condega, 2012).

Hidrología

La red de drenaje está conformada por una serie afluentes conocidos como: El Coyol y Los Corralitos estos convergen en el río principal de Guayucalí, el cual se constituye como un tributario del río coco.

Geología

La microcuenca Guayucalí se encuentra ubicada sobre las formaciones del grupo Coyol superior y grupo coyol interior (Revisar en mapa), se caracteriza por rocas volcánicas: lavas basálticas, andesíticas y dacíticas; ignimbritas y tobas (INETER, 1995).

Flora

El territorio está cubierto por diferentes tipos de bosques, está cubierto por tacotales. La disponibilidad para actividades agropecuarias es baja (ENACAL, 2017).

Suelo

Los suelos de la microcuenca Guayucalí son Entisol; Suelos muy poco evolucionados (es el orden de suelos con más baja evolución). Sus propiedades están ampliamente determinadas (heredadas) por el material original. y Alfisol; Suelos con horizonte diagnóstico argílico saturado. (Revisar sus características y mejor preguntar) (INETER y UNA, 2015).

3.3 Proceso Metodológico

El estudio se realizó en tres etapas de trabajo: a) Planificación, b) Recolección de datos, c) Procesamiento de datos.

Planificación: En esta etapa se realizaron sesiones de trabajo para seleccionar las microcuencas y fuentes de agua próximas a fincas beneficiarias por el proyecto “Asesorando Estrategias de Diversificación en Sistemas de Café de Pequeños Productores en Mesoamérica”.

Recolección de datos en campo: Se realizaron giras de campo a las fincas seleccionadas, en las que se realizó aforos a corrientes superficiales empleando el método relación sección velocidad, también se aplicó una entrevista a los productores de las fincas, para conocer sobre los usos del suelo en sus fincas y los principales usos del agua.

Procesamiento de datos: Se procedió a realizar la caracterización de la morfometría de cada microcuenca; seguido de la organización de toda la información recopilada en bases de datos; posteriormente se elaboró el balance hídrico de suelos para cada unidad hidrográfica, utilizando la base de datos climática de las siguientes estaciones de INETER: 450247, San Lucas; 45017, Ocotlán; 45033, Jalapa y 45050, Condega. Que comprende el periodo de 40 años (1971 – 2010).

A continuación, se refleja el flujo metodológico que resume las etapas del trabajo

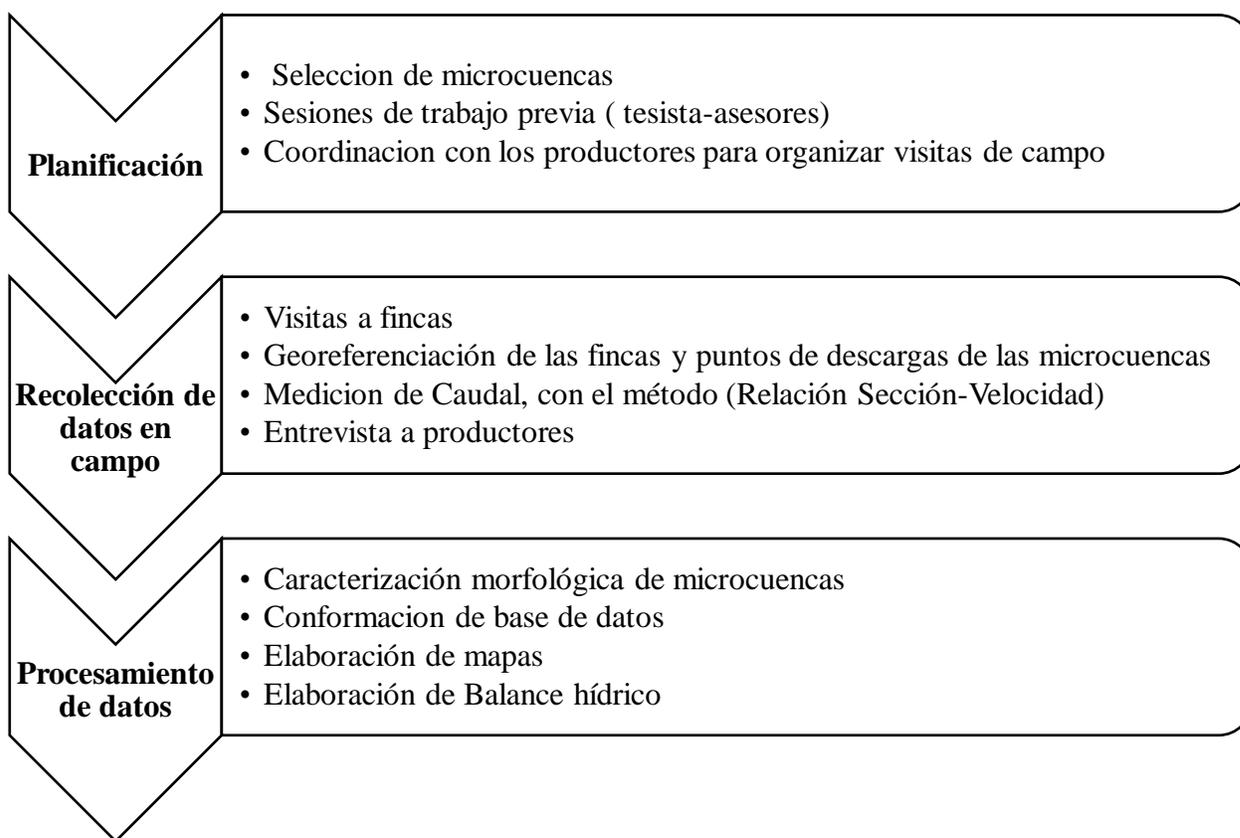


Figura 2. Esquema de proceso metodológico para la estimación del potencial hídrico en las microcuencas Jalapa, La Tablazón, Inalí y Guayucalí ubicadas en Las Segovias, 2018-2019.

3.4 Método para la Estimación de la morfología de la Cuenca

Los parámetros morfológicos intentan reflejar las características de la cuenca en cuanto a su forma y la influencia en la respuesta a las precipitaciones, ya que estos fenómenos en gran parte están controlados por las características geomorfológicas de la cuenca. Estos parámetros son deducidos a partir de la cartografía, (Gámez,2010).

La caracterización morfológica de las microcuencas en estudio se realizó con ayuda del ArcGIS 10.3, se inició con: a) Parámetros de forma, b) Parámetros de relieve, c) parámetros relativos a la red de drenaje, recortando las áreas de trabajo, a escalas en rangos de 1: 27,000 hasta 1: 50,000.

a) Parámetros de forma

Los parámetros de forma estimados fueron el área, perímetro y el coeficiente de Gravelius. El coeficiente de Gravelius se utilizó para relacionar el perímetro con el área de cuenca y así conocer la forma mediante la siguiente expresión (Gámez, 2010).

$$C_g = \frac{P}{2(3.1416 * A)^{0.5}}$$

Dónde:

Cg: Coeficiente de Gravelius

P: Perímetro de la cuenca en km

A: Área de la cuenca en km²

Cuadro 1. Clasificación de forma según Coeficiente de Gravelius (Cg).

Cg	Forma
1.00 – 1.25	Rectangular Oblonga
1.25 – 1.50	Oval Redonda
1.50 – 1.75	Oval Redonda
1.75	Rectangular Oblonga

b) Parámetros de relieve

Dentro de los parámetros de relieve están elevación media, pendiente media. La altitud media de la cuenca se calculó con la curva hipsométrica que representa la relación curva-área-elevación donde el área se representa en porcentaje y el 50% corresponde a la elevación media de la cuenca (Gámez, 2010). Ver anexo 1.

La pendiente media del cauce principal de la cuenca, se estimó a partir del modelo de elevación digital (DEM) y a partir de este se obtuvo la pendiente media utilizando la herramienta ArcToolbox, Spatial Analyst Tools, Surface, Slope.

c) **Parámetros de drenaje**

Dentro de los parámetros de drenaje estimados fueron orden de corrientes, densidad de drenaje y densidad de corriente.

Número del orden de la red hídrica:

Los órdenes de corrientes se definieron según los criterios sugeridos por Horton, (1945). El cual consiste en identificar y asignar números a cada orden de corriente, como primer orden aquellos que no tienen tributarios; segundo orden, aquellas corrientes con dos o más tributarios de primer orden; y de tercer orden, aquellas corrientes que tienen dos o más tributarios de segundo orden (Gámez, 2010). posteriormente estimamos la longitud de las corrientes a lo largo del eje de las microcuencas, considerando los meandros, para ello se utilizó el mapa de la red de drenaje de las microcuencas en estudio.

La Densidad de drenaje se obtuvo al aplicar la siguiente relación:

$$Dd = \Sigma Lc/A$$

Donde:

Dd: Densidad de drenaje (Lc/km)

Lc: Longitud total de las corrientes (km)

A: Área de la cuenca (km²)

La Densidad de corriente se obtuvo al aplicar la siguiente relación:

$$Dc = \Sigma Nc/A$$

Donde:

Dc: Densidad de corrientes, Nc/ km².

Nc: Número de corrientes.

A: Área total de la cuenca, en km².

3.5 Estimación Hidrométrica

Hidrometría: es la rama de la hidrología que estudia la medición del escurrimiento. Para este mismo fin, es usual emplear otro término denominado aforo de caudales. Aforar una corriente, significa determinar a través de mediciones, el caudal que pasa por una sección dada y en un momento dado (Villón, 2002).

Relación sección-velocidad: Consiste básicamente en medir la velocidad en varios puntos de la sección transversal y después calcular el gasto por medio de la ecuación de continuidad (Gámez, 2010).

Aforo con molinete: Estos son aparatos que miden la velocidad, en un punto dado del curso del agua. Esta velocidad es medida en los instrumentos, por medio de un órgano móvil, que detecta la velocidad de la corriente y transmite las indicaciones de un interruptor encargado de cerrar un circuito eléctrico, cuando ha dado un cierto número de vueltas, sobre un contador (de impulsiones de sonido, señales luminosas, digitales, etc.), (Villón 2002).

Cuadro 2. Ubicación de Puntos en las zonas de descarga de las microcuencas.

Microcuencas	Coordenadas		Fuente hídrica
	UTM WGS84		
	X	Y	
Jalapa	595017	1540468	Jalapa
La Tablazón	552878	1520329	La Tablazón
Inalí	541474	1478768	Inalí
Guayucalí	574479	1466049	Guayucalí

Metodología para medir caudales en las microcuencas:

- a) Descripción del método relación sección velocidad, para el aforo de corrientes.

Para conocer el caudal de la fuente hídrica principal de cada microcuenca, se hicieron aforos empleando el método sección velocidad utilizando el molinete para determinar velocidad, se desarrolló los siguientes pasos:

- b) Identificar el sitio idóneo en la fuente hídrica en la que se realizó el aforo (acceso al sitio, condiciones del cauce).
- c) Se dividió la sección transversal del cauce en pequeñas secciones o tramos preferiblemente iguales y medir la profundidad en cada sección (inicio y final de cada sección).

- d) El molinete se colocó en cada sección a 0.2 y 0.8 m de la profundidad para obtener una velocidad media en la sección (FAO, 1997). En aguas poco profundas solo se hizo una medición a 0.6 m de la profundidad y la velocidad en cada punto la obtendremos de manera directa en la pantalla digital.
- e) El caudal se calculó, por cada sección a partir del área y su velocidad estimada, por cada sección. El área de cada sección se estimó multiplicando el ancho de la sección por la profundidad de cada sección y para obtener el caudal, (Anexo 2).

V1 y V2 son las velocidades de cada sección y el promedio es la velocidad media (Gámez, 2010). Para calcular el área de la sección transversal, ésta se dividió en tramos según el ancho de la fuente y se midió la profundidad en cada tramo (Anexo 2).

- f) El área de la sección transversal se obtendrá mediante la fórmula siguiente:

$$A = b (d_1 + d_2 + d_3 + \dots + d_n)$$

Donde:

A: Área en (m²)

d: Profundidad del tramo (m)

b: Ancho de cada tramo (m)

Se deben considerar varias secciones en toda la longitud (por lo menos 3) para tener un área promedio (Villón 2002).

- g) El caudal se estimó utilizando la fórmula a continuación.

$$Q = A * V$$

Donde:

Q: caudal en m³ s⁻¹

A: Área de la sección transversal en m²

V: Velocidad del flujo en m s⁻¹

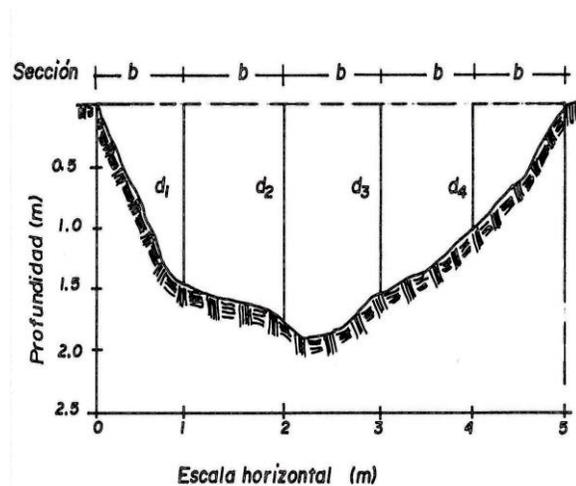


Figura 3. División de la sección transversal del cauce

3.6 Realización del Balance Hídrico

Según Gámez (2010), el balance hídrico es la evaluación cuantitativa de la economía hídrica en un lugar y tiempo determinado. Permite establecer cuantitativamente los recursos de agua existentes y, por tanto, planificar su utilización.

El balance hídrico desarrollado en las microcuencas se logró empelando el método de Thornthwaite, el cual fue desarrollado en los Estados Unidos y se puede aplicar con relativa confianza en regiones húmedas, como Costa Rica y Nicaragua (Villón, 2002).

Se realizó el balance hídrico para las cuatro microcuencas, iniciando por el cálculo de la evapotranspiración (Villón 2002), empleando las siguientes formulas:

$$e = 16\left(10\frac{t}{I}\right)^a$$

$$i = \left(\frac{t}{5}\right)^{1.514}$$

Donde:

e = ET mensual en mm/mes de 30 días/12 horas de duración

t = temperatura media mensual en °C

I = índice térmico anual = Σi = sumatoria del índice térmico mensual

a = exponente que varía con el índice anual de calor de la localidad.

3.6.1 Capacidad de Retención de Agua Disponible en el suelo (CRAD)

Se trata de un concepto de utilidad en suelos bien drenados, que han sido ampliamente regados. El CRAD, es la cantidad de agua en un perfil del suelo que puede extraerse teóricamente por la planta, después de que ha drenado libremente por gravedad durante un período de tiempo, y ha sido definida por la diferencia en el contenido de humedad entre la CC y el PMP (Valero, 1999).

Para realizar la estimación del CRAD, se levantó las variables de campo, como textura, H (profundidad del suelo), Da (densidad aparente), CC (capacidad de campo), PMP (Punto de Marchitez Permanente), en la zona de estudio donde ocurre la evapotranspiración (CRAD), y es proporcional a la profundidad del sistema radicular de las plantas es por ello que la conjugación

de dichas variables nos da la aproximación necesaria de humedad retenida por el suelo que es asimilable, por las plantas.

$$CRAD = H \times Da \times (CC - PMP)/100 \text{ (Valero, 1999)}$$

Donde:

CRAD: Capacidad de Retención de Humedad del Suelo (cm)

H: profundidad del suelo (cm) a la que llegan las raíces

Da: densidad aparente del suelo (g/cm³)

CC: Capacidad de Campo (%)

PMP: Punto de Marchitez Permanente (%)

Variables a estimar en el balance hídrico son las siguientes:

Las variables temperatura y precipitación en medias multianuales, se obtuvo de los registros de las estaciones meteorológicas del INETER localizadas en los cuatro municipios.

P: Precipitación

ETP: Evapotranspiración Potencial

P-ETP: Se calculó restando la precipitación de la ETP.

PPA: Es la pérdida potencial acumulada. Se calcula sumando la P-ETP del mes a la PPA del mes anterior, solo se calcula en la estación seca y se inicia con el valor del mes que es negativo.

RES: Es la reserva se calcula con una función exponencial en función del CRAD a como sigue = $CRAD \exp (ppa/CRAD)$.

VAR: Es la variación de la reserva y se calcula reserva del mes actual menos reserva del mes anterior.

ETR: Se calcula restando la precipitación del mes menos la variación de la reserva del mismo mes, cuando la ETR es mayor que la ETP se pone entonces el mismo valor de la ETP, nunca debe ser mayor que la ETP.

DEF: Se calcula restando la ETP menos la ETR del mismo mes.

EXC: Siempre es positivo y se calcula restando (P-ETP) menos la VAR (variación de la reserva).

DRE: Es el exceso del mes más drenaje del mes anterior entre dos. Se inicia a calcular a partir del primer mes que hay exceso.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Mapa de las cuatro microcuencas de Las Segovias 2018 – 2019.

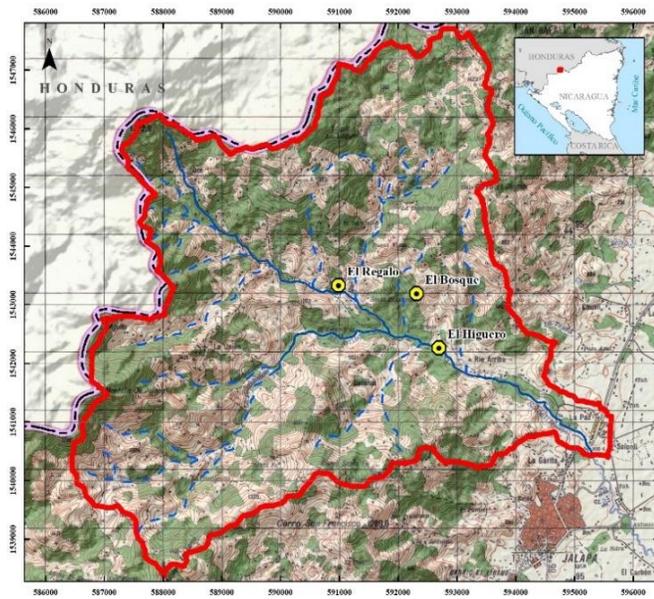


Figura 4. Mapa Microcuenca Jalapa.

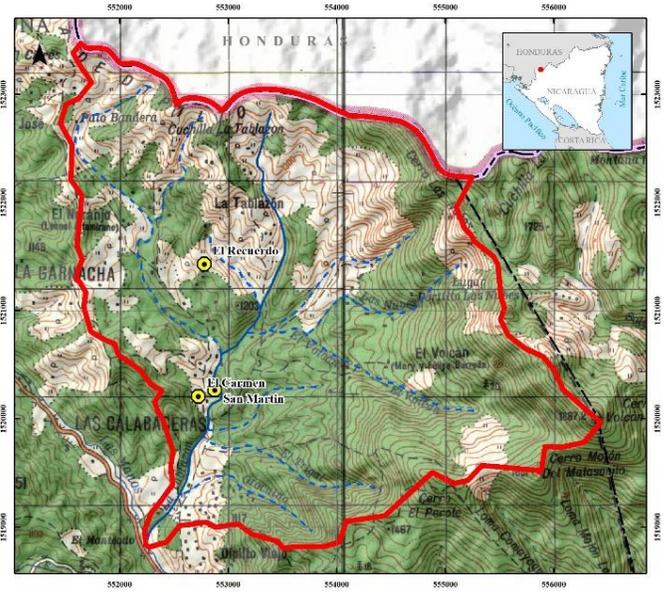


Figura 5. Mapa Microcuenca La Tablazón.

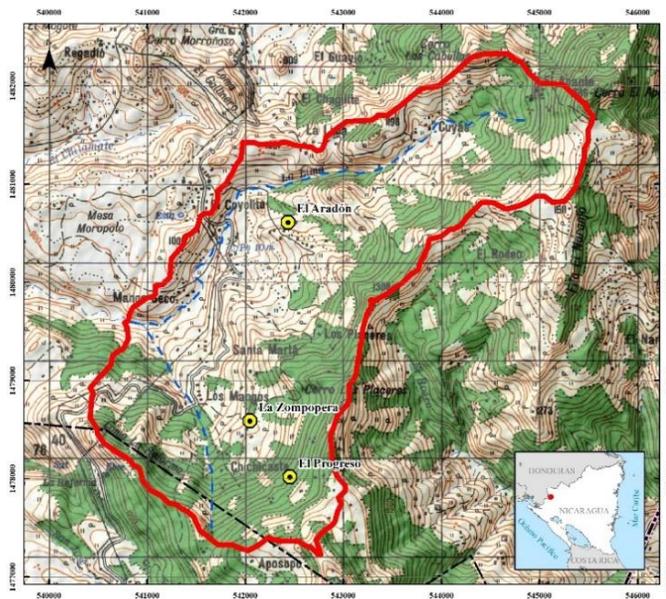


Figura 6. Mapa Microcuenca Inalí.

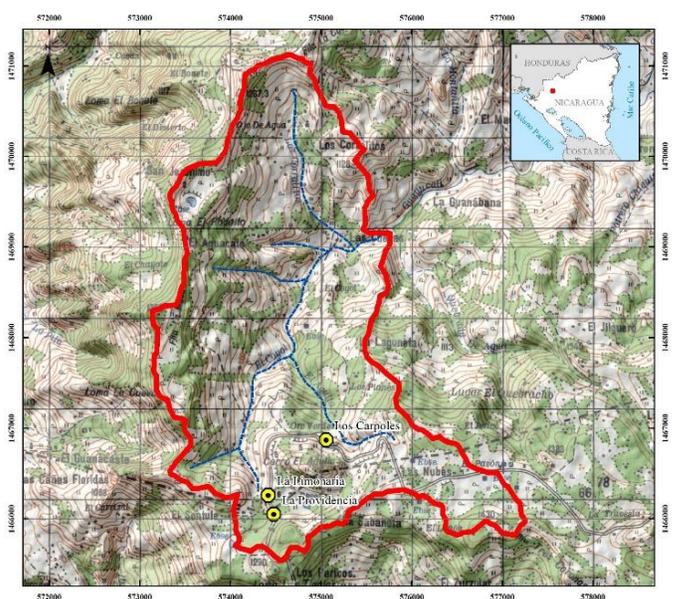


Figura 7. Mapa Microcuenca Guayucalí.

4.1 Características morfológicas de las microcuencas

Las características morfológicas de las cuatro microcuencas localizadas en Las Segovias de Nicaragua incluyen: el área, perímetro, la forma, pendiente del cauce principal, pendiente media, altitud media y lo relativo a su red de drenaje.

4.1.1 Parámetros de forma

La microcuenca de Jalapa fue la más extensa con 46.32 km² con respecto al resto (Cuadro 3), la cual resultó tener forma rectangular oblonga según el índice de Gravelius (1.56), siendo similar a la microcuenca Guayucalí (1.57).

Cuadro 3. Parámetros de forma de las cuatro microcuencas, 2018 - 2019.

Microcuenca	Área km ²	Perímetro km	CG*	Forma
Jalapa	46.32	38.04	1.56	Rectangular Oblonga
La Tablazón	14.03	17.65	1.32	Oval Redonda
Inalí	11.56	17.22	1.42	Oval Redonda
Guayucalí	11.28	18.85	1.57	Rectangular Oblonga

*Coeficiente de Gravelius, (Gámez, 2010).

Es posible que estas microcuencas por sus formas y áreas, presenten escurrimientos graduales que pueden favorecer la respuesta ante la ocurrencia de eventos hidrometeorológico, esto puede condicionar en gran medida la permanencia en tiempo de caudales en cursos de agua favorables para diferentes usos.

La microcuenca La Tablazón 14.03 km² y la microcuenca Inalí 11.56 km² presentan una forma de oval redonda, con una diferencia de área de apenas 2.47 km², con perímetros muy similares, (Cuadro 3).

Las formas de ambas microcuencas (La Tablazón e Inalí) pueden originar mayor volumen y velocidad en los escurrimientos superficiales, originando mayores picos de caudales en sus puntos de salida ante la ocurrencia de eventos hidrometeorológico.

4.1.2 Parámetros de relieve

La microcuenca La Tablazón presenta la mayor pendiente media 9.80% y una elevación media 1411 msnm, seguida de la pendiente media de la microcuenca Jalapa 8.20% con una elevación media 1222 msnm. Las microcuencas de Inalí con pendiente media 7.89% y Guayucalí con pendiente media 6.13% tienen elevaciones medias por debajo de 1217 msnm, (Cuadro 4).

Cuadro 4. Parámetros de Relieve de las cuatro microcuencas, 2018 - 2019.

Microcuenca	Pendiente media (%)	Tipo de terreno	Elevación Media (msnm)	Rango de Elevaciones más frecuentes (msnm)
Jalapa	8.20	Accidentado medio	1222	600-1650
La Tablazón	9.80	Accidentado medio	1411	900-1900
Inalí	7.89	Accidentado medio	1217	800-1600
Guayucalí	6.13	Accidentado medio	1175	900-1300

La microcuenca La Tablazón con una altitud media de 1411 msnm, es el área donde se producen las mayores escorrentías con repercusiones severas que degradan el recurso suelo necesitando con urgencia la implementación de obras de conservación de suelo y agua (OCSA) para reducir su degradación. Características de relieve similares presentan las microcuencas de Inalí y Guayucalí, aunque con menores elevaciones y pendientes medias lo que reduce los riesgos de acumulación de picos de caudales en su salida.

Curva Hipsométrica

Representación de distintas fases de la vida de los ríos:

La curva superior refleja una cuenca con un gran potencial erosivo; la curva intermedia es característica de una cuenca en equilibrio; y la curva inferior es típica de una cuenca sedimentaria, (Gámez, 2010).

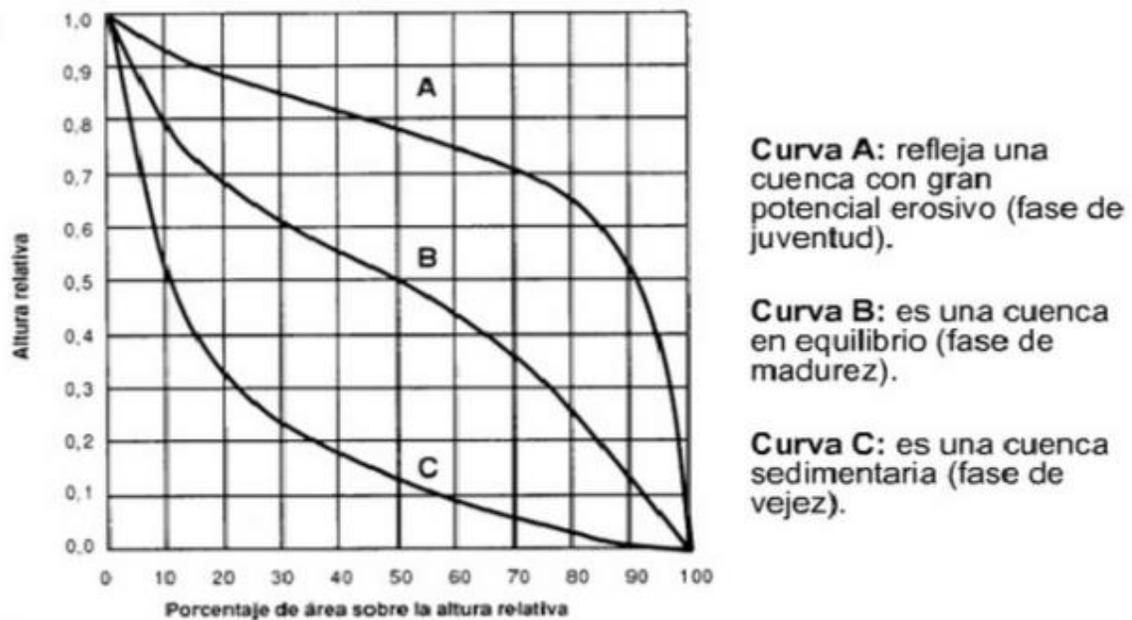


Figura 8. Curva hipsométrica, características del ciclo de erosión, según (Strahler, 1964).

La microcuenca Jalapa tiene una elevación media de 1122 msnm, con una altura más frecuente (1194.5 msnm) y por ser superior su curvatura hipsométrica diferente de la joven o sedimentaria la hacen una microcuenca en estado de equilibrio. (Figura 9)

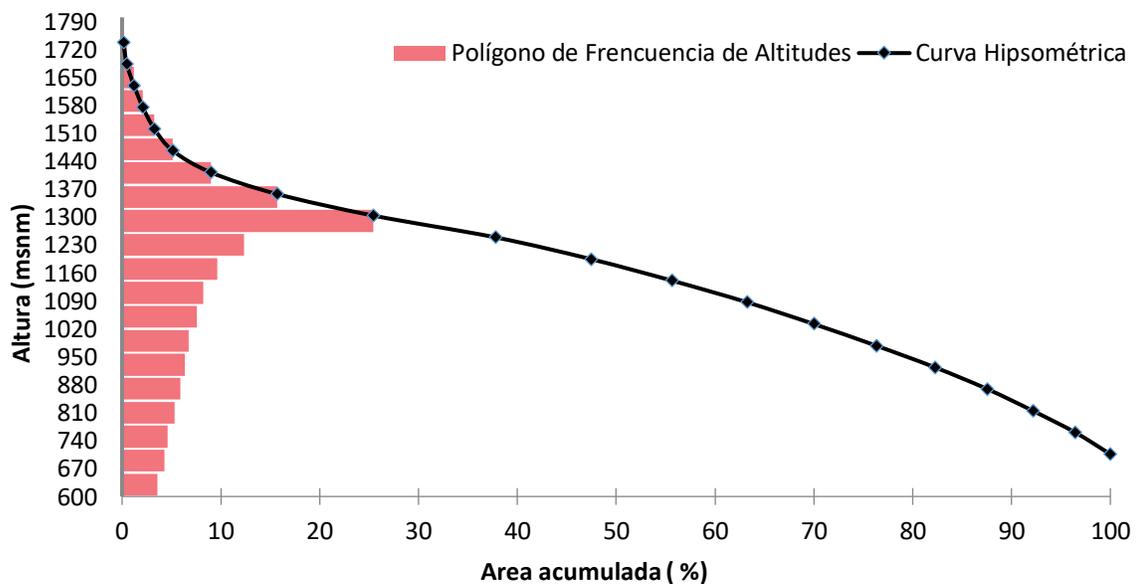


Figura 9. Curva hipsométrica microcuenca Jalapa, 2018 - 2019.

La microcuenca La Tablazón (Figura 10), se encuentra en equilibrio, con una elevación media sobre el nivel del mar de 1300 m, seguido, con frecuencias de altitudes que oscilan el rango de 1450 a 1500 msnm.

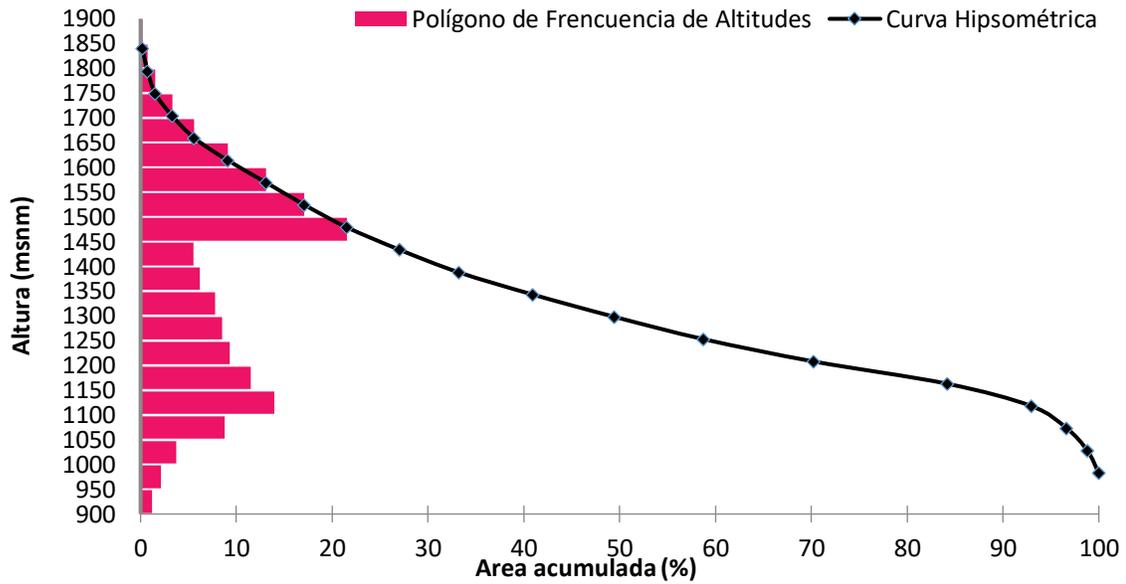


Figura 10. Curva hipsométrica microcuenca La Tablazón 2018 - 2019.

La microcuenca Inalí, presenta una curva intermedia que refleja su fase de equilibrio, con una altitud media estimada de 1160 msnm, seguido de altitudes más frecuentes en el rango de 1250 a 1300 msnm (Figura 11).

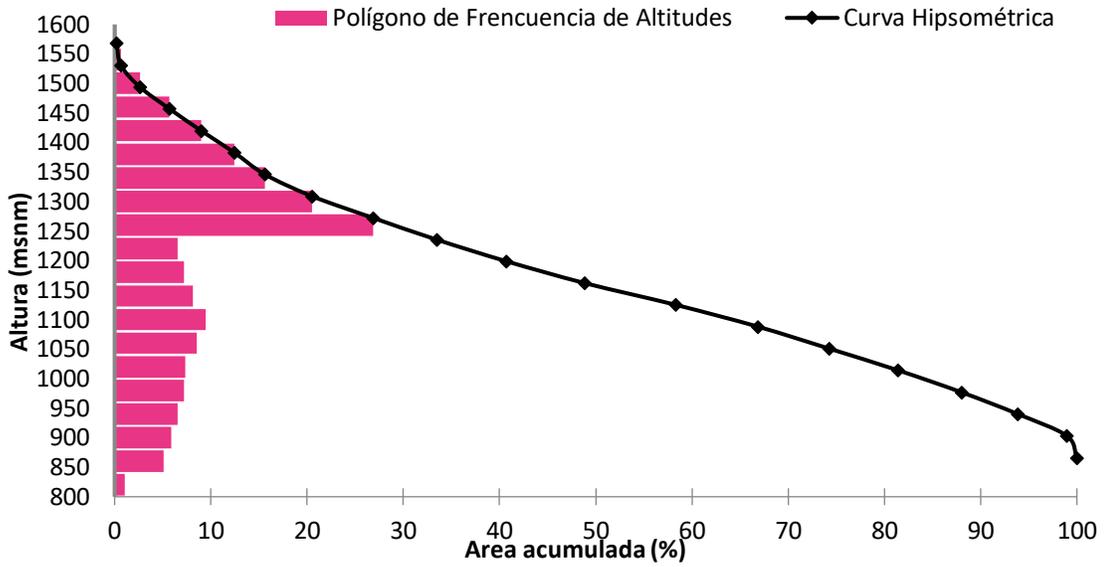


Figura 11. Curva hipsométrica microcuenca Inalí, 2018 - 2019.

La microcuenca Guayucalí (Figura 12), se observa una elevación media de 1175 msnm, con una altura más frecuente 1250 msnm y según la curva de su ciclo erosivo, esta es una cuenca madura y en equilibrio erosivo, también es la representación de una cuenca geológicamente madura.

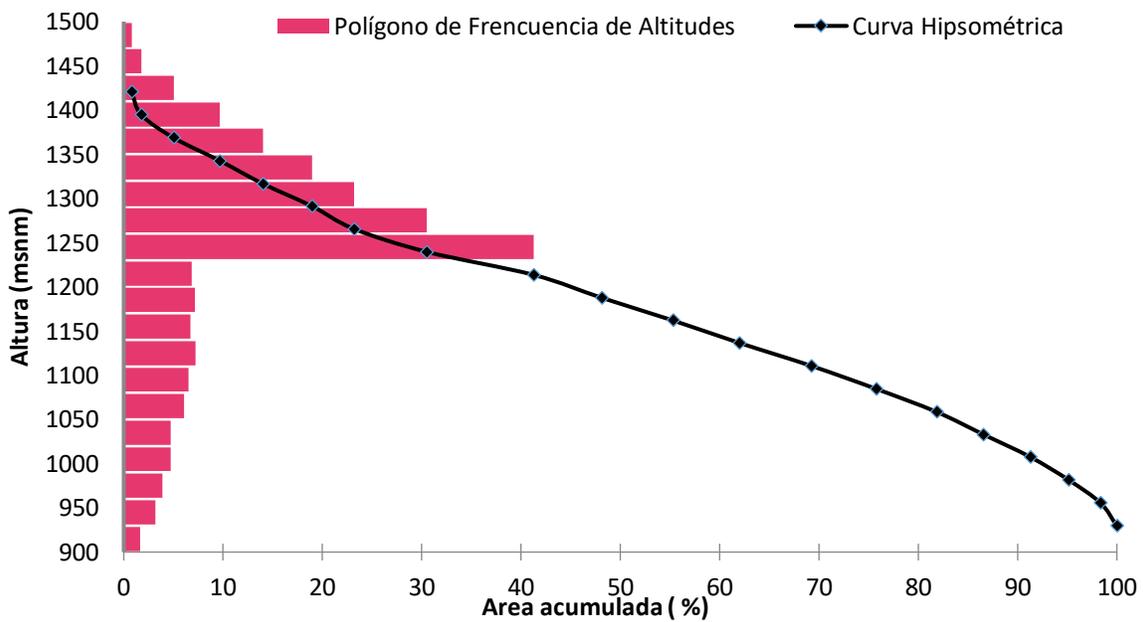


Figura 12. Curva hipsométrica microcuenca Guayucalí, 2018 - 2019.

Las cuatro microcuencas se encuentran en estado de equilibrio (fase de madurez) esto significa que son de acción erosiva moderada capaces de transportar el material detrítico hacia las áreas de acumulación formando terrazas fluviales. La antropización de estas microcuencas ha incrementado el detrimento del equilibrio de algunas características físicas como: la vegetación y sus suelos que son utilizados sin previa planificación.

Las elevaciones medias de las microcuencas oscilan en un rango de 1122, hasta 1300 msnm. La pendiente media de las cuatro microcuencas oscila entre de 27.9% hasta 37.8 % y la menor pendiente encontrada la tiene el cauce principal del río Guayucalí con 6.13%. Estas pendientes nos indican que son microcuencas con alta capacidad de respuesta para la evacuación del agua ante la ocurrencia de eventos hidrometeorológicos, aunque se incrementan las posibilidades de acumular picos de caudales aguas abajo en los cauces principales de las unidades hidrográficas.

4.1.3 Parámetros relativos a la red de drenaje

Los órdenes de corrientes van de 1, 2 y 3. La microcuenca Jalapa es la que tiene los tres órdenes de corrientes, y el mayor número de corrientes, (cuadro 5). La microcuenca Inalí tiene solo un orden de corriente con 7.82 km de longitud, es la que presenta mayores problemas al momento de evacuar el agua proveniente de eventos meteorológicos.

Cuadro 5. Orden de Corrientes de las cuatro microcuencas, 2018 - 2019.

Microcuencas	Orden de Corrientes	Numero de Corrientes	Longitud de corrientes en km
Jalapa	1	19	31.37
	2	5	10.47
	3	1	10.20
	Total	25	52.04
La Tablazón	1	9	16.24
	2	1	4.54
	Total	10	20.78
Inalí	1	2	7.82
	Total	2	7.82
Guayucalí	1	6	6.68
	2	1	3.33
	Total	7	10.01

4.1.4 Densidad de corrientes y de drenaje

El cauce principal de la microcuenca Jalapa es el más extenso con 10.20 km, proporcional a su longitud de corrientes por ser la más grande en área con 46.32 km², sin embargo, su densidad de drenaje y de corrientes está por debajo del río La Tablazón que tiene una densidad de drenaje de 1.48 y una densidad de corrientes de 0.71. Esto significa que la microcuenca La Tablazón presenta mayor capacidad de drenaje del agua precipitada y por tanto un vaciado más rápido, pero acumula mayores picos de caudales en su área de descarga.

La microcuenca del río La Tablazón tiene mayor densidad de drenaje 1.48 y mayor densidad de corriente 0.71; la del río Inalí que tiene una densidad de drenaje 0.68 lo que indica que tiene mayor capacidad de drenaje del agua precipitada y que aún se encuentre sobre el suelo.

Cuadro 6. Densidad de corrientes y de drenaje de las cuatro microcuencas, 2018 - 2019.

Microcuenca	Longitud del río principal (km)	Longitud total de drenaje km	Densidad de drenaje (km corriente km ²)	Densidad de corrientes (Número corriente km ²)
Jalapa	10.20	52.04	1.12	0.54
La Tablazón	4.55	20.78	1.48	0.71
Inalí	5.46	7.82	0.68	0.17
Guayucalí	3.33	10.01	0.89	0.62

Tiempo de concentración

El tiempo de concentración para las cuatro microcuencas fueron las siguientes: la microcuenca de Jalapa, 1.04 hora; la microcuenca La Tablazón, 0.52 hora; la microcuenca Inalí, 0.65 hora; y la microcuenca Guayucalí, 0.49 hora.

Mediciones de caudales

El río principal de la microcuenca de Jalapa presenta mayor caudal con 6.34 m³ s⁻¹, seguido del río La Tablazón con 0.426 m³ s⁻¹ a diferencia del río de la microcuenca del río Guayucalí que es de 0.063 m³ s⁻¹ e Inalí de 0.065 m³ s⁻¹.

Cuadro 7. Caudal circulante en las cuatro microcuencas de las Segovias.

Microcuenca	Caudal (m ³ s ⁻¹)	Caudal (litros s ⁻¹)
Jalapa	6.34	6340
La Tablazón	0.426	426
Inalí	0.065	65
Guayucalí	0.063	63

4.2. Balance Hídrico

En cuanto a la evapotranspiración real (ETR), siempre es menor que la evapotranspiración potencial (ETP) durante todo el año, y son similares durante los meses de junio a octubre y en estos meses los aportes de la precipitación están por encima de ambas variables y las entradas son mayores que las salidas.

El balance hídrico estimado para la microcuenca del río Jalapa, presenta una Capacidad de Retención de Agua Disponible (CRAD) de 140.40 mm/año. Un déficit de 274.3 mm por año, que inicia en el mes de enero y se comporta de manera similar para los meses posteriores del periodo seco, ocurriendo lo contrario para el exceso que es 382.4 mm/año (Anexo 3), iniciando desde el mes de mayo y se mantiene hasta el mes de diciembre.

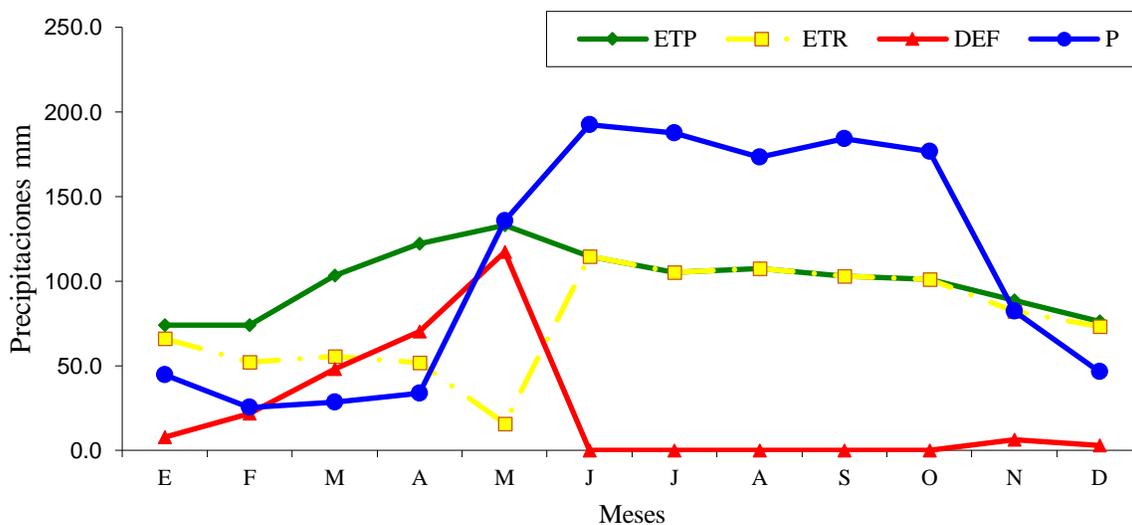


Figura 13. Balance hídrico de la microcuenca Jalapa, 2018 - 2019.

La evapotranspiración real (ETR), siempre está por debajo de la evapotranspiración potencial (ETP), sin embargo, se igualan en los meses junio, septiembre y octubre. En los primeros tres meses del año la precipitación está por debajo de la ETR, lo cual no implica una reducción en la ETR, debido a que se evapora el agua contenida en el suelo.

El balance hídrico estimado para la microcuenca del río La Tablazón, presentan una Capacidad de Retención de Agua Disponible (CRAD) de 84 mm y según el balance hídrico existe un déficit de 554.8 mm/año, manifestándose desde el mes de octubre hasta mayo y el exceso de 115.7 mm/año y se encuentra desde junio a octubre (Anexo 4).

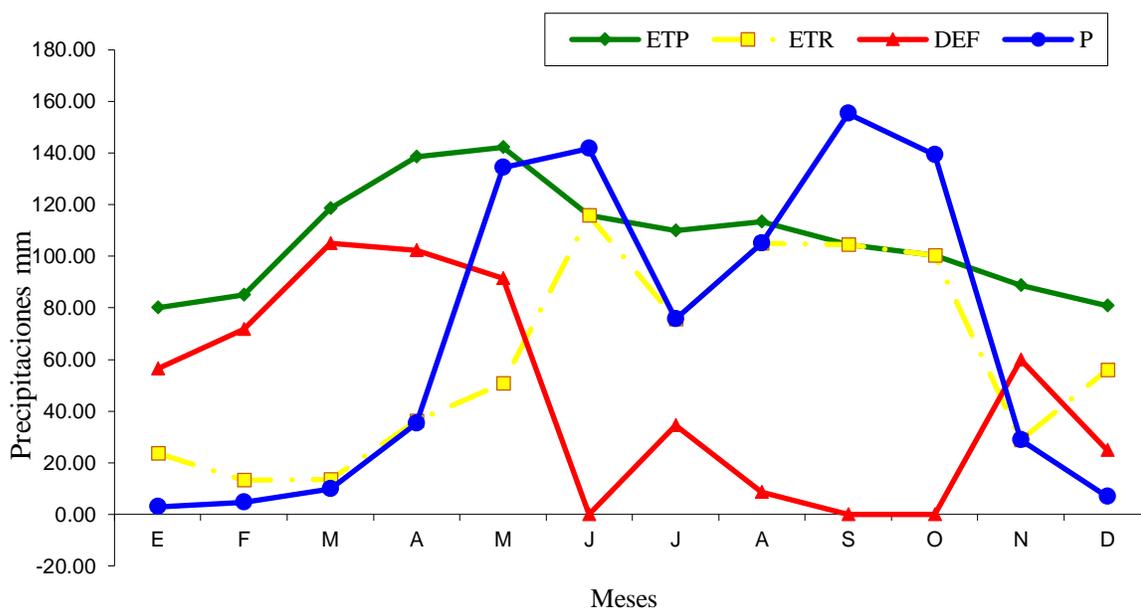


Figura 14. Balance hídrico de la microcuenca La Tablazón, 2018 - 2019.

En cuanto a la evapotranspiración real (ETR), siempre es menor que la evapotranspiración potencial (ETP) durante todo el año, y son similares durante los meses de mayo hasta octubre y en estos meses los aportes de la precipitación están por encima de ambas variables, debido a que nos encontramos en el periodo lluvioso (seis meses) lo que implica la temporada de mayores entradas al sistema.

El balance hídrico realizado para la microcuenca del río Inalí, estima una Capacidad de Retención de Agua Disponible (CRAD) de 24 mm. Un déficit de 318.4 mm/año, que inicia en el mes de enero y se comporta de manera similar para los meses posteriores del periodo seco, ocurriendo lo contrario para el exceso que es de 247.3 mm/año, (anexo 5) iniciando desde el mes de mayo y se mantiene hasta el mes de noviembre.

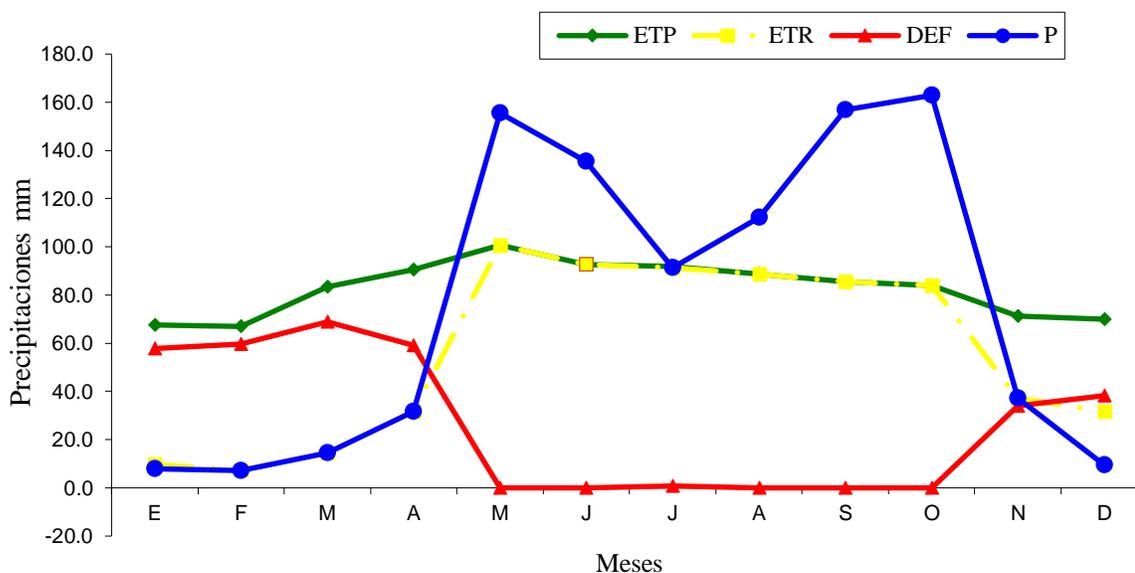


Figura 15. Balance hídrico de la microcuenca Inalí, 2018 - 2019.

La evapotranspiración real (ETR), siempre está por debajo de la evapotranspiración potencial (ETP), sin embargo, se igualan en los meses de junio, septiembre y octubre siendo esto los meses de mayor aportación por precipitaciones, según registros del INETER. La precipitación se hace igual a la ETR, en los meses de febrero hasta abril, pero ambas variables no llegan a valores de cero ya que siempre hay agua de las reservas en el suelo evaporándose y mínimos aportes por lluvias orográficas muy localizadas.

Los suelos de la microcuenca del río Guayucalí, presentan una Capacidad de Retención de Agua Disponible (CRAD) de 41.28 mm. Según el balance hídrico existe un déficit de 563.8 mm/año, manifestándose desde el mes de noviembre hasta mayo y el exceso de 105.2 mm/año y se encuentra desde mayo a octubre (anexo 6).

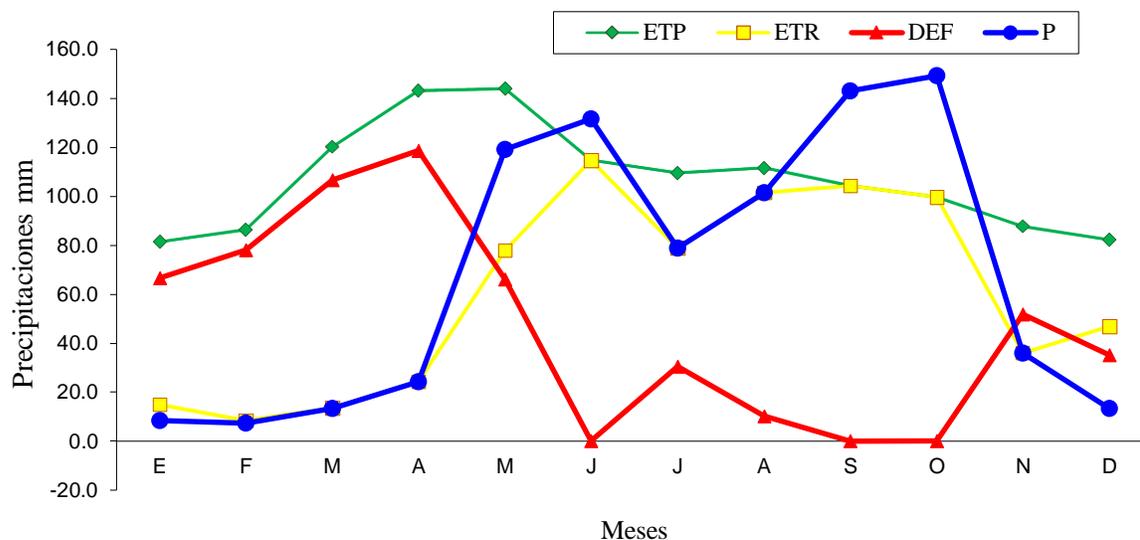


Figura 16. Balance hídrico de la microcuenca Guayucalí, 2018 - 2019.

El balance hídrico realizado para las cuatro microcuencas, la microcuenca Jalapa tiene un exceso de 382.4 mm/año, lo que equivale a 17.71 MMC¹; la microcuenca La Tablazón con 115.7 mm/año, lo que equivale a 1.58 MMC; la microcuenca Inalí 247.3 mm/año, lo que equivale a 2.85 MMC; y la microcuenca Guayucalí tiene un exceso de 105.2 mm/año, lo que equivale a 1.18MMC.

¹ MMC Millones de Metros Cúbicos

V. CONCLUSIONES

La microcuenca Jalapa presenta la mayor extensión con 46.32 km² y la microcuenca Guayucalí es la más pequeña con un área de 11.28 km²; ambas tienen una forma rectangular oblonga, según el coeficiente Gravelius.

Las elevaciones medias para las cuatro microcuencas se ubican en un rango de 1411 hasta 1175 msnm, siendo La Tablazón la de mayor altitud media, Guayucalí la de menor altitud y en base a la forma de la hipsométrica de cada microcuenca todas se encuentran en estado de equilibrio

La estimación del potencial hídrico de las cuatro microcuencas presenta una oferta máxima de 17.71 MMC para Jalapa y una mínima de 1.18 MMC para Guayucalí. El mayor potencial hídrico está representado por el exceso medio anual, estimado a partir del análisis de una serie de 40 años de registros por cada microcuenca.

Los excesos reflejados en los balances hídricos realizados en las cuatro microcuencas son proporcionales a los caudales medidos en las diferentes fuentes de estas, aunque estos caudales, también pueden verse influenciados de manera particular por aportes subsuperficiales y de acuíferos que no se consideraron en estos balances.

VI. RECOMENDACIONES

- Realizar un censo productivo y estimar su demanda real de agua en cada finca de las microcuencas.
- Hacer un análisis de las medidas de adaptación que se pueden implementar en las comunidades de las microcuencas.
- Sistematizar las experiencias de optimización del recurso hídrico en las microcuencas que tienen menor oferta hídrica, pero mayor diversificación de rubros productivos de la zona.
- En las microcuencas con mayor densidad de drenaje y con problemas de abastecimiento de agua se podrían establecer obras para cosechar agua (intercepción de esorrentía) y de conservación de suelo para reducir su degradación.

VII. LITERATURA CITADA

- Alcaldía Municipal Jalapa, Nueva Segovia, (2012).** Caracterización del municipio de Jalapa.
Recuperado de: http://www.ucom.org.ni/wpcontent/uploads/2013/02/caracterizacion_Jalapa_2012.pdf
- Alcaldía Municipal Dipilto, Nueva Segovia, (2012).** Caracterización del municipio de Dipilto.
Recuperado de: http://www.ucom.org.ni/wpcontent/uploads/2013/02/caracterizacion_Dipilto_2012.pdf
- Alcaldía Municipal San Lucas, Madriz, (2012).** Caracterización del municipio de san Lucas.
Recuperado de: http://www.ucom.org.ni/wpcontent/uploads/2013/02/caracterizacion_san_lucas_2012.pdf
- Centro Integral de Informática de la Asociación de Desarrollo Social de Nicaragua. (2012).** Hidrogeología de la Comunidad de Venecia. Municipio de Condega. Recuperado de: http://www.asdenic.org/wp-content/uploads/2016/02/estudio_venecia.pdf
- Empresa Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados, (2017).** Caracterizaciones Municipales Departamento De Estelí. BVE-Biblioteca Virtual ENACAL. Recuperado de <http://biblioteca.enacal.com.ni/bibliotec/Libros/enacal/Caracterizaciones/Esteli/Condega.html>
- Empresa Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados, (2017).** Caracterizaciones Municipales departamento De Nueva Segovia. BVE-Biblioteca Virtual ENACAL. Recuperado de <http://biblioteca.enacal.com.ni/bibliotec/Libros/enacal/Caracterizaciones/NuevaSegovia/Jalapa.html>
- Gómez, W. (2010).** Texto básico de Hidrología. Recuperado de: <https://repositorio.una.edu.ni/2464/1/np10g192.pdf>
- Horton, R.E. (1945).** Erosional development of streams and Their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology.
- InterAmerican Network of Academies of Sciences, (2019).** Calidad del Agua en las Américas Riesgos y Oportunidades. Recuperado de: <https://www.ianas.org/images/books/wb09.pdf>
- Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales, (2005).** Sismos y Volcanes. Recuperado de: <https://webserver2.ineter.gob.ni/boletin/2005/05/deslizamiento-jalapa0505.htm>

Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales y Universidad Nacional Agraria, (2015). Mapeo de subordenes de Suelo de Nicaragua.

Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales y Universidad Nacional Agraria, (2015). Mapeo geológico minero de Nicaragua.

Ministerio de Educación, Cultura y Deportes, (2004). Diagnóstico de Infraestructura Escolar e Institucional. Municipio de Dipilto. Recuperado de: <http://ribuni.uni.edu.ni/345/1/Dipilto.pdf>

Ministerio de Educación, Cultura y Deportes. (2003). Diagnóstico de Infraestructura e Institucional. Recuperado de: <http://ribuni.uni.edu.ni/353/1/San%20Lucas.pdf>

Sistema Nacional de Información Ambiental de Nicaragua, (2014). Caracterización Municipal de Jalapa. Recuperado de: <http://prodep.sinia.net.ni/index.php/menu1/municipio-de-jalapa>

Sistema Nacional de Información Ambiental de Nicaragua, (2014). Caracterización Municipal de Dipilto. Recuperado de: <http://prodep.sinia.net.ni/index.php/menu1/municipio-de-dipilto>

Strahler, A, (1974). Geografía física. Ediciones Omega, S.A. Barcelona, España.

Valero, A. (1999). Capacidad de Retención Disponible (CRAD) para las plantas en suelos del Alto. Recuperado de <https://digital.csic.es/handle/10261/92824>

Villón, M. (2002). Hidrología. Cartago, Costa Rica. Taller de Publicaciones del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) (1997). Medición sobre el Terreno de la Erosión del Suelo y de la Escorrentía. (Boletín de Suelos de la FAO - 68). Recuperado de: <http://www.fao.org/3/t0848s/t0848s06.htm>

VIII. ANEXOS

Anexo 1. Formato de datos para determinar curva hipsométrica.

Superficie por encima de	Cota de elevación en (m)	Área entre curvas (Km ²)	Área acumulada en (Km ²)	Área en porcentaje

Anexo 2. Formato de aforo de caudal en los puntos.

A	b	c			d	e	f	g
Sección	Ancho de la sección m	Velocidad Media (m/s)			Profundidad en m	Área (m ²) b*d	Caudal (m ³ /s) c*e	Caudal (l/s) 6x1000
		v1	v2	media				

Anexo 3. Balance hídrico Jalapa.

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Año
P (mm)	44.8	25.3	28.6	33.8	135.8	192.4	187.4	173.4	184.0	176.7	82.3	46.4	1311
ETP (mm)	74.0	74.0	103.4	122.0	133.0	114.7	105.3	107.4	103.0	101.1	88.7	76.2	1203
P-ETP	-29.2	-48.7	-74.8	-88.1	2.8	77.7	82.1	65.9	81.0	75.6	-6.3	-29.9	108.1
PPA	-59.1	-107.8	-182.6	-270.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-29.9	-650.2
RES	92.2	65.1	38.2	20.4	140.4	140.4	140	140.4	140.4	140.4	140.4	113.5	1312.3
dR	-21.3	-27.0	-26.9	-17.8	120.0	0.0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	-26.9	0.0
ETR	66.1	52.3	55.5	51.6	15.8	114.7	105.3	107.4	103.0	101.1	82.3	73.3	928.5
DEF	7.9	21.7	47.9	70.3	117.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.3	3.0	274.3
EXC	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	77.7	82.1	65.9	81.0	75.6	0.0	0.0	382.4
DRE	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	38.8	60.5	63.2	72.1	73.9	0.0	0.0	308.5

Anexo 4. Balance hídrico La Tablazón.

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Año
P (mm)	2.9	4.7	9.7	35.2	134.3	141.9	75.7	104.9	155.3	139.2	28.9	6.8	839.4
ETP (mm)	80.1	85.0	118.7	138.5	142.2	115.8	110.1	113.5	104.5	100.3	88.7	80.97	1278.3
P-ETP	-77.2	-80.4	-108.9	-103.3	-8.0	26.1	-34.4	-8.5	50.7	38.9	-59.8	-74.2	-439.0
PPA	-151.4	-231.8	-340.7	-444.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-74.2	-1242.0
R	13.9	5.3	1.5	0.4	84.0	84.0	84.0	84.0	84.0	84.0	84.0	34.7	643.8
dR	-20.9	-8.5	-3.9	-1.0	83.6	0.0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	-49.3	0.0
ETR	23.7	13.2	13.6	36.2	50.7	115.8	75.7	104.9	104.5	100.3	28.9	56.0	723.6
DEF	56.3	71.8	105.1	102.3	91.5	0.0	34.4	8.5	0.0	0.0	59.8	24.9	554.8
EXC	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	26.1	0.0	0.0	50.7	38.9	0.0	0.0	115.7
DRE	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	13.0	0.0	0.0	25.4	32.1	0.0	0.0	70.5

Anexo 5. Balance hídrico Inalí.

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Año
P (mm)	8.0	7.2	14.6	31.6	155.5	135.3	91.3	112.2	156.9	162.9	37.3	9.6	922.3
ETP (mm)	67.61	66.97	83.47	90.59	100.70	92.73	91.96	88.65	85.44	84.04	71.29	69.94	993.4
P-ETP	-59.65	-59.78	-68.89	-59.03	54.85	42.60	-0.68	23.51	71.48	78.83	-33.97	-60.37	-71.1
PPA	-120.0	-179.8	-248.7	-307.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-60.4	-916.6
R	0.2	0.0	0.0	0.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	1.9	170.1
dR	-1.8	-0.1	0.0	0.0	24.0	0.0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	-22.1	0.0
ETR	9.7	7.3	14.6	31.6	100.7	92.7	91.3	88.7	85.4	84.0	37.3	31.6	675.0
DEF	57.9	59.6	68.9	59.0	0.0	0.0	0.7	0.0	0.0	0.0	34.0	38.3	318.4
EXC	0.0	0.0	0.0	0.0	30.8	42.6	0.0	23.5	71.5	78.8	0.0	0.0	247.3
DRE	0.0	0.0	0.0	0.0	15.4	29.0	0.0	11.8	41.6	60.2	0.0	0.0	158.0

Anexo 6. Balance hídrico Guayucalí.

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Año
P (mm)	8.39	7.35	13.42	24.27	119.07	131.54	78.89	101.44	143.06	149.22	36.01	13.50	826.13
ETP (mm)	81.41	86.50	120.26	142.98	143.86	114.68	109.43	111.66	104.30	99.67	87.74	82.30	1284.80
P-ETP	-73.0	-79.2	-106.8	-118.7	-24.8	16.9	-30.5	-10.2	38.8	49.5	-51.7	-68.8	-458.7
PPA	-141.8	-221.0	-327.8	-446.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-68.8	-1206.0
R	1.3	0.2	0.0	0.0	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	7.8	298.3
dR	-6.5	-1.1	-0.2	0.0	41.3	0.0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	-33.5	0.0
ETR	14.9	8.5	13.6	24.3	77.8	114.68	78.9	101.44	104.3	99.67	36.0	46.99	721.0
DEF	66.6	78.0	106.7	118.7	66.1	0.0	30.5	10.2	0.0	0.0	51.7	35.3	563.8
EXC	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	16.9	0.0	0.0	38.8	49.5	0.0	0.0	105.2
DRE	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.4	0.0	0.0	19.4	34.5	0.0	0.0	62.3

Anexo 7. Fotos de la microcuenca Jalapa.



Anexo 8. Fotos de la microcuenca La Tablazón.



Anexo 9. Fotos de la microcuenca Inalí.



Anexo 10. Fotos de la microcuenca Guayucalí.

