



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES CARRERA DE INGENIERÍA FORESTAL

**Trabajo de titulación presentado como requisito previo a la obtención del
título de ingeniero forestal**

INFLUENCIA DE LA COBERTURA FORESTAL EN EL BALANCE HÍDRICO SUPERFICIAL DE LA RESERVA HÍDRICA EL PARAÍSO

AUTOR

Brayan Steven Haro Mediavilla

DIRECTOR

Ing. Jorge Luis Ramírez López, M.Sc.

IBARRA – ECUADOR

2021

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

INFLUENCIA DE LA COBERTURA FORESTAL EN EL BALANCE HÍDRICO SUPERFICIAL DE LA RESERVA HÍDRICA EL PARAÍSO

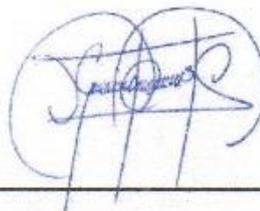
Trabajo de titulación revisado por el Comité Asesor, por lo cual se autoriza la presentación
como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERÍA FORESTAL

APROBADO

Ing. Jorge Luis Ramírez López, M.Sc.

Director de trabajo de titulación



Ing. Hugo Vinicio Vallejos Álvarez, M.Sc.

Tribunal de trabajo de titulación



Ing. Mario José Añazco Romero, Phd.

Tribunal de trabajo de titulación



IBARRA – ECUADOR

2021



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO		
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1004009450	
APELLIDOS Y NOMBRES:	Haro Mediavilla Brayan Steven	
DIRECCIÓN:	Otavalo, Calles Sucre y Rocafuerte	
EMAIL:	Bsharom@utn.edu.ec	
TELÉFONO FIJO:	-	TELÉFONO MÓVIL: 0992073055

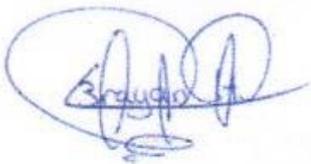
DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	Influencia de la Cobertura Forestal en el Balance Hídrico Superficial de la Reserva Hídrica el Paraíso
AUTOR/A:	Haro Mediavilla Brayan Steven
FECHA: (dd/mm/aaaa)	22 de abril del 2021
SOLO PARA TRABAJOS DE TITULACIÓN	
PROGRAMA:	Pregrado
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniería Forestal
DIRECTOR:	Ing. Jorge Luis Ramírez López, M.Sc.

CONSTANCIA

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló sin violar derechos de autor de terceros; por lo tanto, la obra es original y es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asumen la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrán en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 22 días del mes de Abril de 2021

EL AUTOR

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Haro Mediavilla', enclosed within a large, loopy blue scribble.

Haro Mediavilla Brayan Steven

REGISTRO BIBLIOGRÁFICO

Guía: FICAYA - UTN

Fecha: 22 de abril del 2021

Brayan Steven Haro Mediavilla: **INFLUENCIA DE LA COBERTURA FORESTAL EN EL BALANCE HÍDRICO SUPERFICIAL DE LA RESERVA HÍDRICA EL PARAÍSO**/Trabajo de titulación. Ingeniera Forestal. Universidad Técnica del Norte. Carrera de Ingeniería Forestal. Ibarra, 22 de abril 2021. 86 páginas.

DIRECTOR: Ing. Jorge Luis Ramírez López, M.Sc.

El objetivo principal de la presente investigación fue: Determinar la influencia de la cobertura forestal en el balance hídrico superficial dentro de la reserva hídrica El Paraíso.

Entre los objetivos específicos se encuentran: Determinar las características hidrológicas de los suelos cubiertos por cuatro coberturas vegetales. Estimar el balance hídrico superficial en tres coberturas forestales dentro de la reserva hídrica El Paraíso.



Ing. Jorge Luis Ramírez López, M.Sc.

Director de trabajo de titulación



Brayan Steven Haro Mediavilla

Autor

DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación está dedicado a mi familia, la cual siempre estuvo presente su apoyo con recursos humanos, económico y emocionales. Sin ellos hubiera sido imposible concluir con el estudio.

A mis profesores que inculcaron el carácter investigativo y apoyaron con la transmisión de información, que han aprendido a través de la academia y su experiencia laboral. Esto sirvió para el cumplimiento de este estudio.

A la comunidad científica y a la población de la parroquia de Peñaherrera, que muy amablemente me brindó las facilidades para el cumplimiento de la investigación. Los resultados obtenidos espero sirvan para un buen manejo de la cuenca por parte de la comunidad.

AGRADECIMIENTO

A Dios que está en todo momento y en todo lugar, sin él no hubiera sido posible concluir el estudio. Siempre me brindó la motivación y fuerza necesaria en cada momento para poder culminar con el trabajo.

A mis padres y hermanos quienes fueron la inspiración de seguir adelante con mi preparación académica. Gracias a su apoyo incondicional en todo momento, fue posible cumplir con el trabajo de la mejor manera posible.

A la Universidad Técnica del Norte, que me abrió las puertas para poder obtener una carrera universitaria. Darne la oportunidad de adquirir conocimiento que me servirán para toda la vida, y así poder superarme.

Agradezco a mis asesores y director de trabajo de titulación por haberme apoyado en cada fase del estudio. Por las horas de análisis de datos, por el hospedaje cerca de donde se realizó el trabajo y por las horas extras que me otorgaban para solucionar mis dudas.

A mis amigos Lenin, Cristian, David, Jorge y otros que desinteresadamente colaboraron desde la instalación hasta el fin de la investigación.

INDICE DE CONTENIDOS

INDICE DE CONTENIDOS	viii
INDICE DE TABLAS	xii
INDICE DE ILUSTRACIONES	xii
RESUMEN	xiii
ABSTRACT	xiv
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN	1
1.1. Objetivos	2
1.1.1. Objetivo General.....	2
1.1.2. Objetivos Específicos	2
1.2. Hipótesis.....	3
CAPÍTULO II	
MARCO TEÓRICO	4
2.1 Fundamentación Legal.....	4
2.1.1. Constitución del Ecuador	4
2.1.2. Código Orgánico Ambiental.....	4
2.1.3. Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua	5
2.1.4. Plan Nacional de Desarrollo (2017 – 2021).....	5
2.2. Línea de investigación.....	6
2.3. Fundamentación teórica	6
2.3.1. Disponibilidad del recurso agua en el mundo.....	6
2.3.2. Disponibilidad del recurso agua en ecuador	6
2.3.3. Hidrología	7
2.3.4. Sistema hidrológico	7
2.3.5. Ciclo hidrológico	8

2.3.6.	Hidrología del suelo.....	8
2.3.6.1.	Circulación subterránea	9
2.3.7.	Propiedades hídricas del suelo.....	10
2.3.7.1.	Densidad aparente.....	10
2.3.7.2.	Capacidad de campo	10
2.3.7.3.	Capacidad de almacenamiento de agua	10
2.3.8.	Hidrología forestal	11
2.3.9.	Ecología forestal	11
2.3.10.	Rol de los bosques en relación con el agua	11
2.3.11.	La hidrología de los bosques andinos.....	12
2.3.12.	Los bosques andinos y su ciclo hidrológico	12
2.3.13.	Influencia de la vegetación sobre la precipitación.....	13
2.3.14.	Influencia de los bosques sobre la interceptación	13
2.3.15.	Influencia de la cobertura forestal sobre las crecidas en cuencas de montaña	14
2.3.16.	Cambio en el régimen hidrológico y en el caudal de las cuencas andinas debido a la tala de los bosques y cambios en el uso del suelo.....	14
2.3.17.	Influencia de la vegetación sobre la humedad del suelo.....	14
2.3.18.	Cambios en la capacidad de los suelos para almacenar y retener la humedad al cambiar de uso de suelo en los bosques andinos	15
2.3.19.	Impacto hidrológico causado por la tala y conversión de los bosques andinos a otros usos del suelo	15
2.3.20.	Influencia de la vegetación sobre el rendimiento hídrico.....	16
2.3.21.	Cambios en la tasa de evapotranspiración producidos con el cambio de uso de suelo	16
2.3.22.	Cuenca hidrográfica.....	17
2.3.23.	Reserva hídrica	17
2.3.24.	Restauración hídrica	17
2.3.25.	Restauración hidrológica forestal	18

2.3.26. Balance hídrico	18
2.3.26.1. Balance hídrico superficial	19
2.3.26.2. Componentes del balance hídrico superficial	19
2.3.26.2.1. Precipitación	19
2.3.26.2.2. Evaporación	21
2.3.26.2.3. Transpiración	22
2.3.26.2.4. Evapotranspiración	22
2.3.26.2.5. Infiltración.....	23
2.3.26.2.6. Escorrentía	25
2.3.26.3. Trabajo estadístico de componentes de balance hídrico superficial	26
2.3.26.3.1. Prueba de homocedasticidad con F - fisher	26
2.3.26.3.2. Prueba de normalidad de Shapiro – Wilks.....	27
2.3.27. Proyecto de reservas hídricas en la parroquia de Peñaherrera.....	27

CAPITULO III

MATERIALES Y MÉTODOS	29
3.1. Ubicación del área de estudio.....	29
3.1.1. Ubicación política.....	29
3.1.2. Ubicación geográfica	29
3.2. Materiales, equipos y software.....	30
3.2.1. Materiales	30
3.3. Metodología	31
3.4. Delimitación área de estudio	31
3.5. Definición del tamaño de la muestra.....	32
3.6. Inventario preliminar	32
3.7. Determinación de propiedades físico-hidrológicas del suelo	33
3.8. Cálculo de balance hídrico superficial	34
3.8.1. Precipitación	34

3.8.2.	Intercepción	36
3.8.3.	Infiltración	38
3.8.4.	Evapotranspiración potencial.....	40
3.8.5.	Evapotranspiración real	41
3.8.6.	Escurrimiento.....	41
3.9.	Análisis estadístico.....	42

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN	45	
4.1.	Propiedades hidrológicas del suelo	45
4.2.	Balance hídrico superficial.....	47
4.2.1.	Comparación.....	48

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	51	
6.1.	Conclusiones.....	51
6.2.	Recomendaciones.....	52

CAPÍTULO VI

REFERENCIAS BLIBLIOGRÁFICAS	53
--	-----------

CAPÍTULO VII

ANEXOS.....	61	
7.1.	Análisis de suelo.....	61
7.2.	Cálculo de Componentes del Balance Hídrico Superficial	66
7.3.	Anexo de Fotografías	70

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Reservas hídricas comunitarias	28
Tabla 2: Zonas de estudio	31
Tabla 3: Condiciones de humedad antecedente del suelo.....	38
Tabla 4: Componentes del coeficiente de infiltración	39
Tabla 5: Resultados del análisis de suelo de los escenarios evaluados en la reserva hídrica El Paraíso.....	45
Tabla 6: Balance hídrico superficial de los escenarios de estudio.....	47
Tabla 7: Interacciones de trascolación y escorrentía con la prueba de T-Student.....	49
Tabla 8: Interacción de componentes del balance hídrico superficial con U de Mann hitney.	50

INDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Balance hídrico superficial de las zonas de estudio; A: Pastizal; B: Pasto – Aliso; C: B. Nativo; D: B. Mixto; P: Precipitación; T: Trascolación; I: Infiltración; EVP: Evapotranspiración potencial; Eta: Evapotranspiración real; Esc; Escorrentía.	48
--	----

INDICE DE DIAGRAMAS

Diagrama 1: Representación en diagrama de bloques del sistema hidrológico global.....	7
---	---

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ubicación del área de estudio.	29
Figura 2: Delimitación de reserva hídrica El Paraíso y zonas de estudio.....	32

INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Cuarteo para selección de muestra de suelo.	33
Ilustración 2: Tubo metálico y envolvente plástico.	34
Ilustración 3: Colector de flujo.	37

TITULO: “INFLUENCIA DE LA COBERTURA FORESTAL EN EL BALANCE HÍDRICO SUPERFICIAL DE LA RESERVA HÍDRICA EL PARAÍSO”

Autor: Brayan Steven Haro Mediavilla

Director de trabajo de titulación: Ing. Jorge Luis Ramírez López, M.Sc.

Año: 2021

RESUMEN

Los beneficios de la reserva hídrica El Paraíso cuenta con escasa información del aporte de las coberturas vegetales al balance hídrico superficial. El objetivo del estudio fue determinar la influencia de la cobertura forestal en el balance hídrico superficial dentro de la reserva hídrica El Paraíso. El análisis hídrico del suelo se realizó con el instructivo SFA/10 de Muestreo de Agrocalidad. El balance hídrico superficial se obtuvo con la ecuación: $P = E_{Tr} + ES + I$. La comparación de los valores de los componentes del balance hídrico de las coberturas se realizó con la prueba de T – Student y la de U de Mann Whitney. El bosque mixto presentó los valores más altos de las propiedades hídricas del suelo, con una capacidad de campo de 42,10% y agua aprovechable de 19.22%. En los componentes del balance, la precipitación total fue de 1 695,31 mm. La trascolación más alta de lluvia fue en el bosque mixto con el 85% del total. Así mismo, presentó las tasas más altas de evapotranspiración real e infiltración. La presencia de vegetación arbórea influyó significativamente en la capacidad de campo y almacenamiento de agua, como también en la infiltración, siendo el bosque mixto el escenario que presenta los valores más altos.

Palabras claves: Bosque, suelo, precipitación, infiltración, evapotranspiración, escurrimiento.

TOPIC: "INFLUENCE OF FOREST COVER ON THE SURFACE WATER BALANCE AT 'EL PARAISO' WATER RESERVE"

Author: Brayán Steven Haro Mediavilla

Thesis director: Jorge Luis Ramírez López, Eng, M.Sc.

Year: 2021

ABSTRACT

The benefits of the water reserve El Paraíso has little information on the contribution of plant cover to the surface water balance. The objective of the study was to determine the influence of forest cover on the surface water balance within the El Paraíso water reserve. The hydric analysis of the soil was carried out with the SFA / 10 Agrocality Sampling instructive. The surface water balance was obtained with the equation: $P = E_{Tr} + ES + I$. The comparison of the values of the components of the water balance of the covers was carried out with the T-Student test and the Mann Whitney U test. The mixed forest presented the highest values of the hydric properties of the soil, with a field capacity of 42.10% and usable water of 19.22%. In the balance components, the total precipitation was 1 695.31 mm. The highest trascolation of rain was in the mixed forest with 85% of the total. Likewise, it presented the highest rates of real evapotranspiration and infiltration. The presence of arboreal vegetation significantly influenced the field capacity and water storage, as well as the infiltration, being the mixed forest the scenario that presents the highest values.

Keywords: Forest, soil, precipitation, infiltration, evapotranspiration, runoff.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

El uso inadecuado del recurso hídrico por parte de la población acarrea serios problemas. La degradación de las cuencas hídricas con la deforestación, quemas y malas prácticas agropecuarias se ve reflejada en la cantidad y calidad de agua (GAD Peñaherrera, Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial, 2015). Adicionalmente, el cambio de cobertura natural se suma a los problemas de degradación, ya que influye en el déficit hídrico causado por los cambios en la infiltración, disminuye la capacidad de retención de agua, cambios en la evapotranspiración y modificación de los flujos de calor y humedad. Es causa un desequilibrio de los ecosistemas (Cox *et al*, 2004).

En la parroquia Peñaherrera el 42,53% de la población se dedica a la agricultura, silvicultura, caza y pesca (GAD Peñaherrera, Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial, 2015). Esto genera una expansión agrícola y pecuaria que reduce la cobertura arbórea en las cuencas hidrográficas.

Sumado a la expansión agropecuaria, el desconocimiento sobre el papel que desempeña el bosque en el suelo y en el balance hídrico, genera una degradación ambiental significativa y progresiva. Ya que, el cambio de uso de suelo de un bosque a pastos o a cultivos agrícolas, genera un gran impacto en la cuenca y en su balance hídrico (Mendoza, 2002). Siendo un problema para la población que se encuentra dentro de la zona de influencia, ya que esto entre otros problemas, afecta a la cantidad y calidad de agua.

En la parroquia de Peñaherrera se generó el proyecto de “Reservas Hídricas Comunitarias” para asegurar la cantidad y calidad del agua. Este estudio fue realizado en la reserva hídrica El Paraíso, reserva que pertenece a ese proyecto, buscó determinar la influencia de la cobertura forestal en el balance hídrico superficial. Para lo cual, las zonas de estudio son: un pastizal, un sistema de pasto con *Alnus nepalensis* (Aliso), un bosque con especies nativas juntas a *Alnus nepalensis* (Aliso) y una zona de bosque nativo.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo General

Determinar la influencia de la cobertura forestal en el balance hídrico superficial dentro de la reserva hídrica El Paraíso.

1.1.2. Objetivos Específicos

- Determinar las características hidrológicas de los suelos cubiertos por cuatro coberturas vegetales.
- Estimar el balance hídrico superficial en tres coberturas forestales dentro de la reserva hídrica El Paraíso.

1.2. Hipótesis

Ho: Los componentes del balance hídrico superficial en las cuatro coberturas vegetales de la reserva hídrica El Paraíso no muestran diferencias significativas.

Ha: Los componentes del balance hídrico superficial en las cuatro coberturas vegetales de la reserva hídrica El Paraíso muestran diferencias significativas.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Fundamentación Legal

2.1.1. Constitución del Ecuador

El estudio se fundamenta en la sección y artículo que se presenta a continuación:

Sección Sexta: Agua

Art. 411.- Se garantizará la conservación, recuperación y manejo integral de los recursos hídricos, cuencas hidrográficas y caudales ecológicos asociados al ciclo hidrológico.

Se regulará toda actividad que pueda afectar la calidad y cantidad de agua, y el equilibrio de los ecosistemas, en especial en las fuentes y zonas de recarga de agua.

La sustentabilidad de los ecosistemas y el consumo humano serán prioritarios en el uso y aprovechamiento del agua.

2.1.2. Código Orgánico Ambiental

La investigación se acoge en los títulos, artículos e incisos que a continuación se describen:

- a) **Título II:** De los derechos, deberes y principios ambientales
 - a. **Artículo 5:** Derecho de la población a vivir en un ambiente sano.
 - **Inciso 1:** La conservación, manejo sostenible y recuperación del patrimonio natural, la biodiversidad y todos sus componentes, con respeto a los derechos de la naturaleza y a los derechos colectivos de las comunas, comunidades, pueblos y nacionalidades.
 - **Inciso 2:** El manejo sostenible de los ecosistemas, con especial atención a los ecosistemas frágiles y amenazados tales como páramos, humedales, bosques nublados, bosques tropicales secos y húmedos, manglares y ecosistemas marinos y marinos-costeros.

2.1.3. Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua

El estudio se fundamenta en el artículo y principios del capítulo uno de los principios que a continuación se describen:

Título I: Disposiciones preliminares

Capítulo I: De los principios

- **Artículo 4.-** Principios de la Ley. Esta Ley se fundamenta en los siguientes principios:

El agua, como recurso natural debe ser conservada y protegida mediante una gestión sostenible y sustentable, que garantice su permanencia y calidad.

Título II: Recursos Hídricos

Capítulo I: Definición, infraestructura y clasificación de los recursos hídricos

- **Artículo 12.-** Protección, recuperación y conservación de fuentes.

El Estado, los sistemas comunitarios, juntas de agua potable y juntas de riego, los consumidores y usuarios, son corresponsables en la protección, recuperación y conservación de las fuentes de agua y del manejo de páramos, así como la participación en el uso y administración de las fuentes de aguas que se hallen en sus tierras, sin perjuicio de las competencias generales de la Autoridad Única del Agua de acuerdo con lo previsto en la Constitución y en esta Ley.

La Autoridad Única del Agua, los Gobiernos Autónomos Descentralizados, los usuarios, las comunas, pueblos, nacionalidades y los propietarios de predios donde se encuentren fuentes de agua, serán responsables de su manejo sustentable e integrado, así como de la protección y conservación de dichas fuentes, de conformidad con las normas de la presente Ley y las normas técnicas que dicte la Autoridad Única del Agua, en coordinación con la Autoridad Ambiental Nacional y las prácticas ancestrales.

2.1.4. Plan Nacional de Desarrollo (2017 – 2021)

El estudio se enmarca en el objetivo del PND, en el cual describe lo siguiente:

Objetivo 3: Garantiza los derechos de la naturaleza para las actuales y futuras generaciones.

Las mesas de la protección y el cuidado de las reservas naturales y de los ecosistemas frágiles y amenazados, es un tema preocupante en las diferentes mesas. Se destaca, incluso,

que frente a aquellas consecuencias ambientales que son producto de la intervención del ser humano, es necesario un marco de bioética, bio – economía y bio – conocimiento para el desarrollo; es decir, la investigación y generación de conocimientos de los recursos del Ecuador.

En este sentido, se propone una gobernanza sostenible de los recursos naturales no renovables, a través del establecimiento de prácticas responsables con el medio ambiente y con la población, y el establecimiento de límites a las actividades extractivistas cuando amenacen áreas protegidas, territorios ancestrales sagrados, fuentes de agua, entre otros.

2.2. Línea de investigación

El estudio se enmarca en la línea de investigación de la carrera: Desarrollo agropecuario y forestal sostenible.

2.3. Fundamentación teórica

2.3.1. Disponibilidad del recurso agua en el mundo

La disponibilidad de agua promedio anual en el mundo es de aproximadamente 1 386 millones de km³, de los cuales el 97,5% de esta agua es salada distribuida en los océanos y mares, el 2,5% representa la cantidad de agua dulce, es decir 35 millones de km³. Sin embargo, ésta se encuentra distribuida en forma de hielo y en depósitos subterráneos, dejando solo 0,003% aprovechable para los humanos (CNA, 2011).

2.3.2. Disponibilidad del recurso agua en Ecuador

En Ecuador la precipitación media anual es de 2 274 mm, que supone 583 km³/año en todo el territorio continental. Por otra parte, la cantidad de agua disponible en todos los sistemas hidrográficos del país es de 432 km³/año. El territorio nacional se divide en 31 sistemas hidrográficos, de los cuales 24 pertenecen a la vertiente del pacífico y siete a la vertiente del Amazonas. Estos sistemas a la vez se conforman de 79 cuencas hidrográficas: 72 pertenecen a la vertiente del Océano Pacífico, de las cuales una parte pertenece a áreas costaneras con 123 243 km² y otra parte pertenece a los territorios Insulares aledaños cubriendo 1 428 km². Estas cuencas contienen el 88% de la población, el resto se encuentra en las siete cuencas de la vertiente del Amazonas ya mencionadas (FAO, 2016).

2.3.3. Hidrología

Es la rama de la ingeniería y la ciencia que versa sobre las propiedades físicas, existencia, cantidad, disponibilidad, distribución, movimiento y circulación del agua en la atmósfera, en la superficie y en el interior de la corteza terrestre. A pesar de que la hidrología lleva varias décadas de estudiar la dinámica de las aguas en el planeta, de lograr notables avances en los planteamientos teóricos – prácticos, que procuran describir y predecir con modelos tales fenómenos. La naturaleza estocástica del sistema hidrosférico deriva en que esos modelos sean inciertos, exitosos sólo parcialmente y que las consecuencias estimadas sólo sean buenas aproximaciones empíricas (Rivas, 2018).

2.3.4. Sistema hidrológico

El agua tiene una dinámica muy compleja, la cual conocerla en su totalidad es de alta complejidad. Sin embargo, para facilitar su entendimiento se puede visualizar como sistema hidrológico, donde sus componentes principales son la evaporación, escurrimiento y la precipitación. En su análisis se divide en tres subsistemas como se lo muestra en la ilustración 1, estos son estudiados de forma separada pero luego se combinan los resultados de acuerdo con su interacción (IMFIA, 2010).

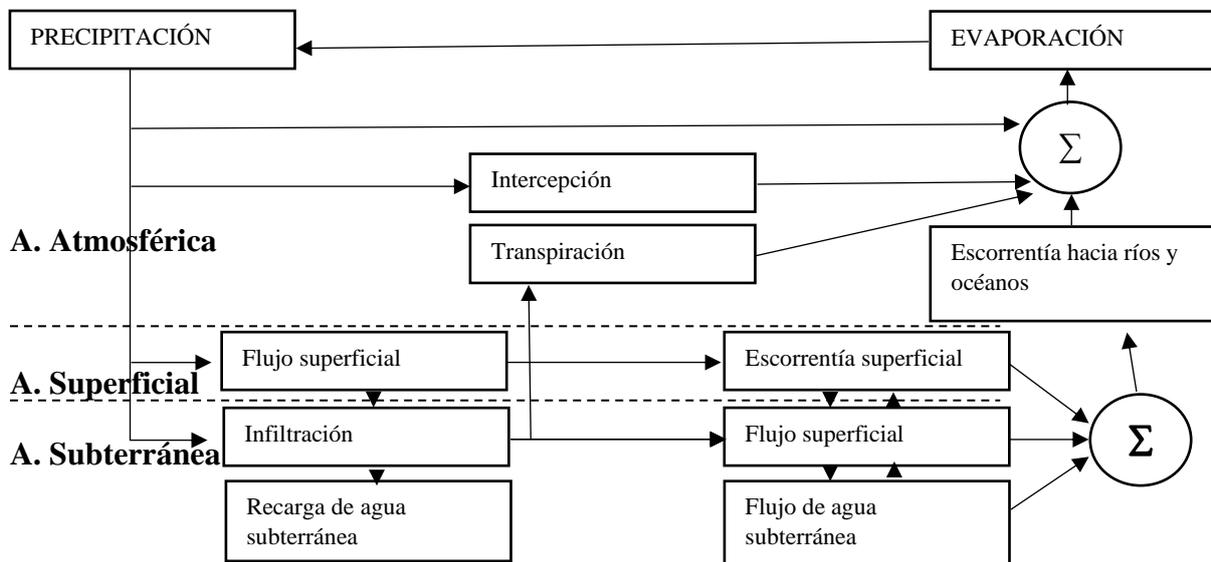


Diagrama 1: Representación en diagrama de bloques del sistema hidrológico global.

Fuente: Chow et al., 1994.

2.3.5. Ciclo hidrológico

El agua en la naturaleza no permanece estática, presenta un constante dinamismo en el cual se definen diferentes etapas o fases. Éstas, por su manera de enlazarse, generan un verdadero ciclo, ya que su inicio ocurre donde posteriormente concluye (Maderey, 2005).

Su fundamento es que toda gota de agua, en cualquier momento en que se considere, recorre un circuito cerrado, desde el momento en que es lluvia, hasta volver a serlo. Este recorrido puede cerrarse por distintas vías, ya que no tiene un camino único. Partiendo de la nube como elemento de origen, esta es vapor de agua que casi en su totalidad proviene del mar, esta humedad es transportada por los diversos sistemas de vientos, hacia los continentes en donde se precipita en forma líquida, sólida o de condensación (rocío y escarcha) (Rascón, 2005).

Según la Sociedad Geográfica de Lima (2011), el ciclo hidrológico involucra un proceso de transporte recirculatorio e indefinido o permanente. Movimiento del ciclo que se debe fundamentalmente al sol que proporciona la energía para elevar el agua (evaporación) y, a la gravedad terrestre, que hace que el agua condensada descienda (precipitación y escurrimiento).

2.3.6. Hidrología del suelo

El agua en el suelo es un subsistema del ciclo de agua, la cual puede estar en combinaciones químicas con los minerales de este o relleno los poros que deja el material. El agua puede rellenar poros finos o gruesos, en el primer caso (agua capilar) se encuentra retenida por los minerales del suelo mediante fuerzas capilares y otras que se engloban bajo el término de potencial matricial, no moviéndose de forma significativa a instancias del campo gravitatorio (Sierra, 2020).

En el segundo caso (agua gravitacional) para la mayoría del agua la importancia del potencial matricial es escasa y el agua puede moverse libremente a través del suelo en respuesta al campo gravitatorio y por lo tanto puede ser drenada libremente mediante estructuras pasivas (Sierra, 2020).

El movimiento del agua en el suelo constituye el agente más importante en la formación de los suelos, al centrarse la importancia de las acciones que ejerce el agua en este. El agua interviene tanto en acciones como la meteorización física – química, traslocación de sustancias

y transporta nutrientes, sales solubles y los contaminantes a través del suelo (Dorronsoro, 2017).

Produce hinchamiento y el encogimiento de las arcillas, para unir sus partículas y provocando el desarrollo de la estructura del suelo (Dorronsoro, 2017).

2.3.6.1. Circulación subterránea

Desde el punto de vista del comportamiento y disponibilidad del agua por debajo de la superficie terrestre (subsuelo) existen dos zonas muy diferentes: la zona no saturada, caracterizada por contener aire y/o agua en sus poros (espacios vacíos entre granos), siendo el suelo una parte fundamental de ella y, la zona saturada o acuífero (coloquialmente llamada “napa”) que sólo contiene agua en sus poros (Cabrera, 2005).

Un acuífero es el sistema formado por las rocas fracturadas o los sedimentos (arenas, gravas, limos) y el agua que se almacena y llena completamente las fracturas o poros. Todos los acuíferos tienen la capacidad de recibir, almacenar y transportar agua (Gálvez, 2011).

Para que los materiales se constituyan en acuíferos los poros o fracturas deben estar interconectados para permitir que el agua, aunque muy lentamente, fluya a través de ellos. A mayor conexión entre poros mayor permeabilidad tendrá un acuífero y mejores posibilidades de ceder cantidades significativas de agua (Cabrera, 2005).

Un acuífero se recarga principalmente por el agua de lluvia que se infiltra, que, al superar la capacidad de almacenamiento de los suelos, circula hacia profundidad aumentando las reservas subterráneas. También se recarga por aporte de agua de un río, laguna, etc., o por acción del hombre (pozos negros, efluentes, etc.). Las velocidades de circulación del agua subterránea, que dependen del tamaño de grano de los sedimentos, son muy bajas, siendo en general del orden de milímetros o centímetros al año. El flujo de agua subterránea se produce, en general, desde las áreas más altas (de recarga) hacia las más deprimidas (de descarga), donde aflora en superficie, originando manantiales o aportando agua a ríos, lagos, etc., (Cabrera, 2005).

2.3.7. Propiedades hídricas del suelo

2.3.7.1. Densidad aparente

Refleja el contenido total de porosidad, esto es importante para el manejo de los suelos ya que indica el nivel de compactación de este, la facilidad de circulación de agua y aire. Además, interviene en la penetración y formación del sistema radicular de las plantas y de la biomasa microbiana del suelo junto a su actividad (FAO, 2020).

La densidad aparente varía con la textura del suelo y el contenido de materia orgánica. Al mismo tiempo, puede variar estacionalmente por efectos de la labranza y con la humedad del suelo, sobre todo en suelos con arcilla expandente (Toboada y Alvarez, 2008).

2.3.7.2. Capacidad de campo

El agua al llegar a ocupar todos los poros del suelo entonces se dice que el suelo está saturado, posteriormente por efecto de la gravedad el agua se mueve hacia el subsuelo, hasta llegar a un punto en el que el contenido de agua del suelo se estabiliza. Cuando se alcanza este punto se puede decir que el suelo se encuentra en capacidad de campo (Jiménez, 2009).

Buena parte de la capacidad de campo está disponible para las plantas y, conforme es consumida esta agua se llega a un punto en el que la planta no puede absorberla. En este estado se dice que el suelo es en el punto de marchitez (Jiménez, 2009).

2.3.7.3. Capacidad de almacenamiento de agua

Los suelos contienen diferente cantidad de agua dependiendo de su textura y estructura. El límite superior de almacenamiento de agua se denomina con frecuencia “capacidad de campo” (CC), mientras que el límite inferior se denomina “punto de marchitamiento permanente” (PMP) (Lincoln, 2013).

Después de un evento de lluvia o de riego que satura el suelo, hay un rápido movimiento descendente (drenaje) de una parte del agua del suelo debido a la fuerza de gravedad. Durante el proceso de drenaje, la humedad del suelo disminuye continuamente. La velocidad de drenaje está relacionada con la conductividad hidráulica del suelo. En otras palabras, el drenaje es más rápido en los suelos arenosos en comparación con los suelos arcillosos (Lincoln, 2013).

Después de un tiempo, el rápido drenaje se hace insignificante y en ese punto, la humedad del suelo se denomina “capacidad de campo.” El punto de marchitamiento permanente se define como el contenido de humedad del suelo en el que la planta ya no tiene la capacidad de absorber agua del suelo haciendo que la planta se marchite y muera (Lincoln, 2013).

2.3.8. Hidrología forestal

Es una especialidad de la hidrología que se fundamenta en sus bases científicas, enfatizando el bosque con relación al ciclo hidrológico. La concentración de la ingeniería forestal a través de la hidrología es direccionada con énfasis ambiental, hacia el estudio de la relación de suelos y aguas y su protección en el marco de la cuenca hidrográfica (Olmos C. G., 2019).

La restauración hidrológica forestal se puede entender como todo un proyecto para recuperar las cuencas degradadas por erosión del suelo, inundaciones y sequías. Las acciones deben ser direccionadas a la conservación y regulación de aguas, que traigan beneficios a la biodiversidad, socio – económicos, paisajísticos y a mitigar el cambio climático (Olmos C. G., 2019).

2.3.9. Ecología forestal

Se refiere a las condiciones creadas por el medio ambiente, donde se estudia su relación con la cobertura boscosa, con el fin de ayudar al manejo racional de los recursos y a su protección. Es decir, busca entender los procesos ecológicos vinculados a los ecosistemas forestales (OEA, 1972).

2.3.10. Rol de los bosques en relación con el agua

Los ecosistemas forestales permiten la regeneración de los recursos hídricos, ayudando a que el agua del subsuelo se recargue con agua de buena calidad. Estas funciones son elementos clave en el debate internacional sobre la escasez global de agua (Brüschweiler, 2004).

Desde un punto de vista cuantitativo, un bosque, por lo general, retorna menos agua al suelo que los pastizales o áreas de cultivo bien manejados. El bosque devuelve mayores cantidades de agua a la atmósfera a través de la evapotranspiración (Brüschweiler, 2004).

Sin embargo, el denso y profundo sistema radicular del suelo forestal y la alta porosidad de sus horizontes esencialmente orgánicos, le dan una excelente capacidad de filtración y retención de agua. La concentración de contaminantes que se puede encuentran en el agua potable tomada de pozos y manantiales, cuya fuente es de una cuenca principalmente utilizada de manera agrícola, es mayor que el agua proveniente del ciclo hidrológico del bosque (Brüschweiler, 2004).

2.3.11. La hidrología de los bosques andinos

Los bosques andinos constituyen ecosistemas forestales con una flora y una estructura característica. Están influidos por condiciones climáticas que controlan en parte su funcionamiento. Entre estos bosques, los altos-andinos se ubican normalmente en una franja altitudinal donde el ambiente se caracteriza por una cobertura de nubes persistente o estacional. Esta nubosidad reduce la incidencia de la radiación solar y el déficit de vapor, y llega a suprimir los procesos de evapotranspiración. La precipitación total que llega al interior del bosque se ve significativamente incrementada por el aporte de la niebla interceptada por la vegetación (Tobón, 2009).

La presencia de niebla en bosques alto – andinos modifica la mayoría de las variables que intervienen en el balance hídrico de estos ecosistemas: reduce la incidencia de la radiación solar, aumenta la humedad relativa y disminuye la evapotranspiración y el déficit de vapor de agua en el aire (Tobón, 2009).

2.3.12. Los bosques andinos y su ciclo hidrológico

Para su comprensión la descripción conceptual del ciclo hidrológico se presenta consecutivamente, de acuerdo con el orden de los procesos en la dirección del flujo del agua en estos ecosistemas; es decir, entradas por precipitación en todas sus formas (vertical y horizontal, lluvia que se transporta por el viento y la niebla), precipitación neta dentro del bosque, agua en el horizonte orgánico, escorrentía superficial, infiltración de la precipitación,

evapotranspiración, agua en el suelo, percolación profunda y drenaje a nivel cuenca (Tobón, 2009).

2.3.13. Influencia de la vegetación sobre la precipitación

La distribución de la precipitación depende ante todo de patrones globales de circulación climática. Por lo tanto, el efecto de la vegetación sobre el régimen local de lluvias es mínimo, excepto en cuencas de gran tamaño como la amazónica. Lugar que alrededor del 48% de la precipitación que recibe proviene de la evapotranspiración de la misma cuenca (Villegas, 2004).

2.3.14. Influencia de los bosques sobre la intercepción

El fenómeno de la intercepción que se presenta fundamentalmente en vegetación de porte medio y alto (rastrojos y bosques). Implica que una parte de la precipitación incidente sobre un área determinada sea detenida por la superficie de la vegetación (Villegas, 2004)..

La intercepción está relacionada con otras variables como: la precipitación total; la densidad de vegetación en la cobertura, que determina el área efectiva de contacto entre la precipitación y la cobertura vegetal; la estratificación en la cobertura; el fenómeno de epifitismo, que aumenta en gran medida el área de contacto entre la vegetación y la lluvia incidente; el manejo silvicultural de los bosques plantados, convirtiéndose en un factor determinante de la cantidad de agua que llega efectivamente al suelo y que es aquella que, en último término, alimenta los acuíferos y los drenajes superficiales (Villegas, 2004).

Los ecosistemas forestales permiten la regeneración de los recursos hídricos, al ayudar que los acuíferos se recarguen con una buena calidad de agua. Desde un punto cuantitativo, el bosque retorna menos agua que los pastizales o áreas de cultivo, esto se debe a que el bosque la mayor cantidad de agua que devuelve a la atmósfera es por evapotranspiración. Cabe mencionar que la escorrentía superficial es mínima y la recarga del subsuelo es más eficiente, esto beneficia a manantiales permanentes (Brüschweiler, 2004).

La intercepción es un factor de alta relevancia para comprender los servicios ecosistémicos relacionados con el agua en zonas boscosas. Al impactar la lluvia sobre la cobertura vegetal, esta puede permanecer en el follaje, recorrer el fuste por acción de la

gravidad, caer desde las hojas por goteo o pueden llegar al suelo sin chocar con algún elemento vegetal (Téllez., 2003; Gash, 2005).

Cuando la precipitación se presenta en forma de rocío, atraviesa el dosel como cúmulos, adhiriéndose a las superficies foliares y leñosas, que, al formar gotas por la acumulación de las partículas de agua, se desliza hasta el suelo (Holder, 2004). Las gotas pueden quedar retenidas en los poros del sustrato y cuando éste alcanza su máxima saturación, el exceso de agua es arrastrado por la inclinación del terreno (Pascual, 2018).

2.3.15. Influencia de la cobertura forestal sobre las crecidas en cuencas de montaña

Se ha demostrado el papel de las coberturas boscosas como reguladoras de caudal, porque favorecen la infiltración, esto debido a la producción de una capa de hojarasca sobre el suelo mineral y a la disposición de su sistema radicular. Estas propiedades regulan el nivel freático, permiten la recarga de acuíferos alimentadores del flujo base de las corrientes, disminuyen también la cantidad de pérdidas por escorrentía directa de la superficie y retrasan la evacuación instantánea de las lluvias (Villegas, 2004).

2.3.16. Cambio en el régimen hidrológico y en el caudal de las cuencas andinas debido a la tala de los bosques y cambios en el uso del suelo

A pesar de que en la región andina no existen estudios tipo cuencas pareadas, en los cuales se puede evaluar los efectos hidrológicos producidos por la tala de los bosques y su conversión en pastos o cultivos agrícolas, éstos no son estrictamente necesarios ya que varios autores coinciden en el hecho de que esta conversión es la principal causa de impactos significativos sobre el caudal de los ríos y quebradas. En sentido general, se ha encontrado que en cuencas deforestadas los caudales son altos durante los eventos de precipitación. Cuando el evento termina, el caudal disminuye considerablemente y en algunas cuencas desaparece después de cierto periodo de tiempo sin lluvia. Este efecto parece aumentar su intensidad en la medida que aumenta igualmente el tamaño del área deforestada (Tobón, 2009).

2.3.17. Influencia de la vegetación sobre la humedad del suelo

Una de las funcionalidades de la vegetación es proporcionar sombra al suelo, lo cual disminuye la pérdida de humedad evitando los bruscos cambios de temperatura. El agua que

toman las raíces que se encuentran en el mismo, es transpirada lentamente por las hojas debido a la sombra en que se encuentra. En zonas donde se produce la neblina, las gotas microscópicas son captadas por las hojas de los árboles, las cuales se deslizan hacia el suelo manteniéndolo húmedo, esto permite el desarrollo de muchos procesos para la biota de éste (FAO, 1996).

2.3.18. Cambios en la capacidad de los suelos para almacenar y retener la humedad al cambiar de uso de suelo en los bosques andinos

Los suelos del bosque alto andino, en su mayoría son derivados de cenizas volcánicas y con un alto contenido de materia orgánica, son en parte los responsables de su alta capacidad de almacenamiento de agua. Esta capacidad es mayor cuanto más materia tengan (Tobón, 2009).

Al desaparecer la vegetación, esta materia orgánica desaparece rápidamente, debido a que se acelera su descomposición y a que no hay nueva adición de hojarasca. La desaparición del horizonte orgánico trae, como una de sus principales consecuencias, la disminución de la capacidad de almacenamiento de agua en el suelo y de su capacidad de retención de la humedad, esto afecta la disponibilidad de agua para las plantas y, por ende, la evapotranspiración (Tobón, 2009).

2.3.19. Impacto hidrológico causado por la tala y conversión de los bosques andinos a otros usos del suelo

La alteración y destrucción de los estos bosques modifican las propiedades hidrofísicas de los suelos y, por ende, se altera su funcionamiento hidrológico. Se producen cambios considerables en su dinámica hídrica, como por ejemplo en las condiciones de intercepción del agua de la niebla por la vegetación, a más de que disminuye la infiltración y la capacidad de los suelos para retener el agua (Tobón, 2009).

La pérdida de la masa boscosa debido a la tala, a eventos naturales o al cambio climático, puede dar como resultado una disminución de los caudales, especialmente durante los periodos secos. Pero la magnitud de las consecuencias aún no ha sido estudiada para una gran parte de los bosques andinos (Tobón, 2009).

Generalmente, en los casos en que el bosque natural es sustituido por otros usos del suelo, con frecuencia pastos y cultivos, se generan cambios considerables en el régimen

hidrológico de las cuencas de alta montaña. Esto es esencialmente resultado del cambio en las propiedades hidrofísicas del suelo y de cambios en la dirección y magnitud de los flujos de agua hacia los ríos y las quebradas. Entre los principales problemas causados por el cambio en el uso del suelo, pueden mencionarse: erosión, deslizamiento de tierras, inundaciones, contaminación, degradación del régimen hidrológico y escasez de agua (Tobón, 2009).

Sin embargo, varios autores han encontrado que estos cambios en el uso de suelo y su posterior manejo genera variaciones considerables en la infiltración y en las propiedades hidrofísicas del suelo, lo cual resulta en una menor recarga del agua del suelo y de los acuíferos en los periodos de lluvia, y deja los suelos rápidamente expuestos a condiciones de sequedad, una vez que se inician los periodos de verano, afectando considerablemente la evapotranspiración (Tobón, 2009).

2.3.20. Influencia de la vegetación sobre el rendimiento hídrico

El rendimiento hídrico de las cuencas montañosas se define como la fracción de la precipitación que sale en forma líquida de éstas. Depende del clima, la vegetación presente y de la configuración topográfica y geológica de la cuenca (Zhang *et al*, 2001; Brown *et al*, 2005; Huxman *et al*, 2005; Jackson *et al*, 2009; Noretto *et al*, 2012).

Estudios registran la respuesta del caudal de cuencas montañosas tras el cambio de vegetación. Los resultados obtenidos en éste, muestra alteraciones en el caudal total anual, en su estacionalidad, en su partición entre “picos de caudal” o crecientes inmediatamente posteriores a la lluvia y caudal base. Por último, aporte más lento del sistema hidrológico subterráneo (Farley *et al*, 2005).

Las alteraciones hídricas que una cuenca puede sufrir a causa del cambio de vegetación es significativo. Afecta a la provisión de agua para consumo humano, industrial, agrícola y en la regulación de crecientes e inundaciones (Jackson *et al*, 2001; Bradshaw *et al*, 2007).}

2.3.21. Cambios en la tasa de evapotranspiración producidos con el cambio de uso de suelo

La cantidad de agua del suelo que se utiliza por la vegetación para sus procesos internos (transpiración – respiración depende, en parte, de la cantidad de biomasa foliar, además de la disponibilidad de agua en el suelo y de la radiación solar, entre otros factores. Por lo tanto,

cambios en el uso de suelo que conlleve el remplazo del bosque por vegetación rastrera u otros, con una mayor cantidad de hojas y de menor cobertura, puede resultar en una menor evapotranspiración. Esto daría como resultado un mayor caudal o escorrentía desde la cuenca (Tobón, 2009).

2.3.22. Cuenca hidrográfica

Un sistema natural fundamental en hidrología es la cuenca hidrográfica (Gutiérrez, 2014). Puede ser definida como unidad geográfica, delimitada por la divisoria de aguas que limitan el área de terreno drenado por el río principal y corrientes tributarias. Éstas están interconectadas, y permite que toda el agua recolectada mediante del escurrimiento, desemboce a través de una salida (Prieto, 2009).

“Las unidades que se encuentran en una cuenca, están conformadas por elementos que se relacionan entre sí, en donde lo más importante son: agua, suelo y bosque” (Echevarría y Montoya, 2015).

2.3.23. Reserva hídrica

Esta tiene diferentes características y objetivos. Es decir, proteger los ecosistemas naturales, sus especies de flora y fauna, preservar los recursos hídricos, en particular los cursos de recarga y los acuíferos subterráneos de agua mineral natural y evitar acciones que deterioren los recursos naturales, centrándose en el suelo, vegetación y fauna. Toda la información que interviene se lo toma como punto de partida para desarrollar políticas autonómicas de gestión y uso del agua (Dalmasso, 1999).

2.3.24. Restauración hídrica

La restauración es una estrategia de carácter interdisciplinario, en la cual se articula el conocimiento científico para dar respuestas a procesos de gestión y manejo de los ecosistemas, ante las necesidades de restablecer los ecosistemas degradados. Esta se convierte en el eje central para los planes de manejo y una estrategia para contrarrestar la pobreza (Hobbs y Harris, 2001). En específico se puede definir como el conjunto de acciones necesarias para la conservación, defensa y recuperación de la estabilidad y fertilidad de los suelos, la regulación

de escorrentías, consolidación de cauces y laderas, la contención de sedimentos y, en general la defensa del suelo contra la erosión (MAPA, 2019).

2.3.25. Restauración hidrológica forestal

Comprende al conjunto de planes, trabajos y actuaciones necesarias para la conservación, defensa y recuperación de la estabilidad ecosistémica. Interviene en la regulación de la escorrentía hídrica, la consolidación de los cauces fluviales y las laderas, la contención de sedimentos y, en general, todas las obras de intervención destinadas a mejorar la funcionalidad edáfica. Esto busca proteger al suelo contra la erosión y defender al territorio frente a la sequía y las inundaciones (Vegas, 2015).

2.3.26. Balance hídrico

Para comprender los procesos hidrológicos en zonas boscosas es necesario entender que el bosque se caracteriza por tres elementales compartimentos (Fetter, 2001), como son:

- El área foliar por encima del suelo que forma un cierto número de capas o estratos
- La acumulación de la hojarasca o “litter” sobre el suelo, constituyendo el denominado “suelo forestal”
- El suelo que se forma por debajo con raíces vivas y muertas, confiriéndole al suelo condiciones apropiadas de macroporos y de permeabilidad.

Estos tres compartimentos se deben tener en cuenta cuando se quiere observar el movimiento del agua a través del bosque.

Por otra parte, las relaciones hidrológicas que se establecen en los ecosistemas forestales se pueden estudiar en el escenario de la cuenca hidrográfica como un sistema hidrológico. Lo cual, se puede evaluar el balance hídrico durante un período de tiempo de acuerdo con el principio de conservación de masa o ecuación integral de continuidad (Fetter, 2001).

2.3.26.1. Balance hídrico superficial

En un balance hídrico, superficial o subterráneo, es importante el área o límite de estudio para definir y cuantificar las variables de entrada y de salida, así como la variación de volumen en el sistema considerado. En una cuenca hidrográfica una de las variables que definen el potencial del recurso hídrico superficial es el volumen de escurrimiento natural, conocido en México como volumen de escurrimiento por cuenta propia. En las variables de salida, el mayor porcentaje corresponde a los volúmenes de consumo para los diversos sectores usuarios, pero algunas veces los volúmenes de transferencia de agua entre cuencas vecinas también llegan a ser considerables (Gálvez, 2011).

La fórmula general que se utiliza en el balance hídrico superficial es la siguiente:

$$\text{Precipitación} - \text{evapotranspiración} = \text{escorrentía} + \text{infiltración} \text{ (Ecu. 1)}$$

2.3.26.2. Componentes del balance hídrico superficial

2.3.26.2.1. Precipitación

Se entiende por precipitación la caída de partículas líquidas o sólidas de agua. Esta es la fase del ciclo hidrológico que da origen a todas las corrientes superficiales y subterráneas, debido a esto su evaluación y el conocimiento de su distribución en el tiempo y en el espacio, son puntos de investigación básicos en la hidrología (Rascón, 2005).

En general las nubes se forman por el enfriamiento del aire por debajo de su punto de saturación, este enfriamiento puede tener lugar por varios procesos que conducen al ascenso adiabático con el consiguiente descenso de presión y descenso de temperatura. La intensidad y cantidad de precipitación dependerán del contenido de humedad del aire y de la velocidad vertical del mismo (Rascón, 2005).

Existen diferentes tipos de precipitación: precipitación convectiva, precipitación orográfica y precipitaciones frontales.

- **Precipitación Convectiva:** Resultan de una subida rápida de las masas del aire en la atmósfera. La precipitación que resulta de este proceso es generalmente tempestuosa, de corta duración (menos de una hora), de intensidad fuerte y de poca extensión espacial.

- **Precipitación Orográfica:** Como su nombre indica (del griego oros = montaña), este tipo de precipitación se relaciona con la presencia de una barrera topográfica. La característica de la precipitación orográfica es su intensidad y frecuencia regular.
- **Precipitación frontal o del tipo ciclónico:** Se denomina Frentes, a la asociación de la temperatura de la masa de aire y la humedad. Los frentes fríos crean precipitaciones cortas e intensas. Se presentan dos casos: frontal y no frontal. La precipitación frontal puede ocurrir en cualquier depresión barométrica, resultando el ascenso debido a la convergencia de masas de aire que tienden a rellenar la zona de baja presión
- **Precipitación Horizontal**

Este parámetro, considerado como el agua en forma de niebla que a causa del contacto que tiene con la vegetación, ingresa al sistema por condensación. Adquiere un nivel de significancia solo si la vegetación es boscosa y con frecuencia de días con neblina. Varios estudios realizados asumen que por cada día de neblina es captado un promedio de 11mm de agua. Tomando en cuenta que estos datos coinciden para bosque mesófilo de montaña en latitudes tropicales y subtropicales (Cotler, 2004).

Es un ingreso importante de agua a los ecosistemas boscosos, dado que en ellos existen especies de vegetación adaptada para lograr este efecto (epifitas como musgos, líquenes, orquídeas y bromeliáceas) (Quevedo, 2005). Ocurre particularmente en los bosques nubosos del trópico húmedo. Tal precipitación oculta o intercepción horizontal de agua, puede alcanzar fácilmente hasta dos y tres veces la precipitación atmosférica normal del lugar. Evidenciando la importancia de proteger los bosques nubosos, entre otras razones, por el papel que cumplen en el régimen hidrológico, como componentes de cuencas productoras de agua (Quevedo, 2005).

Para determinar la cantidad de lluvia que ha caído en determinada zona y en un periodo de tiempo específico, se utiliza el pluviómetro. Instrumento el cual ayuda a cuantificar la cantidad de agua que ha dejado una precipitación.

Existen varios tipos de pluviómetros, dentro de los que se destacan: estándar, de báscula y con tubo de descarga.

Características del pluviómetro en su construcción y ubicación para el cálculo de lluvia:

Debe ser ubicado en el punto central de la parcela, donde se procede a cavar un hoyo para instalar el poste en el cual se colocan los instrumentos de medición (pluviómetro). La superficie recolectora debe quedar unos 10 cm sobre el extremo de la base o poste y el diámetro del poste debe ser mínimo de 4 pulgadas, el largo que debe tener es de 2 m, ya que la altura recomendada por la OMM es de 1,50 m sobre la superficie. La distancia entre cualquier obstáculo sobre el pluviómetro debe ser eliminada o doblar la altura de este (Garrido, 2017).

2.3.26.2.2. *Evaporación*

La evaporación ocurre cuando las moléculas en un líquido adquieren suficiente energía cinética para escapar de la fase líquida y pasar a la fase gaseosa, que supera la tensión superficial y la cohesión en la superficie del agua líquida (Arroyo, 2007). Esta solo tiene lugar cuando se mantiene el gradiente de presión de vapor entre la superficie de evaporación y la capa de la atmósfera que hay inmediatamente por encima de ésta. La energía necesaria para transformar el agua en vapor está dada por la radiación solar y del calor procedentes de la atmósfera. De hecho, son dos los factores que controlan el mecanismo de la evaporación, en primer lugar, la diferencia entre la presión de vapor de aire que hay por encima y la presión de vapor saturada a la temperatura de la superficie de evaporación. A esta diferencia se le llama déficit de saturación (Mook, 2002).

En segundo lugar, la tasa de evaporación se determina por el transporte del vapor. El movimiento ascendente en una capa fina límite se produce por difusión molecular. Sin embargo, por encima de esta capa el vapor se transmite y disipa por movimiento turbulento, que está relacionado con la velocidad del viento. La evaporación depende considerablemente de la temperatura, que determina la presión de vapor saturada y, del intercambio de aire turbulento, que está a su vez relacionado con la velocidad del viento y la rugosidad superficial (Mook, 2002).

Proceso que convierte el agua líquida en un estado gaseoso, se requiere que la humedad de la atmósfera debe ser menor que la superficie de evaporación, además de requerir grandes cantidades de energía. La mayor cantidad sale del mar, también se da en toda la superficie de la tierra donde exista agua estancada (Mejía, 2016). Aproximadamente el 80% del agua evaporada total proviene de los océanos, mientras que el 20% restante lo hace del agua de las regiones continentales y de la transpiración de la vegetación (Vera, 2011).

2.3.26.2.3. *Transpiración*

La transpiración vegetal consiste en la pérdida de agua en forma de vapor que se produce en las hojas de las plantas. La transformación que se produce al pasar de agua líquida a vapor requiere de una gran cantidad de calorías, cuando se produce permite el enfriamiento de las hojas en un intervalo óptimo de temperatura para el desarrollo normal de los procesos metabólicos (García, 2018).

Esta “salida” de agua provoca un diferencial de presión que se compensa por el flujo del agua desde las raíces de las hojas. Del total de agua que la planta puede absorber, una pequeña parte se utiliza para la fotosíntesis, gran parte es eliminada en forma de vapor por medio de la transpiración y otra es utilizada para formar parte de las plantas. Además del transporte de agua, la transpiración proporciona energía suficiente para transportar los nutrientes que son absorbidos por las raíces a las hojas (García, 2018).

La transpiración está determinada por la humedad del aire, la temperatura de la raíz y la concentración de sales en el entorno radicular, elementos que hay que controlar para que el proceso se desarrolle sin alteraciones que perjudique el desarrollo de su cobertura (García, 2018).

2.3.26.2.4. *Evapotranspiración*

La evaporación y transpiración ocurren de manera simultánea, siendo esto difícil distinguir entre estos dos procesos. En el suelo aparte de la cantidad de agua disponible que se encuentra en los horizontes superficiales, la evaporación de un suelo con una cobertura arbórea mixta, es determinada principalmente por la fracción de radiación solar que llega a la superficie del suelo (FAO, 2006).

En un suelo descubierto el agua se pierde principalmente por evaporación directa, pero con presencia de cobertura que cubra en su totalidad al suelo, la transpiración se convierte en el proceso principal, cubriendo más del 90% de la evapotranspiración (FAO, 2006).

Los principales parámetros climáticos que interfieren en la evapotranspiración es la temperatura del aire, la radiación solar, la humedad atmosférica y la velocidad del viento (Llanes, 2013).

El término evapotranspiración involucra conceptos como evapotranspiración potencial, evapotranspiración real, evapotranspiración de referencia.

- Evapotranspiración Potencial (ETP): Se la define como la evapotranspiración de una cubierta vegetal verde con un crecimiento activo, con cobertura completa, bajo un adecuado suministro de agua, en la que las superficies de la vegetación y suelo se suelen considerar mojadas. En todo caso la evapotranspiración potencial no puede ser mayor que la de una superficie libre de agua (Belmonte, 2005).
- Evapotranspiración Real (ETR): Es el ritmo de evapotranspiración de una superficie en un momento determinado. El valor de la evapotranspiración real de una superficie puede coincidir con el de la evapotranspiración bajo condiciones estándar para esa superficie, si se dan las condiciones óptimas para ello. En caso contrario, ocurre que el cultivo no se encuentre en condiciones óptimas y su evapotranspiración será menor que la evapotranspiración de referencia (Belmonte, 2005).
- Evapotranspiración de Referencia (ETo): Esta expresa la demanda o poder evaporativo de la atmósfera y depende solamente de factores climáticos. Se define como el ritmo de evapotranspiración de una superficie de referencia en óptimas condiciones de crecimiento y bajo un adecuado suministro de agua. Al considerar un buen suministro de agua en el suelo, el agua disponible en él y las características del suelo no afectan al ritmo de evapotranspiración (Belmonte, 2005).

La evapotranspiración de referencia expresa la demanda evaporativa de la atmósfera en un lugar específico y en un determinado instante, y no considera los factores asociados al suelo y al cultivo (Belmonte, 2005).

2.3.26.2.5. Infiltración

Es el proceso por el cual el agua penetra la superficie exterior de los estratos del suelo, agua que en dinámica con ayuda de la gravedad puede llegar hasta el nivel freático. Esta agua repone el déficit de humedad del suelo y luego todo el exceso restante continúa moviéndose hasta convertirse en agua subterránea. La tasa máxima a la que el suelo de cualquier condición es capaz de permitir el paso del agua del medio exterior al interior, se denomina su capacidad de infiltración (Álvarez *et. al.*, 2018).

Una vez que la lluvia llega a la superficie de la tierra se puede infiltrar, correr como flujo sobre la superficie de la tierra o acumularse en las hojas de las plantas o encharcarse,

desde donde se evapora nuevamente hacia la atmósfera. Por lo general ocurre una combinación de estos procesos (FAO, 2005)

La lluvia que se infiltra integra el agua del suelo parte de la cual puede ser usada por las plantas para la transpiración, otra parte vuelve a la atmósfera a través de la evaporación desde la superficie del suelo y otra -si hay suficiente infiltración- puede pasar más abajo de la zona radical como agua subterránea (FAO, 2005).

El agua subterránea se mueve en forma lateral y lentamente hacia el mar para completar el ciclo hidrológico, pero parte de esta en su camino filtrará hacia arroyos, ríos y lagos. De esta forma el agua subterránea mantiene el nivel del agua en los pozos y la continuidad de las corrientes de agua durante los períodos secos (conocidos como flujo de base) (FAO, 2005).

- **Capacidad de Infiltración**

Esta hace referencia a la capacidad máxima que puede infiltrarse en el suelo en cierto periodo de tiempo. Para cumplir la capacidad de infiltración de un suelo es necesario que se produzca una excesiva precipitación (Santos, 2015).

Factores que influyen en la capacidad de infiltración son: el tipo de suelo, grado de humedad, compactación por acción de hombres y animales, acción de la precipitación sobre el suelo, cobertura vegetal y temperatura del suelo (Santos, 2015).

- **Factores de Infiltración**

En la capacidad de infiltración intervienen muchos factores como: textura, presencia de costras, compactación, estructura, contenido de materia orgánica, tipo de cobertura vegetal, densidad aparente, presencia de grietas y porosidad, que el uso de tierras donde están presentes las actividades antrópicas, modifica positiva o negativamente estos factores haciendo que la infiltración varíe y produzca impactos sobre la hidrología de una cuenca (Gómez, 2014).

Numerosos estudios han demostrado que la infiltración de los suelos pueden ser un buen indicador de la calidad y la salud del suelo, ya que al transportar agua dentro del suelo constituye como medio principal para conserva la actividad física, química y biológica de este, al mismo tiempo recargar los acuíferos (Gómez, 2014).

- **Medición de la Infiltración**

La mayoría de los datos sobre tasas de infiltración se obtienen mediante ensayos con un infiltrómetro.

En los casos en que existe una amplia variación en los suelos o en la vegetación dentro del área, la cuenca se divide en subcuencas homogéneas, cada una de las cuales está cubierta por un complejo de suelo único. Repitiendo varias veces el ensayo se logra obtener datos fidedignos de cada subárea (Moran, 1989).

Un infiltrómetro es un tubo u otro contorno metálico diseñado para aislar una sección del suelo. El área efectiva varía desde menos de 1 ft² hasta varias decenas. El procedimiento clásico consiste en inundar el infiltrómetro, aplicando agua en una lámina de altura constante sobre el área encerrada y medir el tiempo que tarda en infiltrarse. Esta práctica está siendo reemplazada por los simuladores de lluvia. Como en este caso no se puede medir directamente la cantidad de agua que penetra el suelo, la infiltración se calcula como la diferencia entre el agua aplicada y la escorrentía directa medida (Moran, 1989).

2.3.26.2.6. Escorrentía

Esta se describe como el agua que procede de la precipitación que realiza su dinámica sobre o bajo la superficie terrestre, donde se drena por una corriente hasta la salida de la cuenca” (Aparicio, 2015).

Esta se puede dividir en clases:

- Escorrentía superficial
- Escorrentía subsuperficial o hipodérmica
- Escorrentía subterránea

- **Escurrimiento Superficial**

Se denomina así al proceso de movimiento del agua sobre las laderas de las montañas y colinas y por las corrientes superficiales (Orozco, 2018). Es decir, es el exceso de precipitación que se desplaza sobre la superficie del terreno por gravedad, formando una red hidrográfica sobre el terreno, hacia un punto de salida del área de drenaje de la cuenca.

- **Escorrentía Subsuperficial o Hipodérmica**

Esta ocurre de la precipitación en zonas que se encuentran parcialmente saturadas, la dinámica de esta agua se produce lentamente a través de los horizontes superiores del suelo,

luego emergerá en un punto de la superficie ubicado en la parte inferior del punto de infiltración, esto sin llegar a aumentar el nivel freático (Guisbert, 2006).

- **Escorrentía Subterránea**

Cuando en agua el agua alcanza las zonas de saturación al infiltrarse, comienza a escurrir lentamente hasta los niveles freáticos para luego emerger a una red hidrográfica, lo cual además de regular el nivel freático, produce el caudal base de los ríos (Guisbert, 2006).

2.3.26.3. *Trabajo estadístico de componentes de balance hídrico superficial*

Para valorar los datos de los componentes del balance hídrico superficial en escenarios diferentes, es necesario examinar estadísticamente. Los datos deben cumplir con la prueba de homocedasticidad y normalidad (Aguirre, 2009).

2.3.26.3.1. *Prueba de homocedasticidad con F - fisher*

Para la comparación de varianzas se utilizará la prueba de F de Fisher en donde es necesario plantear las hipótesis nula y alterna:

$$H_0: S^2_1 = S^2_2$$

$$H_n: S^2_1 \neq S^2_2$$

H_0 : Hipótesis nula

H_n : Hipótesis alterna

S^2_1 : Varianza muestra uno

S^2_2 : Varianza muestra dos

Esto dice que la campana de Gauss va a ser de dos colas. Se eligió un nivel de significancia, el cual se utiliza para saber la tabla correspondiente de F - fisher. Para la utilización de ésta se necesitó el grado de libertad de las dos estaciones, donde participan su cantidad de datos:

gl: $n_1 - 1 \rightarrow$ Numerador

gl: $n_2 - 1 \rightarrow$ Denominador

La utilización de la tabla F – Fisher permite encontrar el valor crítico para aceptar o rechazar las hipótesis. Se calcula el estadístico de prueba (Ec.2):

$$F = \frac{S_1^2}{S_2^2} \text{ (Ec. 2)}$$

S_1^2 : Varianza muestra uno

S_2^2 : Varianza muestra dos

Siendo menor el resultado del estadístico de prueba (F) permite determinar mediante la comparación con el valor crítico, aceptar la hipótesis nula, donde las varianzas son iguales y por ende se dice que existe homocedasticidad.

2.3.26.3.2. Prueba de normalidad de Shapiro – Wilks

La prueba de *Shapiro-Wilks* plantea la hipótesis nula que una muestra proviene de una distribución normal. Se elige un nivel de significancia, por ejemplo 0,05, y se tiene una hipótesis alternativa que sostiene que la distribución no es normal (Dietrichson, 2019).

Este método consiste en empezar ordenando los datos de la muestra de forma ascendente, de menor a mayor, obteniendo el nuevo vector muestral (x_1, x_2, \dots, x_n).

En este punto se calcula el estadístico de contraste (ecu. 11) que su resultado permite calcular el crítico del test ayuda a tomar una decisión sobre la normalidad de la muestra. Lo cual permitirá rechazar o aceptar la hipótesis nula de normalidad, según el nivel de significancia otorgado.

2.3.27. Proyecto de reservas hídricas en la parroquia de Peñaherrera

La organización ambiental DECOIN fundada en 1995, al buscar formas para conservar la biodiversidad única en el área de Intag, y mitigar los problemas presentados en la comunidad por la deforestación, quemas y malas prácticas agropecuarias, se generó el proyecto de “Reservas Hídricas Comunitarias”.

Este proyecto con la ayuda de Rainforest Concern (Reino Unido), ha establecido reservas de cuencas hidrográficas comunitarias. Esta organización trató directamente la problemática con la compra de tierras en las fuentes de agua, a título y nombre de las

comunidades beneficiarias, con el posterior cercamiento, protección y reforestación para asegurar la calidad del agua (GAD Peñaherrera, Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial, 2015).

DECOIN plantea desarrollar planes de manejo para las reservas, cuyo objetivo es la conservación de la cantidad y calidad del agua, además de la diversidad biológica existente en ellas (Zorrilla, 2010).

Hasta el año 2010 se ha reforestado, con especies nativas y en peligro de extinción, más de 50 000 árboles como parte del proyecto. Todas estas plantas cultivadas en viveros comunitarios. El proyecto también implica enseñar a las comunidades cómo monitorear la calidad del agua y la diversidad biológica, esto hacerlo con equipos de análisis de agua distribuidos a las comunidades participantes. También incluye capacitación sobre cómo tomar, analizar e interpretar muestras de agua y cómo administrar su reserva (Zorrilla, 2010).

Cabe mencionar que estas reservas hídricas fueron incluidas en el Proyecto de Ordenanza que delimita y declara el Área de Conservación y Uso Sustentable Municipal Intag-Toisan ACUS-MIT en el año 2018. Dentro del proyecto se delimitó tres áreas las cuales son: de conservación estricta, de desarrollo sustentable y de recuperación (Proaño, 2018).

Entre los años 2001 y 2010, más de 40 reservas hídricas fueron creadas en la zona de Intag, de las cuales en Peñaherrera se encuentran las que se mencionan a continuación:

Tabla 1

Reservas hídricas comunitarias de Peñaherrera

NOMBRE	MICROCUENCA	AÑO ESTABLECIDO	ÁREA (ha)
Cristal – Peñaherrera	Cristopamba, Nangulví	2004	21.6
Las Tolas		2011	25
Paraíso	Nangulví	2007	45
Nangulví Bajo/Balsapamba	Intag	2005	120.6
Triunfo	San Pedro	2005	110.9
Villaflores		2003	4
Total			327.1

Fuente: Plan de Desarrollo y Ordenación Territorial de la Parroquia de Peñaherrera

CAPITULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación del área de estudio

3.1.1. Ubicación política

El estudio se realizó en la reserva hídrica El Paraíso, en la Zona de Intag, parroquia de Peñaherrera, en la comunidad el Paraíso, cantón Cotacachi ubicado en la provincia de Imbabura. La reserva limita al norte con la propiedad de Luis Herrera, Manzel Piedra y Pablo Navarrete, al sur con las propiedades de Pedro Bolaños y Luis Giménez, y al noroccidente con el camino público a mirador Las Palmas.

3.1.2. Ubicación geográfica

El área de estudio se encuentra geográficamente en las coordenadas: $78^{\circ}24'18,5''$ de longitud W y $0^{\circ}49'45,9''$ de latitud N. Esta limita al norte con la comunidad El Cristal, al sur con la comunidad El Mirador, al este con la cabecera parroquial de Peñaherrera y oeste con la cordillera de Toisan (Figura 1).

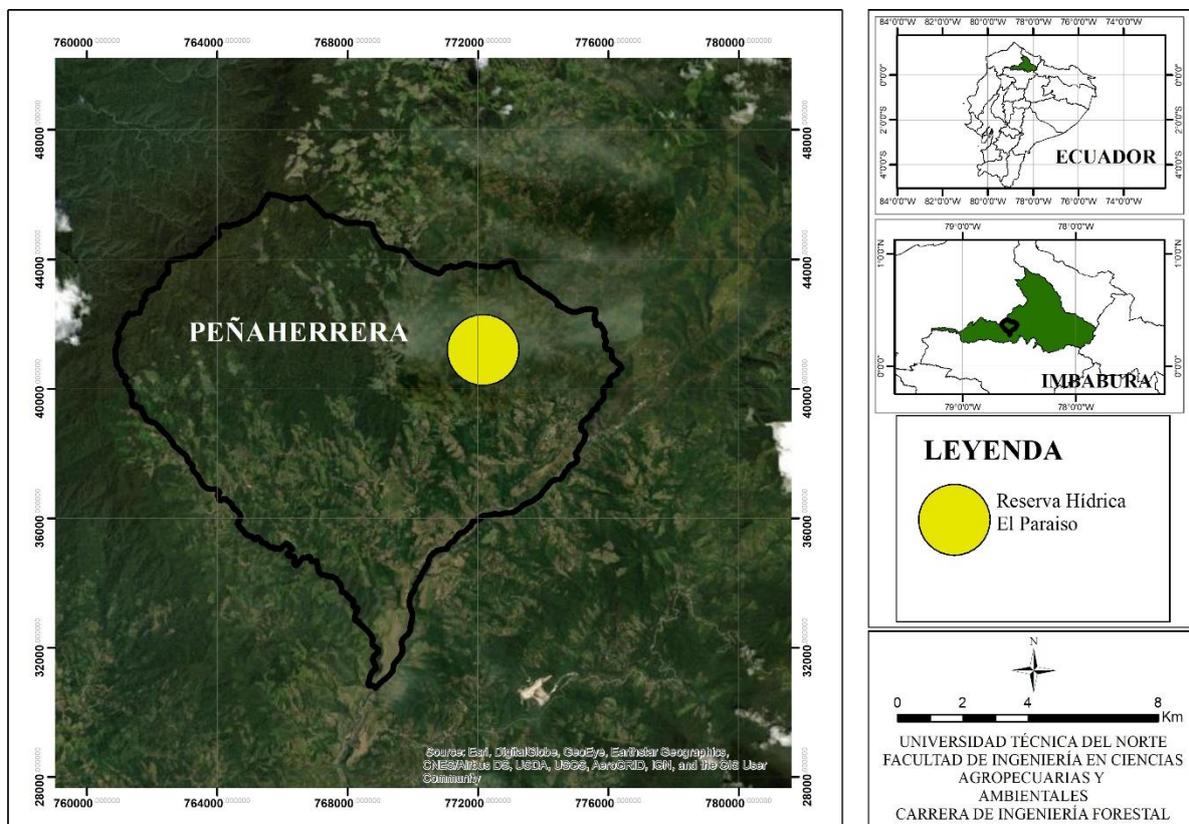


Figura 1: Ubicación del área de estudio.

3.2. Materiales, equipos y software

3.2.1. Materiales

- Machetes
- Libreta de campo
- Recolectores de agua
- Piola
- Masilla para auto (WWR)
- Papel aluminio
- Piezas de madera
- Cinta industrial
- Silicona líquida
- Tubos metálicos
- Palancón
- Azadón
- Balde plástico
- Bolsas ziploc
- 4m² de plástico
- Envolverte plástico

3.2.2. Equipos

- Infiltrómetro de césped
- Pluviómetro casero
- Recolector de flujo

3.2.3. Software

- ArcGIS 10.3.
- InfoStat Versión 2015
- Microsoft Excel
- Statgraphics XVII – 64

3.3. Metodología

3.4. Delimitación área de estudio

En la reserva hídrica El Paraíso se realizó un recorrido para la identificación de los escenarios que integraron la investigación, que con ayuda del GPS se registró las coordenadas pertenecientes a las zonas en donde se encontraron estos.

La reserva El Paraíso tiene un área de 45 ha, para la realización del estudio se identificó cuatro zonas, definidas por las características de su cobertura (Tabla 2).

La primera zona de referencia está cubierta por pastizal, área que se encuentra sin actividad agropecuaria. En la de bosque mixto hay presencia de especies nativas viviendo con árboles de la especie de *Alnus neplensis* (Aliso). Además, en la reserva se identificó un sistema que combina a *Alnus neplensis* (Aliso) con pasto, donde no se registra actividades de aprovechamiento forestal ni agropecuario. Por último, está la zona con presencia de bosque nativo, área ubicada en la parte baja de la cuenca (Figura 2).

Tabla 2

Zonas de estudio

ZONAS	COORDENADAS		
	Longitud	Latitud	Altitud
Pasto – aliso	77°12'57.6" W	0°24'42.7" N	2 164
Bosque mixto	77°12'33.1" W	0°24'34.63" N	2 159
Bosque nativo	77°14'9.6" W	0°24'31" N	2 024
Pastizal (Referencia)	77°15'24.8" W	0°24'43.38" N	2 073

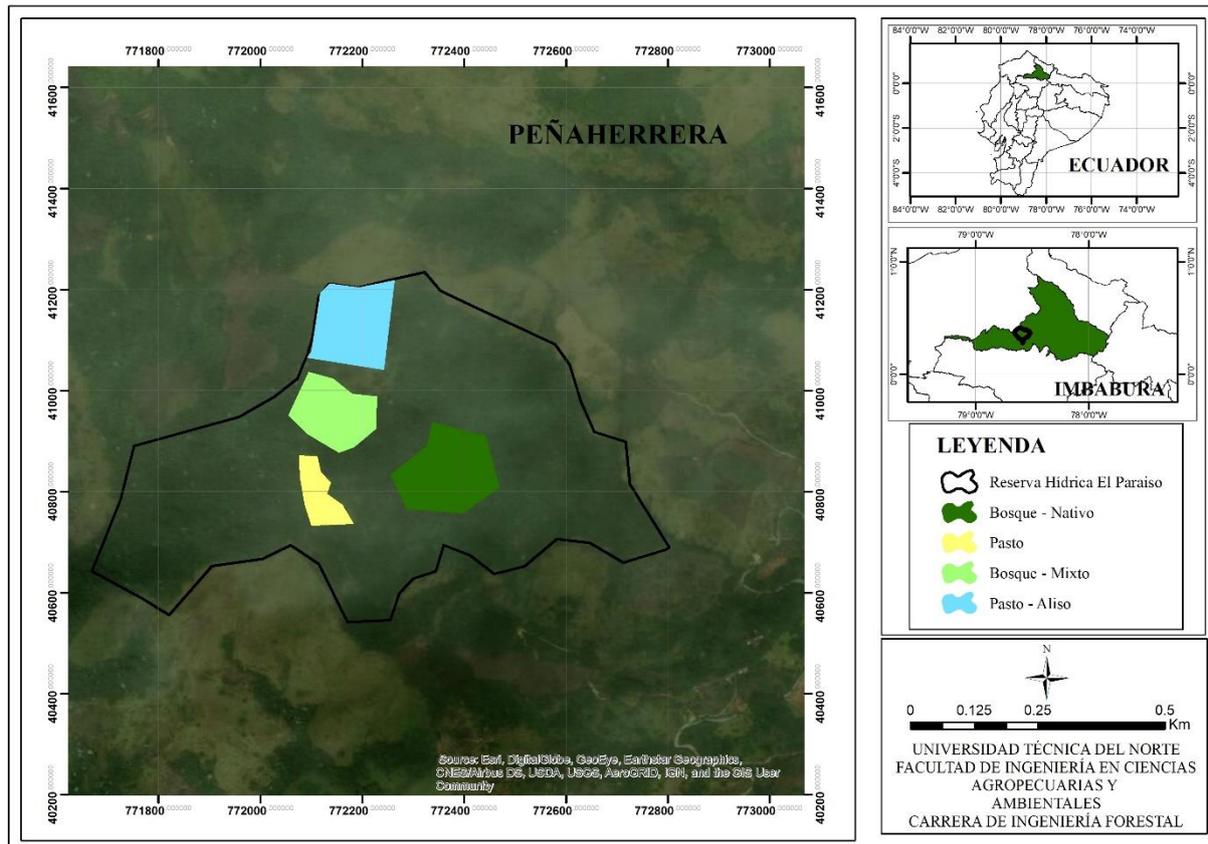


Figura 2: Delimitación de reserva hídrica El Paraíso y zonas de estudio.

3.5. Definición del tamaño de la muestra

Se utilizó un muestreo no probabilístico, en función de la accesibilidad y el criterio personal de dos profesionales forestales junto con la intencionalidad de la investigación.

3.6. Inventario preliminar

Este inventario tuvo la finalidad de definir el número de árboles en los cuales se instaló los recolectores de fluido cortical.

Se instaló una parcela de 500 m² en cada zona de estudio, midiendo el diámetro a la altura del pecho. Resultados que sirvieron para la clasificación diamétrica e instalar un recolector de flujo por clase.

En el escenario de pasto – *Alnus nepalensis* (Aliso) se instalaron cuatro recolectores, en diámetros de 10 cm, 20 cm, 30 cm y 40 cm, en el bosque nativo y mixto se instaló tres de estos en diferentes especies, debido a que los árboles encontrados llegaron hasta 30 cm de DAP.

3.7. Determinación de propiedades físico-hidrológicas del suelo

Para el análisis del suelo se rigió a los parámetros del instructivo SFA/10 de Muestreo de Agrocalidad. Se realizó el recorrido con el fin de identificar los sitios que tengan condiciones semejantes de pendiente, esto para la posterior toma de muestra de suelo.

Para el muestreo de suelo se tomó 20 submuestras en cada escenario, efectuando un recorrido en zig – zag, cada submuestra fue tomada una vez que la superficie del suelo estuvo limpia de cualquier maleza. Posteriormente se cavó un hoyo con las paredes inclinadas (corte en V) con una profundidad entre 20 – 30 cm. Se realizó la extracción de suelo de una de las paredes del hoyo con ayuda de una pala, una tajada con 5cm de grosor. Por consiguiente, con el machete se eliminó los extremos laterales de la tajada para luego recolectar la submuestra en un balde limpio.

Una vez recolectado veinte submuestras se realizó la homogenización, que consistió en esparcirlas sobre una lona de plástico ubicada en una superficie nivelada y libre de malezas, para luego realizar el proceso de cuarteo (Ilustración 1). Se seleccionó dos de las partes homogenizadas para su recolección (Ilustración 1), buscando esta sea más de 1 kg de muestra.



Ilustración 1: Cuarteo para selección de muestra de suelo.

Para el análisis de densidad fue necesario tubos metálicos (Ilustración 2) para recolectar muestras de suelo sin alteración, uno por escenario de estudio. Para la recolección, una vez limpio de toda maleza el almacenamiento de la muestra se lo hizo sellándola con envoltente plástico.



Ilustración 2: Tubo metálico y envoltorio plástico.

Cada muestra se la introdujo en fundas ziploc para su posterior envío al laboratorio. En el Laboratorio de Agrocalidad se solicitó las siguientes características hidrológicas del suelo:

- Densidad Aparente
- Capacidad de campo
- Capacidad de almacenamiento de agua

3.8. Cálculo de balance hídrico superficial

Se utilizó la fórmula general del balance hídrico superficial (Ecuación 3), empleada por Gálvez (2011). Se expresa de la siguiente manera:

$$P = E_{Tr} + ES + I \text{ (Ec. 3)}$$

P: Precipitación

E_{Tr} : Evapotranspiración Real

ES: Escurrimiento Superficial

I: Infiltración

3.8.1. Precipitación

Se cuantificó la precipitación con la ayuda de pluviómetro casero, para su construcción fue necesario una viga de 1,5 m de largo con una base colocada al 1,30 m. Se ubicó un balde de 17 cm de diámetro y 20 cm de altura.

Se necesitó la construcción de cuatro pluviómetros en total para el estudio. El cálculo de la precipitación requirió uno de éstos, el cual se lo ubicó en la zona de referencia, este es el escenario donde no existe ningún tipo de intercepción vegetal más alta que el equipo.

La medición y registro de datos se los realizó de dos a tres veces por semana desde que la instalación de los equipos. Se la realizó procurando que no exista elementos en los baldes milimetrados que puedan subir el nivel de agua recolectado por los mismos. Al finalizar la medición se arrojó el agua y limpio el balde, buscando no exista residuos de agua que puedan alterar la siguiente medida.

Los datos obtenidos fueron rellenos con ayuda del registro diario que se realiza en la estación del Señor Charles Venator, ubicado en Puranqui, a una distancia de 10,04 km de la reserva hídrica El Paraíso y con una altitud de 1 897 msnm.

Para el relleno de datos se utilizó una regresión lineal, método utilizado por Gómez (2006), que consistió en el cálculo de los valores inexistentes entre la estación de la zona de referencia y la de Puranqui, a través del método de los mínimos cuadrados, de una recta de regresión lineal (Ecuación. 4) del tipo:

$$y = a + bx \text{ (Ec. 4)}$$

Donde “y” es la precipitación estimada, “x” es la precipitación de la estación completa que proporcionó la variable independiente de la cual depende la anterior.

Para lo cual se registró los datos de las dos estaciones en el programa de computadora Excel, seleccionándolos se insertó la tabla de dispersión encontrando la línea de tendencia con su fórmula. Revisando que el coeficiente de correlación lineal (R) sea mayor o igual a 0,7, se realizó el relleno de datos con ayuda de la ecuación 4.

Para la corrección de los datos se desarrolló el modelo estadístico propios (Ecuación 5), para lo cual se utilizó el programa Statgraphics XVII – 64. Programa que sirvió para el procesamiento de los datos de precipitación en forma de lluvia, los que se obtuvo de la estación de Sr. Charles Venator y los datos de la zona de referencia.

$$\text{PrP} = 7.08534 + 0724385 * \text{PrC} \text{ (Ec. 5)}$$

PrP: Precipitación de la estación el paraíso.

PrC: Precipitación de la estación del Sr. Charles Venator.

3.8.2. Intercepción

Para el cálculo de la intercepción (Ecuación 6) se utilizó la fórmula empleada por Beatriz Rodríguez y Susanne Shnabel (1998):

$$I = P - (T + E) \text{ (Ec. 6)}$$

I: Agua interceptada por el árbol

P: Precipitación bruta

T: Agua de trascolación

E: Agua de escorrentía cortical

La precipitación se registró en la zona de referencia, donde no existe intercepción, con ayuda del pluviómetro casero descrito anteriormente.

- **Agua de trascolación**

El agua de trascolación se obtuvo con el método de “pluviómetro móvil”, validado por Mateos R. y Schnabel (2002), para la medición de la cantidad de lluvia que atraviesa el dosel. La aplicación de este método consistió en la ubicación de uno de los pluviómetros caseros en cada escenario, el cual se instaló en la parte más alejada del fuste de los árboles y cada mes se lo trasladaba a la parte más cercana.

La medición y toma de datos de los pluviómetros, se la realizó procurando que el balde no contenga impurezas que alteren el nivel de agua recolectado, luego del registro se vació el contenido para no alterar la siguiente medición. El número de veces de la toma de datos fue de dos a tres veces a la semana.

- **Agua de escorrentía fustal**

Esta es el agua que una vez captada por el árbol se escurre a lo largo del tronco, para cuantificarla fue necesario utilizar un colector de flujo.

Los colectores de flujo (Ilustración 3) consistieron en una banda de papel aluminio sujeta alrededor del fuste a 1,5m de altura desde el piso, esta fue moldeada y forrada con masilla y cinta industrial para evitar filtraciones. Un pedazo de manguera posibilitó vincular las canaletas con los colectores calibrados.



Ilustración 3: Colector de flujo.

Para la toma de datos se utilizó el instrumento “nivel”, verificando la horizontalidad del colector y registrar la medida. Al finalizar se vaciaban los colectores y se procuraba revisar la existencia de posibles filtraciones en el equipo. La toma de datos se la hacía junto con la medida del agua de trascolación.

Para la cuantificación de agua que llega al suelo en todos los escenarios que tienen cobertura arbórea, se construyó varios modelos con ayuda del procesamiento en el programa Statgraphics XVII – 64, de los datos ya corregidos de la zona de referencia (pastizal) y los obtenidos con el agua de trascolación sumada la de escurrimiento fustal. en relación con los datos corregidos en la zona de referencia. Los mismo se especifican a continuación:

$$\text{TrPA} = 1.3 + 2.1233\sqrt{\text{PrD}} \quad (\text{Ec. 7})$$

TrPA: Traslocación de Pasto – *Alnus nepalensis* (Aliso)

PrD: Precipitación diaria

$$\text{TrBM} = (1.31233 + 0.206794 * \text{PrD})^2 \quad (\text{Ec. 8})$$

TrBM: Traslocación de Bosque Mixto

PrD: Precipitación diaria

$$\text{TrBN} = 0.568059 + 1.10721 * \text{PrD} \quad (\text{Ec. 9})$$

TrBN: Traslocación de Bosque Nativo

PrD: Precipitación diaria

3.8.3. Infiltración

Se midió la capacidad de infiltración del suelo en los escenarios presentes en el estudio, utilizando el infiltrómetro de césped – Tec. Cálculo realizado en los tres estados de suelo, los cuales son; seco, húmedo y saturado.

Para determinar las condiciones de humedad antecedente del suelo, se analizó según la presencia o no de la precipitación durante los cinco días previos a este estudio, midiendo la cantidad de agua recolectada durante este tiempo se realiza la siguiente clasificación según Mintegui y Robredo (1993):

Tabla 3

Condiciones de humedad antecedente del suelo

Condición Antecedente	Suelo	Lluvia (mm)
I	Seco	<12,500
II	Húmedo	12,500 a 28,000
III	Saturado	>28,000

I: Caudal de escurrimiento menor (<Q)

II: Caudal de escurrimiento normal (Q)

III: Caudal de escurrimiento mayor (>Q)

La infiltración será determinada en función del agua de trascolación y la de escurrimiento cortical en los escenarios con cobertura arbórea.

Para el cálculo del coeficiente de infiltración aparente se utilizó la ecuación propuesta en el “Manual de Instrucciones de Estudios Hidrológicos” por la ONU (1972) (Ecuación 10):

$$C = Kp + Kv + K_{fc} \text{ (Ec. 10)}$$

Donde:

C: Coeficiente de infiltración

Kp: Fracción que infiltra por efecto de pendiente

Kv: Fracción que infiltra por efecto de cobertura vegetal

K_{fc}: Fracción que infiltra por textura del suelo

$$K_{fc} = 0.26 \ln(fc) - 0.000154fc - 0.723 \text{ (Ec. 11)}$$

fc: Infiltración básica del suelo

El cálculo de la infiltración básica del suelo se lo hizo con ayuda del infiltrómetro de suelo – Tec. Para la utilización de este fue necesario que el sitio no evidencie afloramientos rocosos y que el área este limpia de vegetación, esto para clavar en el suelo las cuchillas de corte de doble anillo en el suelo aproximadamente 2 pulgadas, hasta que el anillo limitador de profundidad este contra la superficie. Es necesario llenar con agua limpia y se inicie el temporizador a 15 minutos, para luego extrapolar al tiempo deseado, tomando el tiempo efectivo de infiltración del agua, para cada uno de los tipos de cobertura. Posteriormente se transformará la velocidad en cantidad de infiltración.

Es necesario obtener todas las variables que intervienen (Ecuación 6). Siendo necesario utilizar los valores del coeficiente de infiltración propuestos por G. Schosinsky y M. Losilla (1999):

Tabla 4

Componentes del coeficiente de infiltración

Por pendiente	Kp
Muy plan (0.02% - 0.06%)	0.300
Plana (0.3% - 0.4%)	0.200
Algo plana (1% - 2%)	0.200
Promedio (2% - 7%)	0.100
Fuerte (Mayor de 7%)	0.100
Por cobertura vegetal	Kv
Cobertura con zacate menos 50%	0.100
Terrenos cultivados	0.100
Cobertura con pastizal	0.200
Bosques	0.200
Cobertura con zacate más de 75%	0.200

Para el cálculo de infiltración se tomó en cuenta la fracción de lluvia interceptada por la copa de los árboles. Fue necesario la cantidad de agua retenida por el pluviómetro de la zona en donde no existe intercepción y los datos de los pluviómetros que miden la trascolación, además los datos del colector de flujo que mide la escorrentía cortical. Resultando el agua disponible para la infiltración. Por lo tanto, el coeficiente según G. Schosinsky y M. Losilla (1999) es $(1-K_i)$, que se aplica (Ecuación 12):

$$I = (1 - K_i) * C * P \text{ (Ec. 12)}$$

I: Infiltración

P: Precipitación

C: Coeficiente de infiltración

K_i : Fracción interceptada por el follaje

$$K_i = \frac{A_t + A_e}{P} * 1 \text{ (Ec. 13)}$$

A_t : Agua de trascolación

A_e : Agua de escorrentía cortical

P: Precipitación

3.8.4. Evapotranspiración potencial

Para el cálculo de la evapotranspiración potencial se utilizó la fórmula empleada por CENICAFE (Ecuación 14):

$$EVP = 4,568 * e^{(-0,0002 * A)} * D \text{ (Ec. 14)}$$

ETP: Evapotranspiración potencial (mm/mes)

A: Altura sobre el nivel del mar

D: Días del mes

La altitud se la obtuvo con ayuda del GPS, el cual se lo empleó en todas las zonas de estudio para realizar el cálculo.

3.8.5. Evapotranspiración real

Para este cálculo se tomó en cuenta que “cuando la precipitación efectiva y el almacenamiento del mes anterior, es igual o mayor que la evapotranspiración potencial, la evapotranspiración real es igual a la evapotranspiración potencial” (Torrice, 2011).

$$P_{(ef)} + S_{(a)mes-1} \geq ETp \text{ entonces } ETa = ETp$$
$$ETa = P_{(ef)} + S_{(a)mes-1} \text{ (Ec. 15)}$$

Eta: Evapotranspiración real

P(ef): Precipitación efectiva

S(a)mes-1= Almacenamiento del mes anterior

Para determinar el almacenamiento de agua se utilizó la información de la textura del suelo, donde se obtuvo la capacidad de campo (CC). Con la información de precipitación y CC de las zonas de estudio, además de los resultados de la suma del agua de traslocación y la de escurrimiento cortical, se determinó el agua que quedó almacenada o no, el mes anterior.

3.8.6. Escorrimento

La escorrentía superficial se la determinó por estimación, con la ecuación utilizada por G. Schosinsky N. (2007):

$$ESC = P - Ret - I \text{ (Ec. 16)}$$

ESC: Escorrentía superficial

I: Infiltración mensual

P: Precipitación Mensual

Ret: Retención de lluvia mensual por el follaje

El agua de retención por el follaje se la determinó con la ayuda de la intercepción (Ecuación 6), de la misma manera para la infiltración se tomó los datos que fueron calculados con anterioridad (Ecuación 12) y, la precipitación mensual se obtuvo de las medidas realizadas en el pluviómetro del escenario de referencia, donde no se tiene intercepción arbórea.

3.9. Análisis estadístico

Con los datos finales de infiltración y con los valores de los componentes del balance hídrico superficial se realizó una prueba de comparación de medias.

Para la comparación de varianzas se utilizará la prueba de F de Fisher en donde es necesario plantear las hipótesis nula y alterna, la primera dice que la varianza uno es igual a la varianza dos, la segunda que ambas varianzas son diferentes.

$$H_0: S^2_1 = S^2_2$$

$$H_n: S^2_1 \neq S^2_2$$

H_0 : Hipótesis nula

H_n : Hipótesis alterna

S^2_1 : Varianza muestra uno

S^2_2 : Varianza muestra dos

Para seguir con el análisis se eligió un nivel de significancia de 5%, el cual indico la tabla correspondiente de F - fisher. Para la utilización de ésta se necesitó el grado de libertad de las dos estaciones, donde participan su cantidad de datos:

gl: $n_1 - 1 \rightarrow$ Numerador

gl: $n_2 - 1 \rightarrow$ Denominador

La utilización de la tabla F – Fisher permitió encontrar el valor crítico para aceptar o rechazar las hipótesis. Por último, se calculó el estadístico de prueba (Ecuación 17):

$$F = \frac{S^2_1}{S^2_2} \text{ (Ec. 17)}$$

S^2_1 : Varianza muestra uno

S^2_2 : Varianza muestra dos

Siendo menor el resultado del estadístico de prueba (F) permitió determinar mediante la comparación con el valor crítico, aceptar la hipótesis nula, donde las varianzas son iguales y por ende se dice que existe homocedasticidad.

La prueba de normalidad se realizó con Shapiro – Wilks, donde para verificar que los datos sean normales el “P – valor” debe ser no significativo.

Esta prueba se plantea una hipótesis nula (que la muestra viene de una distribución normal) y se eligió un nivel de significancia de 5% donde se obtiene una hipótesis alterna (la distribución no es normal).

Para efectuar esta prueba se calculó la media y la varianza muestral, ordenando con anterioridad de menor a mayor los datos, se calculó las diferencias entre el primero y el último, el segundo y el penúltimo, etc., para luego corregir con los coeficientes tabulados por Shapiro – Wilks y aplicar la siguiente fórmula:

$$W = \frac{(\sum ai * D)^2}{\sum S^2} \text{ (Ec. 18)}$$

$\sum ai * D$: Sumatoria de diferencias corregidas

$\sum S^2$: Sumatoria de la varianza muestral

Junto el estadístico “W” con el valor crítico dado para la prueba de normalidad de Shapiro – Wilks, se realizó la regla de decisión para rechazar o no la hipótesis nula, que indica que la muestra viene de una distribución normal.

Una vez cumplido con la aceptación de normalidad de los datos, se realizó una prueba de T – Student, donde fue necesario calcular los componentes de la estadística de prueba (Ecuación 19):

$$t = \frac{\bar{x} - \mu}{\frac{s}{\sqrt{n}}} \text{ (Ec. 19)}$$

μ : Media de la población

\bar{x} : Media de la muestra

n: Tamaño de la muestra

δ : Desviación estándar de la muestra

$\frac{\delta}{\sqrt{n}}$: Error estandar

Luego se observó la tabla de distribución con ayuda del valor crítico entre los grados de libertad y el valor de significancia de 0,05, con este valor encontrado se comparó el resultado de la estadística de prueba, para proceder a aceptar o no la hipótesis alterna.

Para los datos que no cumplieron la normalidad u homocedasticidad, se realizó una comparación de medias mediante la estadística no paramétrica con la U de Mann Whitney. El análisis se lo hizo con cada componente del balance entre los escenarios de estudio, para determinar las diferencias significativas y la mejor media.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Propiedades hidrológicas del suelo

Los resultados del análisis de suelo (Tabla 5), indican distinto comportamiento según la cobertura vegetal y el nivel de intervención antrópica o pecuaria.

Los valores de capacidad de campo y agua aprovechable aumentan en las zonas que tienen la presencia de árboles, ya sea la zona de bosque nativo, mixto o el sistema que forma el pasto con el *Alnus nepalensis* (Aliso). Los valores de porosidad en la zona del bosque mixto y en el de pastizal, se encuentran dentro del rango óptimo (40% – 60%), caso contrario sucede con los demás escenarios. Cabe mencionar que, ninguno de los escenarios muestra una densidad aparente con problemas de compactación (1,90 – 1,95 g/ml).

Tabla 5

Resultados del análisis de suelo de los escenarios evaluados en la reserva hídrica El Paraíso.

Escenario	Parámetro Analizado	Método	Unidad	Resultado
Pastizal (referencia)	Densidad Aparente	Gravimétrico PEE/SFA/23	g/ml	1,040
	Porosidad	Cálculo PEE/SFA/25	%	51,930
	Capacidad de Campo	Centrífuga PEE/SFA/22	%	36,330
	Punto de Marchites	Centrífuga PEE/SFA/23	%	19,740
	Agua Aprovechable	Centrífuga PEE/SFA/24	%	16,590
	Arena	Bouyoucos PEE/SFA/20	%	64,000
	Limo	Bouyoucos PEE/SFA/21	%	26,000
	Arcilla	Bouyoucos PEE/SFA/22	%	10,000
	Clase Textural	Cálculo PEE/SFA/20		Franco Arenoso
	Grupo Hidrológico			B
Pasto - <i>Alnus nepalensis</i> (Aliso)	Densidad Aparente	Gravimétrico PEE/SFA/23	g/ml	0,640
	Porosidad	Cálculo PEE/SFA/25	%	65,300
	Capacidad de Campo	Centrífuga PEE/SFA/22	%	41,160
	Punto de Marchites	Centrífuga PEE/SFA/23	%	22,370
	Agua Aprovechable	Centrífuga PEE/SFA/24	%	18,790
	Arena	Bouyoucos PEE/SFA/20	%	64,000
	Limo	Bouyoucos PEE/SFA/21	%	26,000
	Arcilla	Bouyoucos PEE/SFA/22	%	10,000
	Clase Textural	Cálculo PEE/SFA/20		Franco Arenoso
	Grupo Hidrológico			B

Escenario	Parámetro Analizado	Método	Unidad	Resultado
B. Mixto	Densidad Aparente	Gravimétrico PEE/SFA/23	g/ml	0,750
	Porosidad	Cálculo PEE/SFA/25	%	53,600
	Capacidad de Campo	Centrífuga PEE/SFA/22	%	42,100
	Punto de Marchites	Centrífuga PEE/SFA/23	%	22,880
	Agua Aprovechable	Centrífuga PEE/SFA/24	%	19,220
	Arena	Bouyoucos PEE/SFA/20	%	62,000
	Limo	Bouyoucos PEE/SFA/21	%	28,000
	Arcilla	Bouyoucos PEE/SFA/22	%	10,000
	Clase Textural	Cálculo PEE/SFA/20		Franco Arenoso
	Grupo Hidrológico			B
B. Nativo	Densidad Aparente	Gravimétrico PEE/SFA/23	g/ml	0,780
	Porosidad	Cálculo PEE/SFA/25	%	61,130
	Capacidad de Campo	Centrífuga PEE/SFA/22	%	40,410
	Punto de Marchites	Centrífuga PEE/SFA/23	%	21,960
	Agua Aprovechable	Centrífuga PEE/SFA/24	%	18,450
	Arena	Bouyoucos PEE/SFA/20	%	56,000
	Limo	Bouyoucos PEE/SFA/21	%	32,000
	Arcilla	Bouyoucos PEE/SFA/22	%	12,000
	Clase Textural	Cálculo PEE/SFA/20		Franco Arenoso
	Grupo Hidrológico			B

El estudio realizado por Novillo *et al.* (2018), evaluó las propiedades físicas del suelo de un bosque nativo y un área con pasto. Los resultados de densidad aparente de ese estudio, muestran una diferencia matemática con respecto a los datos de esta investigación. En el área de pasto sobrepasa con 0,42 g/ml al escenario de pastizal. Esta diferencia se debería a un mayor nivel de intensidad de pastoreo que se encontraba el escenario estudiado por Novilla *et al.* (2018). Debido a que, el trabajo pecuario aumenta en el suelo su nivel de compactación, esto influye de forma directa en la densidad aparente (Khalajabadi, 2005).

El bosque nativo de ambos estudios muestra un valor bajo en relación con el pasto y pastizal respectivamente (Gráfico 1). Esto podría ser a causa de que en ellos se encuentra mayor cantidad de materia orgánica (MO), debido al aporte de hojarasca que es particular de la cobertura arbórea, que influye en la densidad aparente. Ya que, a medida que aumenta la MO disminuye la densidad aparente y viceversa (Khalajabadi, 2005).

En otro estudio realizado por Hernández (2017), sus resultados constatan que en los bosques hay suelos con valores bajos de densidad aparente, y en escenarios de pastizal hay valores altos. Esto coincide con el estudio actual, en el cual los resultados que muestran bajo valor de densidad aparente, son los representados por cobertura boscosa, mencionando que, el

valor resultante en el sistema de *Alnus nepalensis* (Aliso) con Pasto, podría depender mucho de la especie arbórea y sus características fenotípicas. Así mismo, coinciden con el elevado valor de densidad aparente que resulta en el pastizal. Esto puede ser debido a que, esta cobertura tiene un bajo aporte de biomasa con respecto a los demás escenarios, así como también un reciclaje de nutrientes deficiente, bajo nivel de incidencia de radiación solar sobre el suelo, baja humedad y defectuosa retención e infiltración de las aguas de lluvia (Senra, 2009).

4.2. Balance hídrico superficial

El resultado de los componentes del balance hídrico superficial de las zonas de estudio definidas en la reserva hídrica El Paraíso (Tabla 6), muestran un comportamiento diferente por escenario.

La precipitación total durante el tiempo de estudio es de 1 695,31 mm. El mes que mayor precipitación tuvo fue diciembre, los valores más bajos se registraron en los meses de junio y julio.

Tabla 6

Balance hídrico superficial de los escenarios de estudio.

Escenario	Meses	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul
Pastizal	P (mm/me)	380,410	280,040	225,310	270,470	290,910	145,220	73,410	29,540
	I (mm/mes)	75,270	69,600	48,910	63,710	70,140	46,630	32,250	19,700
	EVP (mm/mes)	93,550	93,550	87,510	93,550	90,530	93,550	90,530	93,550
	Eta (mm/mes)	93,550	93,550	87,510	93,550	90,530	93,550	50,760	22,910
	Esc (mm/mes)	305,140	210,440	176,400	206,750	220,770	98,590	41,160	9,840
	B. Mixto	P (mm/mes)	380,410	280,040	225,310	270,470	290,910	145,220	73,410
T (mm/mes)		265,210	219,340	191,790	220,570	227,620	159,340	124,860	102,060
I (mm/mes)		66,280	70,550	56,310	74,970	59,780	65,890	58,000	63,550
EVP (mm/mes)		91,950	91,950	86,020	91,950	88,990	91,950	88,990	91,950
Eta (mm/mes)		91,950	91,950	86,020	91,950	88,990	91,950	83,190	66,960
Esc (mm/mes)		198,930	148,790	135,480	145,590	167,840	79,330	15,410	0,000
B. Nativo	P (mm/mes)	380,410	280,040	225,310	270,470	290,910	145,220	73,410	29,540
	T (mm/mes)	220,640	175,750	153,690	180,950	189,580	118,170	86,590	58,940
	I (mm/mes)	51,160	48,500	37,640	62,300	60,250	56,400	47,960	38,830
	EVP (mm/mes)	94,470	94,470	88,370	94,470	91,420	94,470	91,420	94,470
	Eta (mm/mes)	94,470	94,470	88,370	94,470	91,420	82,730	56,790	39,800

Escenario	Meses	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul
B. Nativo	Esc (mm/mes)	169,470	127,250	116,050	118,640	129,330	61,770	25,460	0,000
	P (mm/mes)	380,410	280,040	225,310	270,470	290,910	145,220	73,410	29,540
Pasto - <i>Alnus nepalensis</i>	T (mm/mes)	215,180	174,640	153,690	179,330	186,610	122,630	93,600	69,140
	I (mm/mes)	60,720	58,860	57,850	62,250	59,800	77,980	56,700	62,430
(Aliso)	EVP (mm/mes)	91,860	91,860	85,930	91,860	88,900	91,860	88,900	91,860
	Eta (mm/mes)	91,860	91,860	85,930	91,860	88,900	85,540	61,570	46,050
	Esc (mm/mes)	154,460	115,780	95,830	117,080	126,820	44,650	16,720	0,000

P: Precipitación; T: Trascolución; I: Infiltración; EVP: Evapotranspiración potencial; Eta: Evapotranspiración real; Esc; Escorrentía.

Cabe mencionar que el caudal calculado en el mes de diciembre, en el punto de aforo de las vertientes de la cuenca fue de 7 lt/s, este resultado difiere de la investigación de Olmos (2007), estudio que presenta de igual manera diversos escenarios en la cuenca. Cabe mencionar que, esta diferencia podría darse ya que las dimensiones de la vertiente de este estudio, son menores que la estudiada por Olmos (2007).

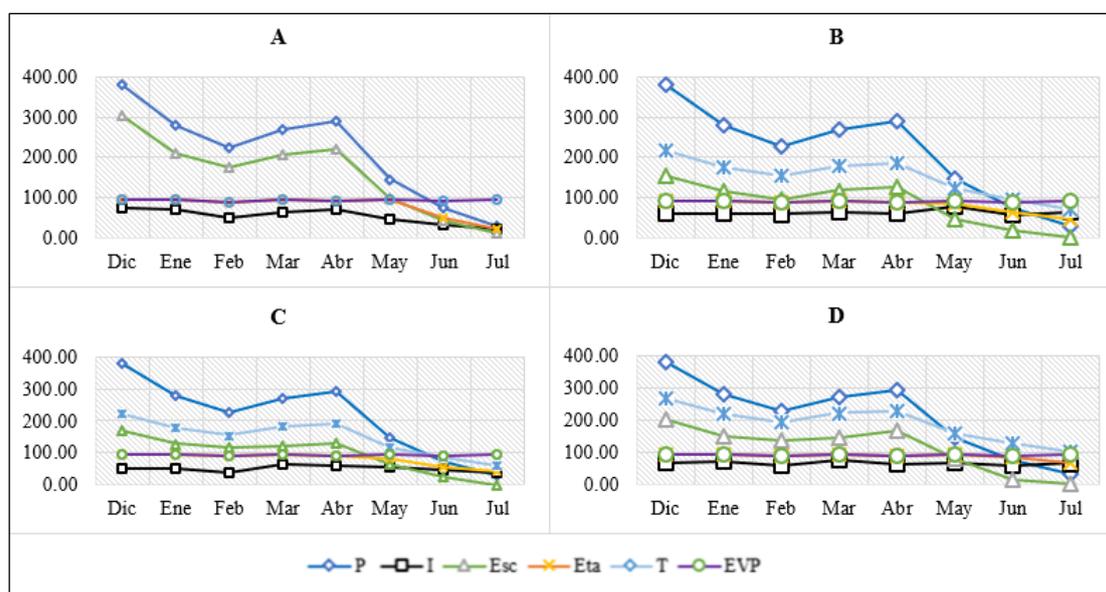


Gráfico 1: Balance hídrico superficial de las zonas de estudio; A: Pastizal; B: Pasto – *Alnus nepalensis* (Aliso); C: B. Nativo; D: B. Mixto; P: Precipitación; T: Trascolución; I: Infiltración; EVP: Evapotranspiración potencial; Eta: Evapotranspiración real; Esc; Escorrentía.

4.2.1. Comparación

La evaluación del comportamiento de los componentes del balance hídrico superficial de cada escenario se realizó con la comparación entre sus variables. Con la prueba de T-Student (Tabla 7), no presentan diferencias significativas en sus interacciones.

La trascolación de los escenarios comparados, sí muy bien no presentan diferencias significativas, es importante recalcar que la media más alta se encuentra en el escenario de bosque mixto, resultados que coinciden con el estudio realizado por Ramón (2017), García (2007) y Carvalho (2014).

A su vez, se ha estimado una intercepción de precipitación horizontal en el bosque mixto de alrededor del 7% de la precipitación total. Campo (sf) describe que en la reserva El Paraíso, el bosque mixto registra mayor cantidad de individuos en el estrato alto y bajo. Esto influye en la intercepción de las precipitaciones, que, a más de frenar la caída de las gotas de lluvia, captan la neblina y se produce la escorrentía fustal y agua de trascolación. Esta agua al llegar al suelo es importante, ya que se infiltra y alimenta la zona de recarga hídrica (Barber, 2005).

La escorrentía en todas sus comparaciones, no tienen diferencias significativas. Sin embargo, la media más alta la tiene el escenario de referencia, que no cuenta con la presencia de cobertura arbórea, resultado que coincide con la investigación de Delgado (2013), en la cual la escorrentía más alta se produce en el pastizal.

Tabla 7

Interacciones de trascolación y escorrentía con la prueba de T-Student.

Variable	Grupo 1	Grupo 2	Media (1)	Media (2)	p-valor
T	B. Mixto	Pasto- <i>Alnus nepalensis</i> (Aliso)	188,850	149,350	0,160
	B. Mixto	B. Nativo	188,850	148,040	0,160
Esc	Pasto- <i>Alnus nepalensis</i> (Aliso)	B. Mixto	83,920	111,420	0,410
	B. Nativo	Pastizal	93,500	158,640	0,130
	B. Mixto	Pastizal	111,420	158,640	0,300
	Pasto- <i>Alnus nepalensis</i> (Aliso)	Pastizal	83,920	158,640	0,090
	B. Mixto	B. Nativo	111,420	93,500	0,590

T: Trascolación; Esc: Escorrentía

Para las interacciones que no cumplieron la homocedasticidad o normalidad, se realizó la comparación con la U de Mann Whitney (Tabla 8).

Tabla 8

Interacción de componentes del balance hídrico superficial con U de Mann Whitney.

Escenario 1	Escenario 2	Variable	Media (1)	Media (2)	p(2colas)
B. Mixto	Pastizal	I	64,420	27,950	0,002
		Eta	86,620	78,240	0,480
B. Nativo	Pastizal	I	50,380	27,950	0,002
		Eta	80,320	78,240	0,700
Pastizal	Pasto- <i>Alnus nepalensis</i> (Aliso)	I	27,950	62,070	0,002
		Eta	78,240	80,450	0,310
B. Nativo	Pasto- <i>Alnus nepalensis</i> (Aliso)	T	148,040	149,350	0,980
		I	50,380	62,070	0,020
		Eta	80,320	80,450	0,720
		Esc	93,500	83,920	0,520
B. Mixto	Pasto- <i>Alnus nepalensis</i> (Aliso)	I	64,420	62,070	0,440
		Eta	86,620	80,450	0,180
B. Nativo	B. Mixto	I	50,380	64,420	0,010
		Eta	80,320	86,620	>0,999

T: Traslación; I: Infiltración; Eta: Evapotranspiración potencial; Esc: Escorrentía

La infiltración presenta diferencias significativas en la comparación de bosque nativo y pasto – *Alnus nepalensis* (Aliso). Al mismo tiempo pasto – *Alnus nepalensis* (Aliso) es el escenario que presentó la media más alta en esta comparación. Así también, se muestran diferencias altamente significativas en infiltración con bosque mixto y pasto – *Alnus nepalensis* (Aliso) comparados con bosque nativo y pastizal.

Cabe mencionar que las tasas mas altas de infiltración se producen en el escenario de bosque mixto, ya que supera con un promedio del 14% a los demás escenarios. En la investigación de García *et. al.* (2008), con escenarios similares, los resultados de infiltración tienen la misma tendencia que los que se obtuvo en este estudio.

La evapotranspiración real (Eta) no presenta diferencias significativas en ninguna las interacciones. De igual manera, cabe mencionar que el pastizal es el escenario con el valor más bajo de Eta, resultado que coincide con el estudio de Crespo (2017). En el cual, indica que, los valores más altos están en los escenarios que existe intercepción por parte de la cobertura boscosa.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

- La presencia de vegetación arbórea incrementó la capacidad de campo y capacidad de almacenamiento de agua de los ecosistemas. Siendo el bosque mixto el escenario que presenta los valores más altos.
- La cobertura vegetal influyó significativamente en los componentes del balance hídrico superficial. Los ecosistemas con vegetación arbórea presentaron mayor infiltración y menor escorrentía, siendo el bosque mixto el que registra las tasas más altas a comparación de los demás escenarios.
- La inclusión de *Alnus nepalensis* en los escenarios influyó considerablemente en las propiedades hídricas del suelo, e incrementó la tasa de infiltración en comparación con los demás ecosistemas. Producto de lo mencionado, los escenarios donde está presente la especie tienen los índices más bajos de escorrentía.

6.2. Recomendaciones

- Ejecutar nuevas investigaciones que busquen caracterizar las propiedades hídricas de los suelos, estudio que se debe realizar en coberturas vegetales similares a las de este estudio en toda la cuenca del Río Intag.
- Implementar estudios que cuantifiquen la intercepción de la precipitación horizontal en diferentes ecosistemas.
- Utilizar resultados encontrados en el estudio como insumo para el entendimiento de la relación bosque – agua.

CAPÍTULO VI

REFERENCIAS BLIBLIOGRÁFICAS

- Aguirre, C., M. V. (2009). *Aplicación de Estimadores Estadísticos y Diseños Experimentales en Investigaciones Forestales*. Universidad Técnica del Norte. Ibarra - Ecuador.
- Alberto Hernández Jiménez, L. V. (2017). Variaciones en Algunas Propiedades del Suelo por el Cambio de Uso de la Tierra, en las Partes Media y Baja de la Microcuenca Membrillo. *Cultivos Tropicales*, Vol. 38 n°1, 50 - 56.
- Ambiente, M. d. (2013). Cuencas hidrográficas hacia un desarrollo sostenible. Quito: MAE.
- Antonio Dalmaso, E. M. (1999). *Reserva Natural Villaviciencio (Mendoza, Argentina). Plan de Manejo*. Argentina.
- Arroyo, A. M. (2007). El Agua en la Atmósfera. *Ciencia*, 36 - 44.
- Barber, F. S. (2005). *Optimización de la Humanidad del Suelo para la Producción Vegetal*. Roma - Italia: Boletín de Suelos de la FAO 79.
- Bradshaw, C., & NS Sodhi, K. P. (2007). Global evidence that deforestation amplifies flood risk and severity in the developing world. *Global Change Biology*, 13:2379-2395.
- Brown, A., Zhang, L., McMahon, T., & Vertessy, A. W. (2005). A review of paired catchment studies for determining changes in water yield resulting from alterations in vegetation. *Journal of Hydrology*, 310:28-61.
- Holder, C. (2004). Rainfall interception and fog precipitation in a tropical montane cloud forest of Guatemala. *For Ecol Manage*, 190:373-384.
- Prieto, C. (2009). *El Agua: Sus formas, Efectos, Abastecimientos, Usos, Daños, Control y Conservación (3a. ed.)*. Bogotá: Ecoe Ediciones S. A.
- Campo, A. (s.f.). *Composición Florística y Estructural de Tres Ecosistemas Forestales en la Reserva Hídrica el Paraíso, Parroquia Peñaherrera, Cotacachi - Imbabura*. Universidad Técnica del Norte. Ibarra.
- Cabrera, M. B. (2005). *Agua Subterránea y Ambiente*. Argentina: CORDOBENSIS.

- Carvalho Santos C, P. H. (2014). Los Servicios Hidrológicos Y El Papel del Bosque: Coneptualización y Basados en Indicadores con Ilustración a Escala Regional. *Ecol Complex* , 20: 69-80.
- CNA, C. N. (2011). *Estadísticas del agua en México, edición 2011*. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Cotler, H. (2004). *El Manejo Integral de Cuencas en México*. México: Secretaria de Medio ambiente y Recursos Naturales e Instituto Nacional de Ecología.
- Cox, P., Betts, R., M. y col. (2004). La Muerte Regresiva de la Selva Amazónica según las Proyecciones del Ciclo del Carbono y el Clima para el Siglo XXI. *Theoretical and Applied Climatology* 78 (1-3): 137-156. doi:.
- Crespo, J. R. (2017). Los Bosques y la Evapotranspiración. *CREAF*, 115-126.
- David J, V. F. (2005). *Evaporation of intercepted rainfall*. Nueva Jersey: Encyclopedia of Hydrological Sciences.
- Dietrichson, A. (2019). *Métodos Cuantitativos*. Perú: Universidad Nacional San Martín.
- Dorronsoro, C. (2017). *Introducción a la Edafología*. Granada: Universidad de Granada, Departamento de Edafología y Química Agrícola.
- Duque-Sarango, P. C.-R.-F. (2019). Estimación Del Balance Hídrico De Una Cuenca Andina Tropical. *LA GRANJA. Revista de Ciencias de la Vida*, 29(1), 56-69.
- Aparicio, F. (2015). *Fundamentos de la Hidrología de Superficie*. México: Editorial Limusa.
- Fancisco Martín de Santa Olalla Mañas, P. L. (2005). *Agua y Agronomía; Capitulo III: La evapotranspiración, Concepto y Metodología de Cálculo*. Madrid - Barcelona - México: Ediciones Mundi - Prensa.
- FAO. (1996). *Ecología y Enseñanza Rural: Nociones Ambientales Básicas para pPofesores Rurales y Extensionistas*. Roma -Italia.
- FAO. (2005). Captítulo 2: Hidrología, Arquitectura del suelo y movimiento del agua. En *Optimización de la humedad del suelo para la producción vegetal El significado de la porosidad del suelo*. Roma - Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

- FAO. (2006). *Evapotranspiración del cultivo; Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. Estudio FAO Riego y Drenaje N°56.
- FAO. (2016). *AQUASTAT*. Obtenido de Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura: http://www.fao.org/nr/water/Aquastat/countries_regions/Profile_segments/ECU-WR_esp.stm
- FAO. (4 de junio de 2020). *Propiedades Físicas del Suelo*. Obtenido de fao.org: <http://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/propiedades-del-suelo/propiedades-fisicas/es/>
- Farley, K., & Jackson, E. J. (2005). Effects of Afforestation on Water Yield: a Global Synthesis with Implications for Policy. *Global Change Biology*, 11:1565-1576.
- Fetter, C. W. (2001). *Applied Hydrogeology 3rd ed*. New Jersey: Macmillan College Publishing Comp.
- Galárraga-Sánchez, R. H. (2000). Informe Nacional Sobre la Gestión del Agua en Ecuador. Quito, ECUADOR.
- Gálvez, J. J. (2011). *Balance Hidrico Superficial*. Lima - Perú: SENAMHI.
- García, A. S. (2018). *Manual Práctico para el Cultivo del Pimiento en Agricultura Protegida*. Madrid - España: Ediciones Mundi - Prensa.
- Gillermo Carlos Gómez, R. M. (2014). Evaluación De La Tasa de Infiltración en Tierras Agrícolas, Forestales y de Pastoreo en la Subcuenca del Río Shullcas. *Apuntes de Ciencia y Sociedad*, 04(01).
- Gómez, M. M. (2006). *Introducción a la Metodología de la Investigación Científica; 1º Edición*. Córdoba: Editorial Brujas.
- Guisbert E., Ramos, O., Romulo, G., Choque, R., Flores, H., y Niura, A. (2006). Caracterización Físicoquímica de Cuerpos de Agua Superficial y Subterránea de la Localidad de Belen Pituta "B", Municipio de Guaqui, Bolivia. *Revista Boliviana de Química*, 23(1), 27-33.

- Gustavo Chacon Vintimilla, D. G. (2003). Impacto de la Deforestación, Pastizales, Plantaciones de Eucalipto y Pino en Suelos de Bosque Montano Alto, en la Sierra Sur del Ecuador. *Revista de Investigación de la Universidad del Azuay N°11*, 19 - 34.
- Gutiérrez. (2014). *Hidrología Básica y Aplicada*. Quito: Universidad Abya - Yala.
- Gutiérrez G., D. G. (2013). Estimación del Balance Hídrico Mediante Variables Climáticas en la Cuenca del Río Cazones, Veracruz, México. *Revista Ambiente y Agua*; Taubaté, 104 - 117.
- Hewlett, B. (1982). A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation. Netherlands: Journal Hidrology.
- Hobbs, A. R. (2001). *Restoration Ecology: Repairing the Earth'S Ecosystems in the New Millennium, Vol. 9*. Restoration Ecology.
- Huxman, T., Wilcox, B., Breshears, D., Scott, R., Snyder, K., & al., e. (2005). Ecohydrological implications of woody plant encroachment. *Ecology*, 86:308-319.
- IMFIA. (2010). Sistema Hidrológico. Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental. Montevideo: Universidad de la República.
- INAB. (2003). *Metodología para la Determinación de Áreas Críticas de Recarga Hídrica Natural*. Guatemala: Intituto Nacional de Bosques.
- Indira Dayanara Novillo Espinoza, M. D. (2018). Propiedades Físicas del Suelo en Diferentes Sistemas Agrícolas en la Provincia de los Ríos, Ecuador. *Temas Agrarios - Vol. 23:(2)*, 177 - 187.
- Jackson, R., & Noretto, E. J. (2009). Ecohydrology in a human-dominated landscape. *Ecohydrology*, 2:383-389.
- Jaime Cantera Kintz, Y. C. (2013). Caudal Ambiental (conceptos, experiencias y desafíos). Cali - Colombia: Universidad del Valle - Programa editorial.
- Khalajabadi, A. S. (2005). La Densidad Aparente y su Relación con Otras Propiedades en Suelos de la Zona Cafetera Colombiana. *Cenicafé* , 56(4):381 - 397.
- GAD Peñaherrera. (2015). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de Peñaherrera*. Cotacachi - Ecuador.
- Lima, S. G. (2011). *Ciclo hidrológico*. Lima: Biblioteca Nacional del Perú.

- Lincoln Zotarelli, M. D. (2013). Interpretación del Contenido de la Humedad del Suelo para Determinar Capacidad de Campo y Evitar Riego Excesivo en Suelos Arenosos Utilizando Sensores de Humedad. *Agricultural and Biological Engineering, Servicio de Extensión Cooperativa de la Florida, Instituto de Alimentos y Ciencias Agrícolas, Universidad de la Florida. (UF/IFAS).*, AE 496.
- Losilla, G. S. (1999). Modelo Analítico para Determinar la Infiltración con Base en la Lluvia Mensual. San José - Costa Rica: Revista Geológica de América Central.
- Maderey, L. (2005). *Principios de Hidrogeografía Estudio del Ciclo Hidrológico*. México: Ed. Serie de Textos Universitarios.
- Maidment D., M. L. (1994). Hidrología Aplicada. Bogotá: Ed. McGraw Hill Interamericana, S. A.
- Manuel Mendoza, G. B. (2002). *Aplicaciones hidrológicas del cambio de la cobertura vegetal y uso del suelo: una propuesta de análisis espacial a nivel regional en la cuenca cerrada del lago de Cuitzeo, Michoacán*. México: Investigaciones Geográficas n° 49.
- MAPA. (10 de Mayo de 2019). *Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación del Gobierno de España*. Obtenido de Restauración Hidrológico Forestal: <https://www.mapa.gob.es/es/desarrollo-rural/temas/politica-forestal/desertificacion-restauracion-forestal/restauracion-hidrologico-forestal/index.aspx>
- María Isabel Delgado, F. J. (2013). Tendencia de Cambio Espacio - Temporal del Ecurrimiento Superficial en una Cuenca Serrana. Argentina. *TECNOCIENCIA Vol. VII, N°2*, 99-109.
- Martha Alejandra García Hernández, M. A.–S. (2008). Variación de la Velocidad de Infiltración Media en Seis Ecosistemas Inalterados. *Terra Latinoamericana vol.26 no.1*, 26: 21 -27 .
- Martha Johana Álvarez Álvarez, E. L. (2018). *Hidráulica Aplicada para Ingenieros Civiles*. Manabí: Editorial Área de Innovación y Desarrollo, S.L.
- MD, N., Jobbágy, E., & Jackson, A. B. (2012). The hydrologic consequences of land cover change in central Argentina. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 154:2-11.
- Mejía, E. M. (2016). Estudio de Balance Hídrico en Plantaciones Forestales y Pasturas, Sector Peñadillas, Cantón Espejo. IBARRA - ECUADOR: Universidad Técnica del Norte.

- Mitchel, D. S. (1974). *Aquatic plants and its use and control*. París: UNESCO.
- Mitsch, W. y. (2015). *Wetlands (Fifth ed.)*. En J. W. Sons. Estados Unidos.: Inc. Hoboken,.
- Mook, W. G. (2002). *Isótopos Ambientales en el Ciclo Hidrológico; Principios y Aplicaciones*. Madrid: Publicaciones del Instituto Geológico y Minero de España.
- Moran, W. C. (1989). *Hidrología para Estudiantes de Ingeniería Civil*. Lima - Perú.
- Morocho, A. P. (2002). Cochabamba: Una propuesta para recuperar un paramo con vista al mar. En *El manejo comunitario de Paramos* (pág. 11). Cochabamba: Serie Paramo.
- O. Llanes, M. N. (2013). Determinación de la Evapotranspiración Potencial (ETP) y de Referencia (ETo) como Indicador del Balance Hídrico del Corazón Agrícola de México. México: Universidad Autónoma Indígena de México.
- O., Echeverria L., Montoya, R., (2015). Disponibilidad del Recurso Hídrico en la Microcuenca del Río Bermúdez. Región Central de Costa rica: Observatorio Medioambiental; Madrid.
- OEA, I. I. (1972). *I Reunión de Investigadores Forestales de la Zona Andina*. Quito - Ecuador : IICA.
- Olmos, C. F. (2007). Regulación Hídrica Bajo Tres Coberturas Vegetales en la Cuenca del Río San Cristobal, Bogotá D.C. *Colombia Forestal*. Vol: 10 nro:20 , 127-147.
- Olmos, C. G. (2019). *Hidrología en la Ingeniería Forestal*. Bogotá - Colombia: UD Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- ONU. (1972). *Manual de Instrucciones de Estudios Hidrológicos*. San José - Costa Rica: ONU Publ. N° 70.
- Orozco, A. I. (2018). *Hidrología Esencial*. Monterrey - México: Tecnológico de Monterrey.
- Owen, O. (2000). *Conservacion de Recursos Naturales*. México: Distrito Federal:.
- Pascual, A. R. (2018). Interceptación y Escorrentía Del Bosque Altoandino en la Reserva Forestal Protectora "El Malmo". *Acta Biológica Colombiana*, vol. 24(1), 97-108.
- Philippis, A. D. (1960). Ecología y Fitoclimatología Forestales. *Silvicultura y Productos Forestales*, vol. 5(1), 2-10.

- Pilar García-Serrano Jiménez, J. J. (2009). *Guía Práctica de la Fertilización Racional de los Cultivos En España*. España: Ministerio del Ambiente y Medio Rural y Marino.
- Ponce, D. (2000). La forestación en la sierra Ecuatoriana: El punto de vista industrial. . En *forestación de páramos*. (pág. 6). Ecuador: Serir Páramo.
- Proaño, E. (12 de Diciembre de 2018). Hoy en Imbabura. Obtenido de <https://hoyenimbabura.com/2018/12/12/en-cotacachi-se-construye-proyecto-de-ordenanza-para-la-conservacion-del-ambiente/>
- Quevedo, A. M. (2005). *Diccionario Didáctico de Ecología*. Costa Rica: Editorial de la Universidad de Costa Rica.
- Rafael Garrido Rosado, S. H. (2017). *Tópicos Tecnológicos Científicos y Ambientales: Red de Colaboración del Instituto Tecnológico Superior de la Sierra Norte de Puebla y el Instituto Tecnológico Superior de Huauchinango*. México: Copyright.
- Ramón, M. A. (Noviembre de 2017). Aporte de Precipitación Horizontal en Diferentes Tipo de Vegetación de la Reserva Biológica Uyuca, Honduras. Honduraas: Escuela Agrícola Panamericana Zamorano.
- Rascón, L. E. (2005). *Principios de Hidrogeografía Estudio del Ciclo Hidrológico*. México: Serie Textos Universitarios.
- RB, J., Carpenter, S., Dahm, C., Mcknight, D., Naiman, R., & al., E. (2001). Water in a Changing World. *Ecological Applications*, 11:1027-1045.
- Rivas, W. A. (2018). *Clima, Hidrología y Meteorología.: Para Ciencias Ambientales e Ingeniería*. Bogotá - Colombia: Lápiz Blanco SAS.
- Sabine Brüscheiler, U. H. (2004). *Los Bosques y el Agua: Interrelaciones y su Manejo*. Berna: Geographica Bernensia.
- Sánchez, R. H. (2001). *Estado y Gestión de los Recursos Hídricos en Ecuador*. Quito - Ecuador: Escuela Politécnica Nacional.
- Santos, E. R. (2015). *Hidrología Aplicada: Infiltración y Humedad del Suelo*. España: OCW.
- Schnabel, B. M. (1998). Medición de la Interceptación de las Precipitaciones por la Encina (*Quercus rotundifolia* Lam.). Cáceres - España: Norba: *Revista de Geografía*, 96-111
- SENAGUA. (2012). *Diagnóstico de las Estadísticas del Agua en Ecuador*. Quito : SENAGUA.

- Senra, A. (2009). Impacto del Manejo del Ecosistema del Pastizal en la Fertilidad Natural y Sostenibilidad del Suelo. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 13(2), 3 - 16 .
- Sierra, A. J. (2020). *Hidrología Agrícola*. Almería - España: edual.
- Tobón, C. (2009). *Los Bosques Andinos y el Agua*. Quito: Serie investigación y sistematización #4. Programa Regional ECOBONA - INTERCOOPERATION, CONDENSAN.
- Tellez, P. (2003). Simulación del Ciclo Hidrológico en Tres Tipos de Uso del Suelo de la Amazonía Colombiana. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Torrico, M. A. (2011). *Determinación de Balances Hídricos en Microcuencas y Subcuencas*. Cochabamba - Bolivia.
- Toboada, S. y Guevara, G. (2008). *Fertilidad Física de los Suelos*. 2da Ed. Buenos Aires: Facultad de Agronomía.
- UNESCO. (19 de Octubre de 2014). Aprendiendo a luchar contra la desertificación. Obtenido de Recursos Hídricos: .
- Valarezo, J. (2006). *Taller decapacitación en agroforestería*. Loja: Agroforestería.
- Vegas, M. M. (2015). *Trabajos de Infraestructuras Forestales*. España: Ediciones Paraninfo S. A.
- Vera, C. &. (2011). *El Ciclo del Agua*:. Biblioteca Nacional del Maestro.
- Villegas, J. C. (2004). Análisis del Conocimiento en la Relación Agua-Suelo-Vegetación para el Departamento de Antioquia. *EIA; Versión ISSN*, 1794 - 1237.
- Zhang, L., & Walker, W. D. (2001). Response of Mean Annual Evapotranspiration to Vegetation Changes at Catchment Scale. *Water Resources Research*, 37:701-708.
- Zorrilla, C. (12 de Enero de 2010). *Defensa y Conservación Ecológica de Intag*. Obtenido de Decoin: <https://www.decoin.org/accomplishments/>

CAPÍTULO VII

ANEXOS

7.1. Análisis de suelo

 AGROCALIDAD AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL DEL PRODUCTO AGROPECUARIO	LABORATORIO DE SUELOS, FOLIARES Y AGUAS Vía Interoceánica Km. 143 y Elay Alfaro, Granja del MAGAP, Tumbaco - Quito Telef.: 023828860 Ext. 2080	PGT/SFA/09-FO01 Rev. 5
	INFORME DE ANÁLISIS DE SUELO	Hoja 1 de 1

Informe N°: UN.SFA.020-0484
Fecha emisión Informe: 16/03/2020

DATOS DEL CLIENTE

Persona o Empresa solicitante¹: Brayan Steven Haro Mediavilla
 Dirección²: Otavalo Teléfono³: 0992073055
Correo Electrónico¹: bsharon@utn.edu.ec
 Provincia¹: Imbabura Cantón¹: Otavalo N° Orden de Trabajo: 10-2020-004
N° Factura/Documento: 006-001-0435

DATOS DE LA MUESTRA:

Tipo de muestra ¹ : Suelo	Conservación de la muestra: Lugar fresco y seco
Cultivo ¹ : ----	
Provincia ¹ : Imbabura	Coordenadas ¹ : X: ----
Cantón ¹ : Cotacachi	Y: ----
Parroquia ¹ : Peñaherrera	Altitud ¹ : ----
Muestreado por ¹ : Brayan Haro Mediavilla	
Fecha de muestreo ¹ : 03-03-2020	Fecha de inicio de análisis: 04-03-2020
Fecha de recepción de la muestra: 04-03-2020	Fecha de finalización de análisis: 16-03-2020

RESULTADOS DEL ANÁLISIS

CÓDIGO DE MUESTRA LABORATORIO	IDENTIFICACIÓN DE CAMPO DE LA MUESTRA ¹	PARÁMETRO ANALIZADO	MÉTODO	UNIDAD	RESULTADO
SFA.20.0568	MD1	Densidad Aparente	Gravimétrico PSE/SFA/23	g/ml	0,64
SFA.20.0569	MD2	Densidad Aparente	Gravimétrico PSE/SFA/23	g/ml	0,75
SFA.20.0570	MD3	Densidad Aparente	Gravimétrico PSE/SFA/23	g/ml	1,04
SFA.20.0571	MD4	Densidad Aparente	Gravimétrico PSE/SFA/23	g/ml	0,78

Analizado por: Daniel Bedoya, Katty Pastás

Observaciones:

- El laboratorio no es responsable del muestreo por lo que los resultados se aplican a la muestra como se recibió.



16 MAR 2020


Q. A. Luis Cacuango
 Responsable de Laboratorio
 Suelos, Foliar y Aguas





76 MAR 2020

Nota: El resultado corresponde únicamente a la muestra entregada por el cliente en esta fecha.
 Esta prohibida la reproducción parcial de este informe.
¹ Datos suministrados por el cliente: el laboratorio no se responsabiliza por esta información.

Anexo 1: Resultados de densidad aparente de los escenarios de estudio.

 AGROCALIDAD AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL DEL FID Y ZOO SANITARIO	LABORATORIO DE SUELOS, FOLIARES Y AGUAS Vía Interoceánica Km. 146 y El Rey Alfaro, Granja del MAGAP, Tumbaco - Quito Teléf.: 023828860 Ext. 2080	PGT/SFA/09-FO01 Rev. 5
	INFORME DE ANÁLISIS DE SUELO	Hoja 1 de 1

Informe N: UN SFA 420 8485
 Fecha emisión informe: 16/03/2020

DATOS DEL CLIENTE

Persona o Empresa solicitante¹: Brayan Steven Haro Mediavilla
 Dirección²: Otavalo
 Provincia²: Imbabura Cantón²: Otavalo
 Teléfono³: 0992073055
 Correo Electrónico³: bs.haron@utn.edu.ec
 N° Orden de Trabajo: 10-2020-004
 N° Factura/Documento: 006-001-0435

DATOS DE LA MUESTRA:

Tipo de muestra¹: Suelo Conservación de la muestra: Lugar fresco y seco
 Cultivo²: ----
 Provincia²: Imbabura X: ----
 Cantón²: Cotacachi Coordenadas²: Y: ----
 Parroquia²: Peñaherrera Altitud: ----
 Muestreado por¹: Brayan Haro Mediavilla
 Fecha de muestreo²: 03-03-2020 Fecha de inicio de análisis: 04-03-2020
 Fecha de recepción de la muestra: 04-03-2020 Fecha de finalización de análisis: 16-03-2020

RESULTADOS DEL ANÁLISIS

CÓDIGO DE MUESTRA LABORATORIO	IDENTIFICACIÓN DE CAMPO DE LA MUESTRA ¹	PARÁMETRO ANALIZADO	MÉTODO	UNIDAD	RESULTADO	
SFA 23 2572	M1	Porosidad	Cálculo P65/SFA/23	%	65,30	
		Humedad Equivalente	Centrifugo P66/SFA/23	%	44,55	
		Capacidad de Campo	Centrifugo P67/SFA/23	%	41,16	
		Punto de Marchitez	Centrifugo P68/SFA/23	%	22,37	
		Agua Aprovechable	Centrifugo P69/SFA/23	%	14,79	
		arena	Buoyancos P70/SFA/20	%	64	
		Limo	Buoyancos P71/SFA/20	%	26	
		Arcilla	Buoyancos P72/SFA/20	%	10	
		Clasificación	Cálculo P73/SFA/20			Fruto Arenoso

Analizado por: Daniel Bedoya, Katty Pastás

Observaciones:

- El laboratorio no es responsable del muestreo por lo que los resultados se aplican a la muestra como se recibió.

RECAUDACION
 16 MAR 2020


 Q. A. Luis Cacuango
 Responsable de Laboratorio
 Suelos, Foliar y Aguas

 **AGROCALIDAD**
 AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL DEL FID Y ZOO SANITARIO
LABORATORIO DE SUELOS, FOLIARES Y AGUAS
 TUMBACO - ECUADOR

Nota: El resultado corresponde únicamente a la muestra entregada por el cliente en esta fecha. Esta prohibida la reproducción parcial de este informe.

¹ Datos suministrados por el cliente; el laboratorio no se responsabiliza por esta información.

Anexo 2: Propiedades hídricas del suelo de la zona de Pasto – *Alnus nepalensis* (Aliso)

 AGROCALIDAD AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL DEL COMERCIO Y PRODUCTOS AGROPECUARIOS	LABORATORIO DE SUELOS, FOLIARES Y AGUAS Vía Interoceánica Km. 14½ y Elroy Alfaro, Granja del MAGAP, Tumbaco - Quito Teléf : 023828860 Ext. 2080	PGT/SFA/09-FO01
	INFORME DE ANÁLISIS DE SUELO	Rev. 5
		Hoja 1 de 1

Informe N°: LN-SFA-E20-0489
 Fecha emisión Informe: 16/03/2020

DATOS DEL CLIENTE

Persona o Empresa solicitante¹: Brayan Steven Haro Mediavilla
 Dirección¹: Otavalo **Teléfono¹: 0992073055**
Correo Electrónico¹: bsharon@utn.edu.ec
 Provincia¹: Imbabura **Cantón¹: Otavalo** **N° Orden de Trabajo: 10-2020-004**
N° Factura/Documento: 006-001-0435

DATOS DE LA MUESTRA:

Tipo de muestra¹: Suelo **Conservación de la muestra: Lugar fresco y seco**
 Cultivo¹: ----
 Provincia¹: Imbabura **X: ----**
 Cantón¹: Cotacachi **Coordenadas¹: Y: ----**
 Parroquia¹: Peñaherrera **Altitud: ----**
 Muestreado por¹: Brayan Haro Mediavilla
 Fecha de muestreo¹: 03-03-2020 **Fecha de inicio de análisis: 04-03-2020**
 Fecha de recepción de la muestra: 04-03-2020 **Fecha de finalización de análisis: 16-03-2020**

RESULTADOS DEL ANÁLISIS

CÓDIGO DE MUESTRA LABORATORIO	IDENTIFICACIÓN DE CAMPO DE LA MUESTRA ¹	PARÁMETRO ANALIZADO	MÉTODO	UNIDAD	RESULTADO
SFA 20 0573	M2	Porosidad	Cálculo PSE/SFA/25	%	53,60
		Humedad Equivalente	Centrifuga PSE/SFA/21	%	45,65
		Capacidad de Campo	Centrifuga PSE/SFA/21	%	42,30
		Punto de Marchitez	Centrifuga PSE/SFA/21	%	22,88
		Agua Aprovechable	Centrifuga PSE/SFA/21	%	19,22
		Areña	Balanza PSE/SFA/20	%	62
		Limo	Balanza PSE/SFA/20	%	28
		Arcilla	Balanza PSE/SFA/20	%	10
		Clase Textura	Cajilla PSE/SFA/20	---	franco arenoso

Analizado por: Daniel Bedoya, Katty Pastás

Observaciones:

- El laboratorio no se responsabiliza por lo que los resultados se aplican a la muestra como se recibió.

RECAUDACION
 16 MAR 2020
 Q. A. Luis Cacuango
 Responsable de Laboratorio
 Suelos, Foliares y Aguas

AGROCALIDAD
 AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL DEL COMERCIO Y PRODUCTOS AGROPECUARIOS
 LABORATORIO DE SUELOS, FOLIALES Y AGUAS
 TUMBACO - ECUADOR

Nota: El resultado corresponde únicamente a la muestra entregada por el cliente en esta fecha.
 Es prohibida la reproducción parcial de este informe.

¹Datos suministrados por el cliente; el laboratorio no se responsabiliza por esta información.

Anexo 3: Propiedades hídricas del suelo de la zona de Bosque Mixto.

 AGROCALIDAD AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL DEL PRODUCTO AGROPECUARIO	LABORATORIO DE SUELOS, FOLIARES Y AGUAS Vía Interoceánica Km. 14½ y El Alfarero, Granja del MAGAP, Tumbaco - Quito TEL. 023828860 Ext. 2080	PGT/SFA/09-FO01 Rev. 5
	INFORME DE ANÁLISIS DE SUELO	Hoja 1 de 1

Informe N°: LM-SFA-020-8487
 Fecha emisión Informe: 16/03/2020

DATOS DEL CLIENTE

Persona o Empresa solicitante¹: Brayan Steven Haro Mediavilla
 Dirección¹: Otavalo **Teléfono¹: 0992073055**
Correo Electrónico¹: bsharor@utn.edu.ec
 Provincia¹: Imbabura **Cantón¹: Otavalo** **N° Orden de Trabajo: 10.2020.004**
N° Factura/Documento: 006.001.0435

DATOS DE LA MUESTRA:

Tipo de muestra¹: Suelo **Conservación de la muestra: Lugar fresco y seco**
 Cultivo¹: ---- **X: ----**
 Provincia¹: Imbabura **Coordenadas¹: Y: ----**
 Cantón¹: Cotacachi **Altitud: ----**
 Parroquia¹: Penaherrera
 Muestreado por¹: Brayan Haro Mediavilla
 Fecha de muestreo¹: 03-03-2020 **Fecha de inicio de análisis: 04-03-2020**
 Fecha de recepción de la muestra: 04-03-2020 **Fecha de finalización de análisis: 16-03-2020**

RESULTADOS DEL ANÁLISIS

CÓDIGO DE MUESTRA LABORATORIO	IDENTIFICACIÓN DE CAMPO DE LA MUESTRA ¹	PARÁMETRO ANALIZADO	MÉTODO	UNIDAD	RESULTADO
SFA 20 0574	M3	Porosidad	Cálculo PEE/SFA/25	%	51,93
		Humedad Equivalente	Centrifuga PEE/SFA/21	%	38,97
		Capacidad de Campo	Centrifuga PEE/SFA/21	%	36,33
		Punto de Marchitamiento	Centrifuga PEE/SFA/21	%	19,74
		Agua Aprovechable	Centrifuga PEE/SFA/21	%	16,59
		Arena	Gravimétrico PEE/SFA/20	%	04
		Limo	Gravimétrico PEE/SFA/20	%	26
		Arcilla	Gravimétrico PEE/SFA/20	%	10
		Clase Textural	Cálculo PEE/SFA/20	---	Franco Arenoso

Analizado por: Daniel Bedoya, Katty Pastás

Observaciones:

- El laboratorio no es responsable del muestreo por lo que los resultados se aplican a la muestra como se recibió.

RECAUDACION

 Q. A. Luis Cacuango
 Responsable de Laboratorio
 Suelos, Foliare y Aguas
 **LABORATORIO DE SUELOS, FOLIARES Y AGUAS**
 TUMBACO - ECUADOR 

Nota: El resultado corresponde únicamente a la muestra entregada por el cliente en esta fecha.

Está prohibida la reproducción parcial de este informe.

¹Datos suministrados por el cliente; el laboratorio no se responsabiliza por esta información.

Anexo 4: Propiedades hídricas del suelo de la zona de Pastizal (referencia).

 AGROCALIDAD AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL DEL PRODUCTO AGROPECUARIO	LABORATORIO DE SUELOS, FOLIARES Y AGUAS Vía Interceolánica Km. 14½ y Eloy Alfaro, Granja del MAGAP, Tumbaco - Quito Teléf.: 023828860 Ext. 2080	PGT/SFA/09-FO01 Rev. 5
	INFORME DE ANÁLISIS DE SUELO	Hoja 1 de 1
	Informe N°: LN-SFA-EZO-9488 Fecha en la que se emitió: 16/03/2020	

DATOS DEL CLIENTE

Persona o Empresa solicitante¹: Brayan Steven Haro Mediavilla
 Dirección¹: Otavalo Teléfono¹: 0992073055
Correo Electrónico¹: bsharon@utn.edu.ec
 Provincia¹: Imbabura Cantón¹: Otavalo N° Orden de Trabajo: 10-2020-004
N° Factura/Documento: 006-001-0435

DATOS DE LA MUESTRA:

Tipo de muestra¹: Suelo Conservación de la muestra: Lugar fresco y seco
 Cultivo¹: ----
 Provincia¹: Imbabura X: ----
 Cantón¹: Cotacachi Y: ----
 Parroquia¹: Peñaherrera Altitud: ----
 Muestreado por¹: Brayan Haro Mediavilla
 Fecha de muestreo¹: 03-03-2020 Fecha de inicio de análisis: 04-03-2020
 Fecha de recepción de la muestra: 04-03-2020 Fecha de finalización de análisis: 16-03-2020

RESULTADOS DEL ANÁLISIS

CÓDIGO DE MUESTRA LABORATORIO	IDENTIFICACIÓN DE CAMPO DE LA MUESTRA ¹	PARÁMETRO ANALIZADO	MÉTODO	UNIDAD	RESULTADO
SFA 20 0575	M4	Porosidad	Cálculo PEE/SFA/25	%	61,13
		Humedad Equivalente	Centrifuga PEE/SFA/21	%	42,69
		Capacidad de Campo	Centrifuga PEE/SFA/21	%	40,41
		Punto de Marchitez	Centrifuga PEE/SFA/21	%	21,96
		Agua Aprovechable	Centrifuga PEE/SFA/21	%	18,45
		Arena	Bujesucos PEE/SFA/20	%	56
		Limo	Bujesucos PEE/SFA/20	%	32
		Arcilla	Bujesucos PEE/SFA/20	%	12
		Clase Textural	Cálculo PEE/SFA/20	---	Frío/A roroso

Analizado por: Daniel Bedoya, Katty Pastás

Observaciones:

- El laboratorio no es responsable por los resultados de muestreo por lo que los resultados se aplican a la muestra como se recibió.

RECAUDACION

Q. A. Luis Cacuango

Responsable de Laboratorio
Suelos, Folíares y Aguas


AGROCALIDAD
 AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL DEL PRODUCTO AGROPECUARIO
 LABORATORIO DE SUELOS, FOLIARES Y AGUAS
 TUMBACO - ECUADOR

Nota: El resultado corresponde únicamente a la muestra entregada por el cliente en esta fecha.
 Está prohibida la reproducción parcial de este informe.

¹ Datos suministrados por el cliente; el laboratorio no se responsabiliza por esta información.

Anexo 5: Propiedades hídricas del suelo de la zona de Bosque Nativo.

7.2. Cálculo de Componentes del Balance Hídrico Superficial

Anexo 6: Cálculo de evapotranspiración potencial de la zona de pastizal.

MES	DÍAS/MES	ALTITUD	EVP
Noviembre	30	2073	90.53
Diciembre	31	2073	93.55
Enero	31	2073	93.55
Febrero	29	2073	87.51
Marzo	31	2073	93.55
Abril	30	2073	90.53
Mayo	31	2073	93.55
Junio	30	2073	90.53
Julio	31	2073	93.55
Agosto	31	2073	93.55
Septiembre	30	2073	90.53
Octubre	31	2073	93.55

Anexo7: Cálculo de evapotranspiración potencial de la zona de Pasto – *Alnus nepalensis* (Aliso).

MES	DÍAS/MES	ALTITUD	EVP
Noviembre	30	2164	88.90
Diciembre	31	2164	91.86
Enero	31	2164	91.86
Febrero	29	2164	85.93
Marzo	31	2164	91.86
Abril	30	2164	88.90
Mayo	31	2164	91.86
Junio	30	2164	88.90
Julio	31	2164	91.86
Agosto	31	2164	91.86
Septiembre	30	2164	88.90
Octubre	31	2164	91.86

Anexo 8: Cálculo de evapotranspiración potencial de la zona de Bosque Mixto.

MES	DÍAS/MES	ALTITUD	EVP
Noviembre	30	2159	88.99
Diciembre	31	2159	91.95
Enero	31	2159	91.95
Febrero	29	2159	86.02

Marzo	31	2159	91.95
MES	DÍAS/MES	ALTITUD	EVP
Abril	30	2159	88.99
Mayo	31	2159	91.95
Junio	30	2159	88.99
Julio	31	2159	91.95
Agosto	31	2159	91.95
Septiembre	30	2159	88.99
Octubre	31	2159	91.95

Anexo 9: Cálculo de evapotranspiración potencial de la zona de Bosque Nativo.

MES	DÍAS/MES	ALTITUD	EVP
Noviembre	30	2024	91.42
Diciembre	31	2024	94.47
Enero	31	2024	94.47
Febrero	29	2024	88.37
Marzo	31	2024	94.47
Abril	30	2024	91.42
Mayo	31	2024	94.47
Junio	30	2024	91.42
Julio	31	2024	94.47
Agosto	31	2024	94.47
Septiembre	30	2024	91.42
Octubre	31	2024	94.47

Anexo 10: Cálculo de evapotranspiración real de la zona de Pastizal.

Meses	Precipitación (mm)	Prec. Efec.	S(a)mes-1	Eta
Dic	380.41	138.205	63.11	-
Ene	280.04	101.739	46.46	164.85
Feb	225.31	81.854	37.38	128.31
Mar	270.47	98.261	44.87	135.64
Abr	290.91	105.687	48.26	150.56
May	145.22	52.757	24.09	101.02
Jun	73.41	26.670	12.18	50.76
Jul	29.54	10.732	4.90	22.91

Anexo 11: Cálculo de evapotranspiración real de la zona de Pasto – *Alnus nepalensis* (Aliso).

Meses	Translocación (mm)	Prec. Efec.	S(a)mes-1	Eta
Dic	215.18	88.57	40.43	-
Ene	174.64	71.88	32.81	112.31

Feb	153.69	63.26	28.88	96.07
Meses	Translocación (mm)	Prec. Efec.	S(a)mes-1	Eta
Mar	179.33	73.81	33.70	102.69
Abr	186.61	76.81	35.06	110.51
May	122.63	50.48	23.04	85.54
Jun	93.60	38.53	17.59	61.57
Jul	69.14	28.46	12.99	46.05

Anexo 12: Cálculo de evapotranspiración real de la zona de Bosque Mixto.

Meses	Translocación (mm)	Prec. Efec.	S(a)mes-1	Eta
Dic	265.21	111.65	50.97	-
Ene	219.34	92.34	42.16	143.32
Feb	191.79	80.74	36.86	122.90
Mar	220.57	92.86	42.39	129.72
Abr	227.62	95.83	43.75	138.22
May	159.34	67.08	30.63	110.83
Jun	124.86	52.57	24.00	83.19
Jul	102.06	42.97	19.62	66.96

Anexo 13: Cálculo de evapotranspiración real de la zona de Bosque Nativo.

Meses	Translocación (mm)	Prec. Efec.	S(a)mes-1	Eta
Dic	220.64	89.16	40.71	-
Ene	175.75	71.02	32.43	111.73
Feb	153.69	62.11	28.36	94.53
Mar	180.95	73.12	33.38	101.48
Abr	189.58	76.61	34.98	109.99
May	118.17	47.75	21.80	82.73
Jun	86.59	34.99	15.98	56.79
Jul	58.94	23.82	10.88	39.80

Anexo 14: Infiltración de las zonas de estudio en la reserva hídrica El Paraíso.

Meses	Inf. Pastizal	Inf. Pas- <i>Alnus nepalensis</i> (Aliso)	Inf. Mixto	Inf. Nativo
Dic	33.72	60.72	66.28	51.16
Ene	22.97	58.86	70.55	48.50
Feb	30.38	57.85	56.31	37.64
Mar	33.42	62.25	74.97	62.30
Abr	31.10	59.80	59.78	60.25
May	23.71	77.98	65.89	56.40
Jun	28.61	56.70	58.00	47.96
Jul	19.70	62.43	63.55	38.83

Anexo 15: Cálculo de caudal en la reserva hídrica El Paraíso.

PROFUNDIDAD		Tiempos	Media de	Longitud	Velocidad	ANCHO		Caudal
A (m)	B (m)	(s)	tiempo	(m)	Media	Inicio	Fin	(m/s)
0.016	0.009	8.85	9.57	5	0.43	0.57	0.75	0.007
0.019	0.008	8.87						
0.021	0.019	10.09						
0.035	0.04	9.97						
0.037	0.028	10.09						
0.05	0.013							
0.056	0.01							
0.06	0.009							
0.062	0.008							
0.052	0.006							
0.046	0.005							
0.03	0.003							

7.3. Anexo de Fotografías



Anexo 16: Recolección de muestras de suelo.



Anexo 17: Homogenización de submuestras de suelo.



Anexo 18: Toma de la medida del agua de translocación.



Anexo 19: Medición de infiltración con el infiltrómetro de césped – Tec.



Anexo 20: Ubicación de Recolectores de escorrentía fustal.



Anexo 21: Toma de datos de escorrentía fustal, aplicando el nivel.



Anexo 22: Medición de caudal con el método del flotador.