



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 Ingeniera Forestal**

**ANÁLISIS DEL BALANCE HÍDRICO SUPERFICIAL EN LA ETAPA INICIAL DE
UNA PLANTACIÓN DE *Juglans neotropica* Diels**

AUTORA

Libeya Elizabeth Varela Guevara

DIRECTOR

Ing. Jorge Luis Ramírez López, M.Sc.

IBARRA – ECUADOR

2023

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
AMBIENTALES

CARRERA DE INGENIERÍA FORESTAL

ANÁLISIS DEL BALANCE HÍDRICO SUPERFICIAL EN LA ETAPA INICIAL DE UNA
PLANTACIÓN DE *Juglans neotropica* Diels.

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

INGENIERA FORESTAL

APROBADO

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

Ing. Hugo Vinicio Vallejos Álvarez MSc.
Opositor de trabajo de titulación



Ibarra – Ecuador

2023



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 de titulación 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 DEL CONTACTO		
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1003613716	
APELLIDOS Y NOMBRES:	Varela Guevara Libeya Elizabeth	
DIRECCIÓN:	Ibarra	
EMAIL:	levarelag@utn.edu.ec	
TELÉFONO FIJO:	063015866	TELÉFONO MÓVIL: 0988745772

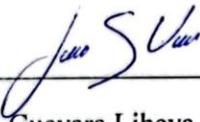
DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	ANÁLISIS DEL BALANCE HÍDRICO SUPERFICIAL EN LA ETAPA INICIAL DE UNA PLANTACIÓN DE <i>Juglans neotropica</i> Diels.
AUTOR/A:	Varela Guevara Libeya Elizabeth
FECHA: (dd/mm/aa)	29/05/2023
SOLO PARA TRABAJOS DE TITULACIÓN	
PROGRAMA:	Pregrado
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniera Forestal
DIRECTOR:	Ing. Jorge Luis Ramírez López, M.Sc.

CONSTANCIA

La autora 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 saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 29 días del mes de mayo del 2023

LA AUTORA



Varela Guevara Libeya Elizabeth

DEDICATORIA

Este trabajo de titulación lo dedico de todo corazón...

A dios porque me lleno de muchas bendiciones y me ha brindado mucha fuerza para no rendirme en el camino y poder lograr mi sueño.

A mis amados padres Wilson y Estelita quienes han luchado y trabajado con mucho esfuerzo para que nunca nada me falte, han inculcado en mí, principios y valores para convertirme en una persona de bien, me han llenado de amor infinito e incondicional, sobre todo, porque nunca han dejado de apoyarme y rezar en mí en los momentos más difíciles.

A mis hermanos Endis y Jimmy, quienes con su cariño me han motivado a seguir adelante y han apoyado mi sueño como si fuera el de ellos.

A mis abuelitos Elvia y Raúl por estar siempre a mi lado y nunca dejar de creer en mí.

A Jhonny por haberme brindado su amor, comprensión y apoyo incondicional durante mi formación académica, en especial por siempre apoyarme y estar conmigo dándome fuerzas, confianza y consejos para seguir adelante.

AGRADECIMIENTOS

En este apartado quiero agradecer a todas las personas que hicieron posible esta investigación que de alguna manera estuvieron con nosotros a lo largo de nuestra formación académica.

Estas palabras son para ustedes.

A dios por brindarme fortaleza, sabiduría, salud y ser nuestro guía para poder culminar esta etapa.

A mis padres por ser los principales impulsores de mi sueño y los mejores guías de vida; que con su esfuerzo y dedicación fueron un pilar fundamental para mi formación personal y académica, además por inculcarme valores y principios que me hicieron una mejor hija, hermana y persona.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES
CARRERA DE INGENIERÍA FORESTAL

ANÁLISIS DEL BALANCE HÍDRICO SUPERFICIAL EN LA ETAPA INICIAL DE UNA
PLANTACIÓN DE *Juglans neotropica* Diels.

Varela Guevara Libeya Elizabeth

RESUMEN

Juglans neotropica Diels es una especie de interés productivo, comercial y social, sin embargo, en Ecuador el aporte científico sobre el balance hídrico y el consumo de agua de especies forestales principalmente en etapas iniciales de crecimiento son escasos. En el presente trabajo de investigación se determinó el balance hídrico superficial en la etapa inicial de una plantación de *Juglans neotropica* Diels en el campus Yuyucocha. Para ello se tomaron registros diarios de los componentes del balance hídrico como: precipitación, temperatura, infiltración y almacenamiento de agua en el suelo durante ocho meses, posteriormente se estimó los datos faltantes mediante dos metodologías, la primera consistió en un modelo de predicción utilizando los datos históricos de la estación meteorológica Ibarra M1240 y el segundo en un modelo de regresión múltiple utilizando como variables regresaras (variables predictoras) la precipitación y la evaporación. Como resultado se obtuvo que en el mes de septiembre se registró la mayor precipitación con 184,0 mm e infiltración con 19,0 mm y la mayor concentración de almacenamiento de agua en el suelo fue en septiembre con 30,6 mm. Además, el mes con mayor evapotranspiración potencial y real fue en febrero con 92,7 mm, finalmente, se obtuvo que el mes con mayor nivel de déficit hídrico fue enero con 29,6 mm y el mes con mayor exceso hídrico fue septiembre con 73,3 mm. Se concluye que flujo hídrico de mayor importancia, fue la precipitación, sin embargo, el consumo de agua de *Juglans neotropica* Diels no se satisface con la capacidad de almacenamiento de agua en el suelo, por lo que se debe incrementar riego durante los meses de déficit hídrico.

Palabras clave: Precipitación, temperatura, infiltración, evapotranspiración, déficit hídrico, exceso hídrico.

ABSTRACT

Juglans neotropica Diels is a species of productive, commercial and social interest, however, in Ecuador the scientific contribution on the water balance and water consumption of forest species mainly in the initial stages of growth are scarce. In this research work we determined the surface water balance in the initial stage of a plantation of *Juglans neotropica* Diels in the Yuyucocha campus. For this purpose, daily records were taken of water balance components such as precipitation, temperature, infiltration and water storage in the soil for eight months, then the missing data were estimated using two methodologies, the first consisted of a prediction model using historical data from the Ibarra M1240 weather station and the second was a multiple regression model using precipitation and evaporation as predictor variables (predictor variables). As a result, the highest precipitation was recorded in September with 184,0 mm and infiltration with 19,0 mm, and the highest concentration of water storage in the soil was in September with 30,6 mm. In addition, the month with the highest potential and actual evapotranspiration was February with 92,7 mm. Finally, the month with the highest water deficit was January with 29,6 mm and the month with the highest water excess was September with 73,3 mm. It is concluded that the most important water flow was precipitation, however, the water consumption of *Juglans neotropica* Diels is not satisfied with the water storage capacity in the soil, so irrigation should be increased during the months of water deficit.

Key words: Precipitation, temperature, infiltration, evapotranspiration, water deficit, water excess.

ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN	VII
ABSTRACT	VIII
CAPÍTULO I	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1. Problema de investigación.....	2
1.2. Justificación	3
1.3. Objetivos.....	4
1.3.1. Objetivo General.....	4
1.3.2. Objetivos específicos.....	4
1.4. Pregunta de investigación.....	4
CAPÍTULO II	5
MARCO TEÓRICO	5
2.1. Fundamentación legal.....	5
2.1.1. Constitución de la República del Ecuador.....	5
2.1.2. Código Orgánico del Ambiente.....	5
2.1.3. Plan de Creación de Oportunidades.....	6
2.1.4. Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Uso y Aprovechamiento del Agua	6
2.2. Línea de investigación	6
2.3. Fundamentación teórica.....	6
2.3.1. Hidrología.....	6
2.3.2. Balance hídrico.....	8
2.3.3. Hidrología forestal.....	18
CAPÍTULO III	20
MATERIALES Y MÉTODOS	20
3.1. Ubicación del área de estudio.....	20
3.1.1. Ubicación política.....	20
3.1.2. Ubicación geográfica.....	20

3.2.	Características edafoclimáticas.....	21
3.2.1.	Suelo.....	21
3.2.2.	Clima.....	21
3.3.	Materiales, equipos y software.....	21
3.4.	Metodología.....	22
3.4.1.	Delimitación del área de estudio.....	22
3.4.2.	Balance hídrico superficial.....	22
CAPÍTULO IV.....		28
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....		28
4.1.	Precipitación.....	28
4.2.	Infiltración.....	29
4.3.	Escorrentía superficial.....	31
4.4.	Almacenamiento de agua en el suelo.....	32
4.5.	Evapotranspiración potencial y real.....	33
4.6.	Balance hídrico superficial.....	34
4.7.	Déficit y excedente hídrico.....	35
CAPÍTULO V.....		37
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		37
5.1.	Conclusiones.....	37
5.2.	Recomendaciones.....	37
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		38
ANEXOS FOTOGRÁFICOS.....		51

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Materiales, equipos y software empleados en el desarrollo de la investigación.....	21
Tabla 2. Cantidad de agua que contiene cada rango de humedad.....	25
Tabla 3. Coeficiente de regresión y estadísticos asociados.....	30
Tabla 4. Déficit y exceso hídrico del suelo de una plantación de <i>Juglans neotropica</i> Diels.....	35

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ciclo hidrológico.....	7
Figura 2. Balance hídrico superficial.....	9
Figura 3. Componentes de la Evapotranspiración.....	16
Figura 4. Ubicación del campus Yuyucocha.....	20
Figura 5. Diseño de la plantación.....	22
Figura 6. Ubicación de los instrumentos para medir la infiltración.....	24
Figura 7. Diseño e instalación de instrumento para medir la infiltración.....	24
Figura 8. Distribución mensual de la precipitación.....	28
Figura 9. Distribución mensual de la Infiltración.....	29
Figura 10. Análisis de regresión lineal.....	30
Figura 11. Distribución mensual del Almacenamiento de agua en el suelo.....	32
Figura 12. Distribución mensual de la evapotranspiración potencial y real.....	33
Figura 13. Balance hídrico superficial de una plantación de <i>Juglans neotropica</i> Diels.....	34

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

El ciclo hidrológico, describe la circulación y almacenamiento de agua en la tierra (Maidment, 1993). Los ecosistemas forestales interceptan una fracción importante de agua lluvia, entre 10 y 35%, que es aprovechada por el sistema radicular de las plantas; logrando alcanzar un equilibrio entre la precipitación, infiltración, retención de agua en el suelo y la evapotranspiración, proceso conocido como balance hídrico (Ward y Trimble, 2004). Este término forma parte del principio de la conservación de la materia, aplicada al agua en un sistema y tiempo que permite cuantificar las variables de entrada (precipitación), salida de agua (evapotranspiración) y almacenaje o reserva (Claro, 1992; Gálvez, 2011). Este proceso se encuentra en sinergia con las características del suelo, vegetación y los cambios climáticos y meteorológicos (Ordoñez, 2011; Mosquera et al., 2015; Sarango et al., 2019).

El cambio de cobertura natural y la deforestación influyen en la degradación de las cuencas hidrográficas, disminuyen la capacidad de retención de agua, provocan cambios en la evapotranspiración y modifican los flujos de calor y humedad, lo cual causa desequilibrio en los ecosistemas forestales (Cox et al., 2004). Transformar ecosistemas forestales densos a uno más abierto debido al aprovechamiento y explotación de madera, provoca cambios y alteraciones en el ciclo hidrológico; ya que, la cantidad de agua que infiltra y se retiene en el suelo depende del tipo de especie forestal, los cuidados y de las condiciones climáticas del lugar en el que se encuentre (Gómez et al., 2019). En ese sentido, la densidad arbórea influye directamente al balance hídrico de ecosistemas forestales ya que afectan los patrones de distribución de precipitaciones por ende una variación en las cantidades y valores de humedad del suelo y evapotranspiración (Gómez et al., 2019).

De acuerdo con la UNESCO (2019), en la conversión de bosque nativo a plantaciones forestales no existen diferencias significativas en los valores de balance hídrico, a diferencia de lo que ocurre entre plantaciones establecidas y las que son recién sembradas. Este parámetro ha sido tomado como referencia para que los procesos de restauración, reforestación y plantaciones forestales con fines comerciales tengan éxito (Bustamante y Zalles, 2020).

En Ecuador las áreas de plantaciones forestales con fines comerciales y de protección creció un 42% desde el año 1990 hasta el 2018, utilizando plantas nativas y exóticas con alto potencial de crecimiento y producción (Sierra, Calva y Guevara, 2021). La provincia de Imbabura posee aproximadamente 182 411 ha con aptitud forestal, de las cuales 55 116 ha son aptas para el establecimiento de plantaciones forestales con fines comerciales (Tituaña y Nicolalde, 2019).

En Ecuador, *Juglans neotropica* Diels (nogal) es una de las especies consideradas de interés productivo y comercial, distribuyéndose desde los 800 a 2800 m.s.n.m. (Toro y Roldán, 2018). La madera de esta especie es de alto valor comercial por su alta resistencia y fácil grado de trabajabilidad; haciéndola ideal para la ebanistería, tallado, construcción y fabricación de arados (Palacios, 2016). Existen reportes por parte de Veintimilla, Gamboa y Gallo (2019), donde se estima que la producción de madera de *Juglans neotropica* Diels incrementa hasta 0,03 m³ por año, el desarrollo alcanzado se debe a la disponibilidad de agua proveniente de los periodos de precipitación, el porcentaje de cobertura del suelo, la densidad de la plantación y edad de las plantas (Ferreira, Sellés y Sellés, 2001), en áreas con precipitación anual entre 500 y 3500 mm la especie *Juglans neotropica* Diels logra efectos significativos sobre el crecimiento y desarrollo (Ospina et al., 2003).

1.1. Problema de investigación

El efecto de las plantaciones forestales en el ciclo hidrológico es un tema sensible y de creciente interés tanto por aspectos relacionados con la producción y manejo forestal, como con el vínculo a los servicios ecosistémicos (Comité del Agua de Corma, 2015). Estudios relacionados con el impacto de los bosques sobre el flujo de agua se han realizado en países como Estados Unidos y Europa, donde se concluye que los aporte de agua a partir de la precipitación, dependen principalmente de las características de la cubierta vegetal (Instituto Forestal [INFOR], 2013), en cuanto a plantaciones forestales el flujo de agua, por ende el balance hídrico depende del tipo de especie forestal, los cuidados y de las condiciones climáticas del lugar en el que se encuentre (Gómez et al., 2019).

En Ecuador es escaso el aporte científico que evalué el balance hídrico de especies forestales, por lo que se desconoce sobre el consumo de agua principalmente en etapas iniciales de crecimiento, sin embargo, Iglesias (2009) evaluó el balance hídrico de una especie nativa, *Ochroma pyramidale*

Cav, frente a dos exóticas, *Eucalyptus urograndis* y *Gmelina arborea* Roxb, en etapa inicial de crecimiento y como resultado obtuvo que la especie con mayor balance hídrico fue *Ochroma pyramidale* con un valor de 1230,82 mm, especie con mayor almacenamiento y menor consumo de agua debido a su morfología radicular, seguida por *Eucalyptus urograndis* con un valor de 1230,36 mm y *Gmelina arborea* con un valor de 1224,16 mm. A su vez Haro (2021) evaluó el comportamiento de la cobertura vegetal en el balance hídrico superficial en diferentes escenarios, donde obtuvo que el mejor fue bosque mixto con 354,06 mm; seguido por bosque nativo 261,58 mm y pastizal 205,54 mm. En este contexto también se desconoce sobre el consumo de agua y el balance hídrico de la especie *Juglans neotropica* Diels, espécimen con alto potencial productivo, comercial y socioeconómico; que se encuentra en peligro de extinción ya que en el Ecuador los cultivos remanentes de esta especie son rápidamente explotados, lo que supone el interés de estudio y evaluación del consumo de agua y almacenamiento en relación al crecimiento principalmente en etapas iniciales, siendo un aporte para la comunidad científica (Veintimilla, Gamboa y Gallo, 2020).

1.2. Justificación

En el mundo las plantaciones forestales suponen una parte importante en el uso de la tierra tanto para producción de madera con fines industriales como para la generación de servicios, actualmente están llegando a superar en producción a los bosques nativos (Prado, 2015). La influencia de las plantaciones forestales en el balance y regulación del flujo hídrico es significativa ya que depende netamente de la especie forestal. *Juglans neotropica* Diels es una especie considerada de interés productivo y social, que debido a su alto valor comercial, resistencia y fácil grado de trabajabilidad (Palacios, 2016), razón por la cual se ve en la necesidad de generar datos que permitan determinar los requerimientos hídricos de la plantación en el primer año de crecimiento, con el fin de establecer pautas de manejo sustentable del recurso forestal y evitar pérdidas parciales o totales de la producción.

El balance hídrico especifica que el total de agua que ingresa debe ser igual al agua que sale, más la diferencia entre el contenido final e inicia, para lo cual se considera la precipitación, temperatura, infiltración, evapotranspiración, almacenamiento del suelo y escorrentía (Cleves, Toro y Martínez, 2016). La precipitación y la temperatura se obtienen de las estaciones meteorológicas, los valores pueden tabularse a nivel mensual, anual o diario, dependiendo de la precisión que se requiera. La

infiltración se define como el ingreso vertical del agua en el suelo en condiciones no saturadas. La evapotranspiración es el total de agua convertido en vapor por una cobertura vegetal. El almacenamiento del suelo se refiere a la cantidad de agua aprovechable por la planta que puede almacenar el suelo, depende básicamente de la textura del suelo y su profundidad. Mientras que la escorrentía es la parte de la precipitación que no ingresa al suelo debido a que el mismo no es perfectamente permeable (Ordoñez, 2011).

1.3.Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Determinar el balance hídrico superficial en la etapa inicial de una plantación de *Juglans neotropica* Diels en el campus Yuyucocha.

1.3.2. Objetivos específicos

- Estimar la evapotranspiración en el primer año de crecimiento de una plantación de *Juglans neotropica* Diels.
- Determinar la relación entre la precipitación y evapotranspiración en el primer año de crecimiento de la plantación de *Juglans neotropica* Diels.

1.4.Pregunta de investigación

- ¿Cuál es la evapotranspiración en el primer año de crecimiento de una plantación de *Juglans neotropica* Diels?
- ¿Cuál es la relación entre precipitación y evapotranspiración en el primer año de crecimiento de una plantación de *Juglans neotropica* Diels?

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Fundamentación legal

La presente investigación se sustenta en la Constitución de la República del Ecuador – 2008, Código Orgánico Ambiental, Plan de Creación de Oportunidades 2021-2025 y la Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua.

2.1.1. Constitución de la República del Ecuador

Título VII

Sección sexta (Agua)

Art. 411.- Se garantiza 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 la fuentes y zonas de recarga de agua. La sustentabilidad de los ecosistemas y consumo humano serán prioritarias en el uso y aprovechamiento del agua (Asamblea Nacional Constituyente del Ecuador, 2008).

2.1.2. Código Orgánico del Ambiente

Título II

De los Derechos, Deberes y Principios Ambientales

De acuerdo al Código Orgánico del Ambiente (2017) el **Art. 5.-** Garantiza el derecho de la población de vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado.

- **Inciso 1:** La conservación, manejo sostenible y recuperación del patrimonio natural, la biodiversidad y todos sus componentes, con respecto a los derechos de la naturaleza a los derechos colectivos de las comunas, comunidades, pueblos y nacionalidades.
- **Inciso 2:** La conservación, preservación y recuperación de los recursos hídricos, cuencas hidrográficas y caudales ecológicos asociados al ciclo hidrológico.

2.1.3. Plan de Creación de Oportunidades

Transición ecológica

Se promueve la gestión integral de los recursos hídricos con el fin de evitar impactos negativos y garantizar su permanencia a largo plazo (Secretaría Nacional de Planificación, 2021).

2.1.4. Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Uso y Aprovechamiento del Agua

Título I: Disposiciones preliminares

Capítulo I: De los principios

Art. 4.- Se reconoce al agua como un recurso natural que debe ser conservado y protegido con el fin de garantizar su calidad y permanencia (Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Uso y Aprovechamiento del Agua, 2014).

Título II: Recursos hídricos

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

Art. 12.- El Estado, los Gobiernos Autónomos Descentralizados y la comunidad en general son corresponsales en la protección, recuperación y conservación de las fuentes de agua, de conformidad con las normas de la presente Ley y las normas técnicas que dicte la Autoridad Única de Agua (Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Uso y Aprovechamiento del Agua, 2014).

2.2.Línea de investigación

La investigación se ajusta a la línea de investigación propuesta por la carrera de Ingeniería forestal: Desarrollo agropecuario y forestal sostenible.

2.3.Fundamentación teórica

2.3.1. Hidrología

La hidrología es la ciencia de la ingeniería que estudia la distribución y movimiento del agua en el medio natural, además describe y predice las variaciones espaciales y temporales del agua en las etapas terrestre, oceánica y atmosférica del ciclo hídrico global, así como el movimiento del

agua sobre y debajo de la superficie terrestre, incluyendo los procesos químicos, físicos y biológicos que tienen lugar a lo largo de su trayectoria (Santiago, 2008).

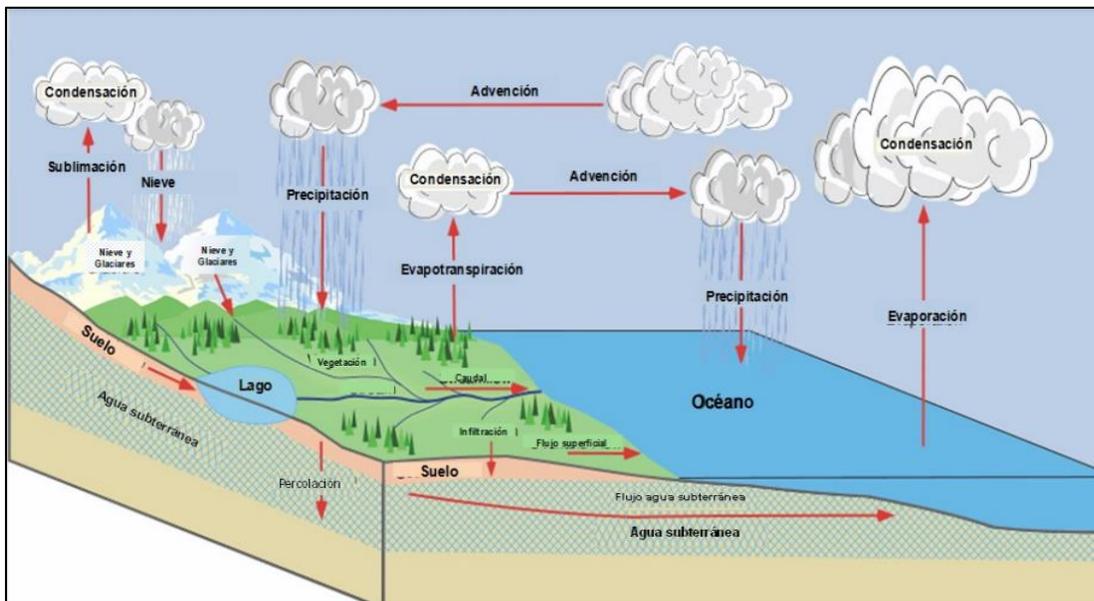
2.3.1.1. Ciclo hidrológico

El ciclo hidrológico es el proceso de movimiento del agua desde la atmósfera hacia la tierra a través de diferentes procesos, donde intervienen elementos como: la evaporación, la infiltración, la precipitación y la escorrentía, siendo la radiación solar la principal energía que permite que esto ocurra (Lima, 2011). Cada uno de los elementos crea un ambiente natural definido que determina la fisonomía de la vegetación, distribución de los animales y formación del suelo, sin embargo, si uno de estos es perturbado puede ocasionar un desequilibrio ambiental (Maderey y Jiménez, 2000).

El ciclo hidrológico se lleva a cabo en tres estratos del sistema terrestre; la atmósfera o capa gaseosa que envuelve el globo terráqueo, la litosfera o porción sólida de la superficie del globo y la hidrosfera, formada por cuerpos de agua que cubren aproximadamente el 70% de la superficie terrestre (Mejía, 2006). Para Lima (2011) este proceso inicia cuando por acción de la radiación solar el agua de los océanos o de la superficie se evapora, parte del vapor de agua se condensa en la atmósfera formando nubes y da lugar a la precipitación en forma de agua o nieve (Figura 1).

Figura 1

Ciclo hidrológico.



Fuente: (Ordoñez, 2011).

2.3.2. Balance hídrico

El balance hídrico comprende la cuantificación de los parámetros involucrados en el ciclo hidrológico, así como diversos componentes relacionados con el consumo de agua del suelo. Dado que el balance hídrico presenta un diagnóstico de las condiciones reales del recurso en un área en particular, éste permite tomar medidas y establecer lineamientos y estrategias para su protección y utilización de manera integrada (Gómez et al., 2019). Refleja el contenido de humedad en el suelo con respecto a su valor máximo o Capacidad de Campo en un determinado intervalo de tiempo, generalmente a través de un año (Tuñón, 2000).

El modelo de balance hídrico se basa en la ecuación detallada de las entradas del sistema tiempo y salidas por unidad de tiempo, ello con respecto a los diferentes componentes del ciclo hidrológico o de escorrentía. Además, se la conoce como una ley muy importante de la Hidrología, que representa el almacenamiento de agua en el suelo, la precipitación en mm la evapotranspiración real o efectiva en mm y la escorrentía incluyendo el flujo base en mm (Fetter, 2001).

El balance hídrico puede estimarse para cualquier tamaño de masa de agua, el grado de complejidad dependerá de la extensión de la zona a estudiar. Cuanto más pequeña sea la superficie, más complicado es el balance, ya que es más difícil de estimar los componentes secundarios como intercambio de agua subterránea, almacenamiento de agua y zonas regables (Tuñón, 2000).

El balance hídrico es uno de los principales objetivos en hidrología, representan un medio para solucionar importantes problemas hidrológicos teóricos y prácticos. A partir de este parámetro es posible hacer una evaluación cuantitativa de los recursos del agua y sus modificaciones por influencia de la actividad humana (Andrade y Múñez, 2012).

2.3.2.1. Balance hídrico superficial

El balance hídrico superficial es una herramienta para evaluar cuantitativamente, en las dimensiones espaciales y temporales, los recursos hídricos en una unidad geográfica. Las técnicas para su evaluación proveen medios útiles desde una perspectiva científica y práctica (Ministerio del Ambiente y Agua, 2016). En una cuenca hidrográfica una de las variables que define el potencial del recurso hídrico superficial es el volumen de escurrimiento natural, el mayor

porcentaje corresponde al consumo. El balance hídrico se puede calcular por intervalo de tiempo, un año, una estación, un mes o un determinado número de días (UNESCO, 2007).

El método más utilizado para calcular el balance hídrico superficial es el de Thornthwaite y Mather (1955), este método analiza la existencia y deficiencia de agua del suelo mensualmente. Sus variables de entrada en mm son: la precipitación, la evapotranspiración potencial y la capacidad de retención de humedad de los suelos según su textura (Figura 2) (Santos et al., 2018).

Figura 2

Balance hídrico superficial.



Fuente: (Ordoñez, 2011).

2.3.2.1.1. Componentes del balance hídrico superficial

Los elementos que interviene en el ciclo hidrológico se detallan a continuación:

a) Precipitación

La precipitación se produce cuando el vapor de agua de la atmosfera se condensa en las nubes y cae a la tierra, básicamente en agua en forma líquida (llovizna, lluvia, etc.), sólida (nieve, granizo, etc.) y las precipitaciones ocultas (rocío, helada, etc.) (Bateman, 2007). La formación de la precipitación requiere de la elevación de una masa de agua a la atmosfera (en forma de vapor), de tal manera que se enfríe y parte de esa humedad se condense. La capacidad de lluvia se expresa en milímetros (mm), 1 mm de agua equivale a 1 litro/metro² (Pérez et al., 2022), mientras que su medición se realiza a través de instrumentos llamados pluviómetros, la variación de espacial de la

precipitación se analiza a través del trazado de líneas de igual precipitación, también denominadas isoyetas (Martínez et al., 2006).

Los tres mecanismos principales para la elevación de las masas de vapor de agua son la elevación frontal, el aire caliente es elevado sobre el aire; la elevación orográfica, mediante la cual una masa de aire se eleva para pasar por encima de una cadena montañosa; y la elevación convectiva donde el aire se eleva por la acción convectiva de los movimientos de aire de una tormenta eléctrica (Pazos y Mayorga, 2019).

- **Precipitación horizontal.** Es un fenómeno característico de los bosques nublados del trópico húmedo, es considerada como el agua en forma de niebla que se origina del choque constante con la vegetación. Puede presentarse desde poco densa, con una cantidad de agua de $0,05 \text{ g/m}^3$, a muy densa con una cantidad de 3 gr/m^3 dependiendo del tipo de cobertura vegetal (Ordóñez, 2011). La especie *Plylepis racemosa* Ruiz y Pavón en la comuna Zuleta, provincia de Imbabura puede llegar a interceptar hasta 97 litros de agua de niebla, lo cual constituye un importante aporte de agua al suelo (Bustamante, 2019).
- **Precipitación convectiva.** Se origina por el calentamiento local de una masa de aire, la cual se eleva ocurriendo en ella enfriamiento y condensación del vapor de agua, produciéndose lluvia. Se caracterizan por ser de corta duración, abundantes y elevadas (Ordóñez, 2011).
- **Precipitación orográfica.** También denominadas lluvias de relieve, ocurre cuando las masas de aire que avanzan horizontalmente y se encuentran un obstáculo se ven obligadas a ascender por una montaña, lo que genera condensación del vapor de agua y lluvia en las vertientes expuestas al viento. Son lluvias concurrentes, es decir se repiten en el mismo lugar (Ordóñez, 2011).
- **Precipitación frontal.** También llamadas ciclónicas o ciclónicas, se originan por medio de la ascendencia frontal del aire en sistemas sinópticos, como en los frentes fríos (más pesado) y ante los frentes calientes (más livianas), las precipitaciones son continuas a considerables intensidades (Ordóñez, 2011).

Arroyo (2007) afirma que la precipitación puede adquirir diversas formas como producto de la condensación del vapor de agua atmosférico, siendo las más comunes las siguientes:

- **Lluvia.** Forma de precipitación más conocida, consiste de gotas de agua líquida comúnmente mayores a los 5 mm de diámetro.
- **Llovizna.** Son pequeñas gotas de agua líquida cuyo diámetro fluctúa entre 0,1 y 0,5 mm; debido a su pequeño tamaño tienen un asentamiento lento y en ocasiones parecen que flotan en el aire.
- **Nieve.** Cristales de hielo hexagonal agrupados en copos. Se forman a temperaturas muy bajas, inferior a 0 °C. La velocidad de caída depende del peso de los copos, la densidad relativa y la dirección del viento. La nieve forma un manto continuo que desaparecerá si la tasa de fusión es superior a la tasa de precipitación.
- **Granizo.** Se forma cuando las gotas de agua sobreenfriadas circulan en las zonas de corrientes ascendentes en el interior de un cumulonimbus. Son esferas de hielo duro con diámetro entre 5 y 50 mm, se originan en nubes de carácter vertical, con vientos ascendentes y descendentes que van engrosando los cristales, hasta que por acción de la gravedad precipitan al suelo, suele ocurrir en latitudes medias.

b) Infiltración

La infiltración es el proceso de movimiento del agua a través del perfil del suelo, desde la superficie terrestre hacia abajo, reponiendo la humedad del suelo, recargando los acuíferos y manteniendo el caudal de los ríos durante los periodos de estiaje (Rosales et al., 2020).

La infiltración presenta diferencia al inicio y al final del proceso, inicialmente es alta debido a las características del suelo que se encuentra en estado seco, pero tiende a disminuir constantemente y eventualmente se aproxima asintóticamente a un valor constante el cual se suele llamar como capacidad final de infiltración (Tapia et al., 2020). La capacidad de infiltración se refiere al nivel máximo de agua que un suelo puede absorber dependiendo de sus propiedades físicas y del estado de humedad antecedente a la precipitación (Ruiz y Martínez, 2015), se encuentra en relación directa con el tiempo, ya que conforme avance el tiempo la velocidad de infiltración disminuirá debido a que las partículas del suelo se van saturando (Yáñez et al. 2017).

La infiltración puede ser un indicador de la calidad y salud del suelo, ya que el transporte de agua se constituye un medio principal para la conservación de la actividad, física, química y biológica del suelo. El suelo constituye la principal reserva de agua para el crecimiento de las plantas y es almacenamiento regulador del ciclo hidrológico (Fadda, 2017), además las propiedades físicas del suelo condicionan su capacidad de absorber (infiltrar) total o parcialmente el agua lluvia (Pazos y Mayorga, 2019).

Pese a la importancia hidrológica del suelo, su interés se centra en que este recurso suple las necesidades del hombre, puesto que soporta las plantas que proveen alimentos, fibras, medicamentos, madera, entre otros. Sin tomar en cuenta que estas actividades pueden provocar la lixiviación de sustancias químicas hacia los acuíferos causando contaminación (Muñoz, 2004).

La sustentabilidad de los suelos depende de la disponibilidad de agua, debido a que muchos procesos que intervienen en el flujo de energía de las plantas, se lleva a cabo en asociación con el agua, además la superficie del suelo, termina la relación lluvia-escurrimiento-infiltración-suelo-vegetación (Viramontes et al., 2008).

Por otro lado, la capacidad de infiltración depende esencialmente de las propiedades hídricas del suelo:

- **Densidad aparente.** Refleja el contenido total de porosidad, se expresa como una unidad de volumen o peso de una muestra de suelo seco y no perturbado. El método para determinar la densidad aparente, consiste en extraer una muestra de suelo y dejarlo secar en una estufa a 105 °C de temperatura hasta alcanzar un peso constante y posteriormente dividirlo por el volumen que ocupa la muestra en campo. Varía con la textura, el estado de agregación, contenido de materia orgánica y el manejo del suelo (Conti, 2007).
- **Capacidad de campo.** Cantidad de agua retenida en el suelo después que ha drenado el agua gravitacional y cuando la velocidad del movimiento descendente del agua disminuye sustancialmente. La unidad de medida más frecuente es en milímetros, que equivale al volumen de 1 litro de agua distribuido en la superficie de 1 m² (Chicas et al., 2014).
- **Capacidad de almacenamiento de agua.** Cantidad de agua de precipitación o aplicada por riego entra al suelo y ocupa el espacio entre los poros, logrando satura el suelo (Pereira

et al., 2011). La cantidad de agua almacenada depende de la textura y estructura del suelo, y se determina multiplicando la cantidad de agua disponible para la planta por la profundidad de la zona de las raíces donde se produce la extracción del agua (Lincoln y Morgan, 2013).

Los métodos más comunes para determinar la capacidad de infiltración son, el análisis del hidrograma y los estudios con infiltrómetros, se mide en pulgadas por hora o milímetros por hora (Úbeda y Delgado, 2018). Un infiltrómetro es un tubo diseñado para aislar una sección del suelo, permiten obtener valores de 0,25 mm/h en condiciones de estiaje, en suelos arcillosos y tras una precipitación de una hora de duración; y valores de 25 mm/h en suelos arenosos sueltos, mientras que la velocidad de infiltración aumenta de 3 a 7 veces en suelos de pastizales o bosques (Delgado et al., 2017).

Úbeda y Delgado (2018), mencionan que en el proceso de infiltración se pueden distinguir tres fases:

- **Intercambio.** Se presenta en la parte superior del suelo, donde el agua puede retornar a la atmósfera por medio de la evaporación debido al movimiento capilar o por medio de la transpiración de las plantas.
- **Transmisión.** Ocurre cuando la acción de la gravedad supera a la de la capilaridad y obliga al agua a deslizarse verticalmente hasta encontrar una capa impermeable.
- **Circulación.** Se presenta cuando el agua acumulada en el subsuelo debido a la presencia de una capa impermeable y empieza a circular por acción de la gravedad, obedeciendo las leyes del escurrimiento subterráneo.

c) **Evaporación**

Proceso natural que ocurre en la superficie, tanto terrestre como marítima, consiste básicamente en transformar el agua en vapor y sube a la atmósfera. Este proceso ocurre cuando el sol calienta la superficie de las aguas de los ríos, lagos, lagunas, mares y océanos (Bateman, 2007). De acuerdo a Vera y Camilloni (2011) aproximadamente el 80% del agua evaporada total proviene de los océanos, mientras que el 20% restante es de las regiones continentales y de la transpiración de la vegetación.

La cantidad de evaporación constituye una pérdida para los almacenamientos superficiales (embalses) y los subterráneos (acuíferos), es controlada por la energía disponible en la superficie y la facilidad con la cual el vapor de agua puede difundirse en la atmósfera (Manzur y Cardoso, 2015). El agua del suelo es evaporada siguiendo tres etapas bien diferenciadas: la primera que es controlada por las condiciones externas, atmosféricas, la segunda que es controlada por las características propias de transmisión de agua del suelo y la tercera que es controlada por los gradientes térmicos, cuando el suelo está seco y el flujo de agua transcurre preferentemente en vapor (Giráldez, 1999).

La evaporación puede medirse por medio de evaporímetros, formados básicamente por un recipiente en el que se coloca cierta cantidad de agua y se mide, diariamente o con la frecuencia que se estime conveniente, la altura de evaporación se mide mediante una regleta graduada y colocada dentro de un tubo quietador (Aparicio, 1992).

d) Transpiración

La transpiración vegetal es un fenómeno biológico que consiste en la salida de vapor de agua hacia la atmósfera circundante desde las superficies celulares que, en conjunto al intercambio de dióxido de carbono (CO_2), determinan el balance energético de la hoja y del estado hídrico de la planta. Se trata básicamente de un proceso de evaporación. Sin embargo, difiere de ésta porque la transpiración es modificada por la estructura de la planta y los estomas operan conjuntamente con los principios físicos de difusión (Azcón y Talón, 2008).

La importancia de la transpiración radica en la refrigeración de la planta, ya que, va acompañada de la pérdida de calor de aproximadamente 600 cal. g^{-1} , que ayuda a mantener temperaturas fisiológicamente eficientes a plena luz solar. También influye sobre el crecimiento normal de las plantas, manteniendo el estado de turgencia óptimo, provee un buen sistema de transporte para los minerales que son absorbidos por las raíces, e influye en la fotosíntesis con la apertura de los estomas (Squeo y León, 2007).

La transpiración se da mayormente en el área foliar, aunque una pequeña porción se da en el tallo de plantas jóvenes, principalmente a horas del día, aunque del 5 al 10% se puede dar durante la noche. Los factores que contribuyen a la transpiración son; la humedad del suelo, la densidad de

crecimiento de la planta, la cantidad de luz solar, la temperatura, la fertilidad del suelo y la velocidad del viento (Pereira et al., 2011).

e) **Escorrentía**

Proceso superficial por el cual el agua es transportada por los cursos superficiales (ríos y arroyos), esto puede ocasionar erosión de la superficie de la tierra provocando menor producción de las cosechas. Las aguas de escorrentía, se ven influenciadas por distintos factores, principalmente por la permeabilidad del suelo, la intensidad de la lluvia, la pendiente del terreno y su rugosidad o resistencia. Normalmente se forma cuando la precipitación supera la capacidad de infiltración del suelo (Flores et al., 2003).

Según Bateman (2007), la escorrentía se divide en tres clases:

- **Escorrentía superficial.** Proceso de movimiento del agua sobre las laderas de las montañas, colinas y corrientes superficiales. Se genera cuando los poros de la superficie terrestre son saturados de agua mediante la infiltración, de manera que parte del agua lluvia se escurre superficialmente por acción de la gravedad, hasta llegar al cauce más cercano. El volumen de escorrentía superficial depende de las condiciones climáticas y las características fisiográficas de la cuenca.
- **Escorrentía subterránea.** Parte de la precipitación que provoca saturación en el suelo al infiltrarse y comienza a escurrir lentamente hasta los niveles freáticos para luego emerger a una red hidrográfica.
- **Escorrentía hipodérmica.** Se produce de las precipitaciones que se infiltran en una zona parcialmente saturada y se desliza a través de los horizontes superficiales del suelo que emerge en algún sitio de la superficie ubicado más abajo del punto de infiltración, sin llegar a aumentar el nivel freático.

f) **Evapotranspiración**

La evapotranspiración (ET) resulta de la evaporación desde la superficie del suelo, el agua, la nieve, el hielo y la vegetación, más la transpiración desde las hojas. En un suelo descubierto el agua se pierde principalmente por evaporación directa, mientras que cuando la cobertura vegetal

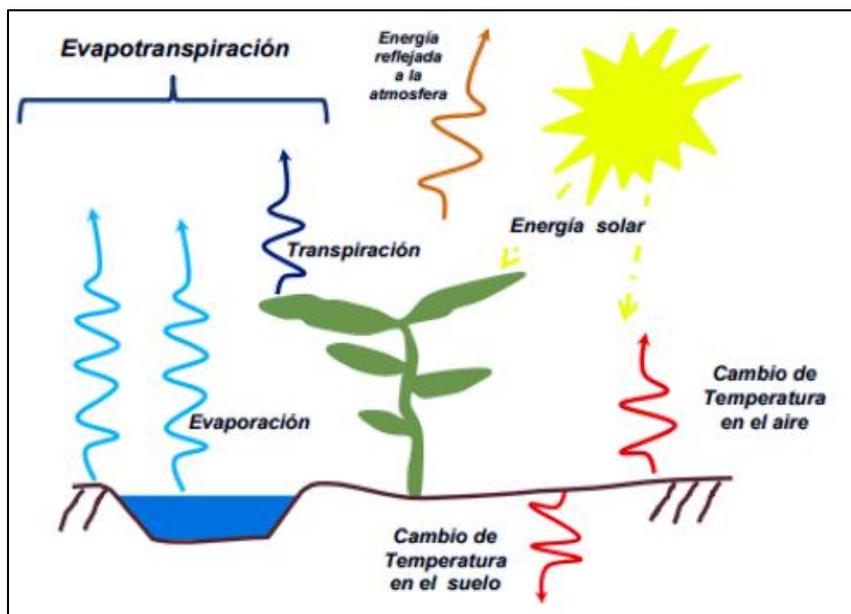
es completa más del 90% de la ET ocurre como transpiración (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO] 2006).

La evapotranspiración se expresa normalmente en milímetros (mm) por unidad de tiempo. Esta unidad expresa la cantidad de agua perdida de una superficie cultivada en unidades de altura de agua, mientras que la unidad de tiempo puede ser en hora, días, mes o incluso el periodo completo del cultivo o plantación o un año (López et al., 2015).

Ortiz (2020) menciona que la tasa de evapotranspiración está controlada por factores climáticos, radiación, temperatura del aire, humedad atmosférica y velocidad del viento; factores de características del suelo, textura, estructura, densidad, composición química, entre otras; y factores vegetales, tipo de plantación, profundidad de las raíces, densidad foliar, altura de las plantas, entre otras (Figura 3).

Figura 3

Componentes de la Evapotranspiración.



Fuente: (Ordoñez, 2011).

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

- **Evapotranspiración potencial (ETP).** Máxima cantidad de agua capaz de ser perdida por una capa continua de vegetación que cubre todo el terreno, cuando la cantidad de agua suministra al suelo es limitada, la pérdida de agua que se desprende del suelo, totalmente cubierto de vegetación, cuando aquel se encuentra perfectamente impregnado de agua. En algunas condiciones la ETP puede ser igual a la evaporación de una superficie de agua. La ETP se usa como un indicador de humedad o aridez climática, se estima a partir de medidas directas tomadas de estanques o lisímetros (Segura y Ortiz, 2017).
- **Evapotranspiración real (ETR).** Es la pérdida de agua por transpiración de las plantas y evaporación del agua disponible en el suelo en un momento determinado (Martín et al., 2015). Depende de la evapotranspiración potencial, la precipitación y la reserva inicial de agua en el suelo del mes anterior. Cuando mayor es la ETR mayor es la formación de biomasa vegetal en la zona y permite cuantificar la disponibilidad del recurso. La ETR puede ser igual o inferior a la ETP debido a la falta de agua en algunos periodos, la variación de la evapotranspiración según el desarrollo de la planta y las variaciones de las condiciones atmosféricas como la humedad, la temperatura, entre otras (Ortiz, 2020).
- **Evapotranspiración de referencia (ET_o).** Es la cantidad de agua evaporada desde la superficie del terreno cubierto totalmente con un cultivo y sin restricciones de agua, se expresa en milímetros por unidad de tiempo, hora, días, mes o año (mm/d) (Terraza, 2008).

g) Almacenamiento del agua

El almacenamiento del agua es la relación entre el agua acumulada y la capacidad de almacenamiento del suelo. El agua almacenada pese a estar en movimiento, permanece en la zona radicular del cultivo el tiempo suficiente para ser absorbida. La cantidad de almacenamiento de agua del suelo es determinada por la capacidad de retención máxima de agua, varía con las características de suelo y el tipo de suelo o pastura considerada (Flores y Allen, 2004).

El almacenamiento se produce cuando en un período de tiempo se producen más entradas de agua que salidas, es así que el agua sobrante alimentará las reservas de suelo. La cantidad de agua almacenada en el suelo se expresa en milímetros (mm) o centímetros (cm) de lámina, varía dependiendo de las características del suelo, cuando se trata de suelo con macroporos el movimiento del agua es más rápido debido a que las partículas del suelo no están unidas y facilitan

su transporte, a diferencia de los suelos con mesoporos y microporos su transporte es limitado debido a que las partículas permanecen llenas de agua (Aparicio, 1992).

h) Déficit hídrico

Bajo condiciones de apropiado contenido de humedad de agua en el suelo todo cultivo tendrá una evapotranspiración máxima, dependiendo de variables atmosféricas como la energía disponible, el déficit de presión de vapor, la velocidad del viento y variables como el porcentaje de cobertura vegetal y la edad. A medida que el suelo se seca, la evapotranspiración máxima disminuye y se convierte en evapotranspiración real (Ramírez et al., 2010).

El déficit hídrico se estima en función de la reducción de la evapotranspiración real respecto a su valor máximo. Se presenta cuando el almacenaje del suelo es inferior al 25% de agua útil (Heinzenknecht et al., 2018).

i) Excedente de humedad en el suelo

Se refiere al contenido de agua del suelo cuando todos los espacios están llenos de agua, se conoce estrés de tipo secundario o hipoxia, es perjudicial para las plantas, puesto que provoca un descenso del O₂, causa asfixia radicular (Heinzenknecht et al., 2018).

2.3.3. Hidrología forestal

Se considera una especialidad de la hidrología que se ocupa del estudio del comportamiento del ciclo hidrológico bajo el ámbito de los ecosistemas forestales, debido a que son escenarios donde se presentan distintas fases del ciclo. Estos contribuyen a mejorar la calidad del agua, puesto que los suelos forestales funcionan como filtros de almacenamiento, reduciendo los niveles de evaporación (Olmos, 2019).

Como la hidrología forestal se encarga de estudiar el comportamiento del ciclo hidrológico con respecto a los ecosistemas forestales, así como la dinámica del mismo, los factores y procesos que intervienen deben estar orientados al manejo de la cobertura vegetal para mantener el papel regulador del bosque, ya que los suelos forestales evaporan niveles muy bajos de agua debido a las condiciones de alta humedad, baja radiación solar y bajo movimiento de aire (Instituto Nacional de Bosques, 2003).

2.3.3.1.Efecto del ecosistema forestal sobre el ciclo hidrológico

La influencia que ejercen los ecosistemas forestales sobre el ciclo hidrológico ha tenido un resurgimiento, debido a que está cubierta vegetal tiene gran relación con la cantidad y calidad de agua producida por una cuenca hidrográfica (Huber et al., 1985).

El bosque, por lo general, regula la proporción de agua que llega al suelo, dependiendo de sus características como especie, densidad, cobertura de copa, edad del rodal y aspectos ambientales. Debido a su denso y profundo sistema radicular, los bosques dotan a los suelos de una mayor capacidad de infiltración, reducen la velocidad de desplazamiento de las aguas superficiales y regulan la humedad del suelo manteniendo una capacidad de almacenamiento aún en épocas de gran humedad (Huber et al., 1985). El consumo de agua por boques con especies naturales de larga duración es menor que los bosques con especies de rápido crecimiento, que puede ser modificado mediante tratamientos silviculturales, mientras en plantaciones forestales se debe transformar sus características (Blanco, 2017).

2.3.3.1.1. Relación entre la vegetación y los flujos del balance hídrico

La vegetación y los flujos del balance hídrico están intrínsecamente relacionados, puesto que ejercen un control significativo sobre el movimiento del agua en las cuencas de drenaje y en la respuesta de los caudales (Valencia y Tobón, 2017). Las plantas son uno de los principales conductores para el retorno de agua terrestre a la atmosfera, a través de la evaporación del agua interceptada por el dosel, que, además determina la cantidad de agua que llega a la superficie del suelo, donde un porcentaje se infiltra y se incorpora a la capa radical, otro se percola debajo de las raíces y otro escurre sobre la superficie del terreno. La proporción de agua retenida por la capa radical es almacenada para para ser usada en el proceso de evapotranspiración planta-suelo, esto depende de las características del suelo y cantidad de lluvia (Cleves et al., 2016).

Huber y Trecaman (2000) mencionan el efecto de la vegetación puede reducir el porcentaje de precipitación alcanzada en el suelo por intercepción. Una plantación de *Pinus radiata* de 15 años de edad a un espaciamiento de $5 \times 4,5$ m puede reducir hasta un 30% el contenido de agua que llega al suelo, mientras que 2,7% se da aporte del escurrimiento fustal.

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación del área de estudio

3.1.1. Ubicación política

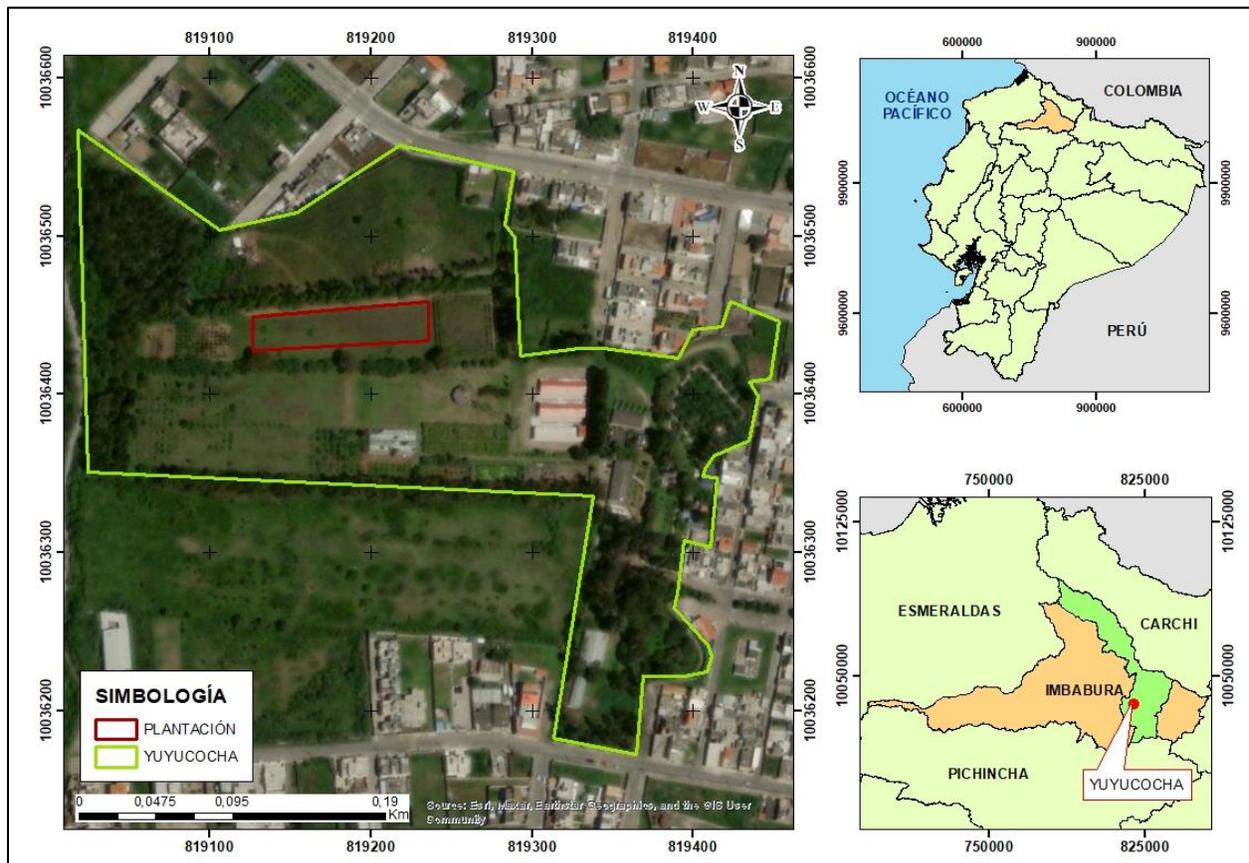
El campus Yuyucocha, perteneciente a la Universidad Técnica del Norte se encuentra ubicada en la provincia de Imbabura, cantón Ibarra, parroquia Caranqui.

3.1.2. Ubicación geográfica

El área de estudio se encuentra en las coordenadas: $70^{\circ}06'32''$ W de longitud y $0^{\circ}21'53''$ N de latitud, a una altitud de 2243 m.s.n.m (Figura 4).

Figura 4

Ubicación del campus Yuyucocha.



3.2. Características edafoclimáticas

3.2.1. Suelo

El suelo del campus Yuyucocha es del orden Inceptisol, es decir están formados por materiales líticos de origen volcánico. Son superficiales a moderadamente profundos, de topografía plana (entre 0 y 12%) con relieves montañosos muy suaves, de textura Franco Arenoso, bajos en materia orgánica y pH neutro (7,42) (Cadena y Enríquez, 2013).

3.2.2. Clima

Clima subtropical, cuya temperatura promedio es de 18,4°C, con una variación menor a 0,3°C, una precipitación media anual es de 589.30 mm y una humedad relativa de 73,9%, con lluvias en épocas de invierno o esporádicas (septiembre a marzo) (Cadena y Enríquez, 2013).

3.3. Materiales, equipos y software

Los materiales de campo, materiales de laboratorio, equipos y software empleados en el desarrollo de la investigación están descritos en la Tabla 1.

Tabla 1

Materiales, equipos y software empleados en el desarrollo de la investigación.

Materiales de campo	Equipos	Software
Machete	Sensor de humedad	ArcGIS 10.8
Hoyadora	GPS	Microsoft Excel
Martillo	Cámara fotográfica	InfoStat
Palancón	Computadora	Microsoft Word
Azadón	Medidor de temperatura	
Cinta métrica	Pluviómetro	
Piola		
Libreta de campo		
Tubos PVC		
Codos para tubo PVC		
Reducciones PVC		
Silicona líquida		
Malla		
Recipientes plásticos		
Madera		
Alambre		

3.4. Metodología

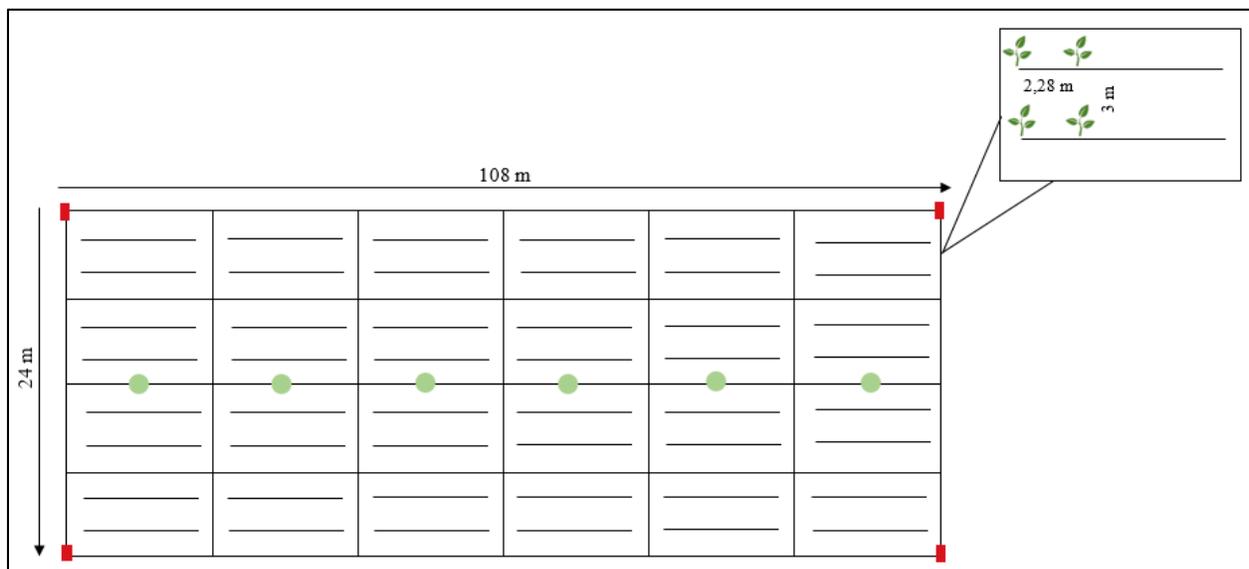
La investigación del presente estudio por el enfoque es de carácter cualitativo y cuantitativo, ya que se recopilaron datos numéricos, por el lugar es de campo, por el objetivo o finalidad es aplicada, por el alcance es descriptiva y por el diseño es una investigación no experimental.

3.4.1. Delimitación del área de estudio

La investigación se realizó en una plantación de *Juglans neotropica* Diels distribuida en un área de 2592 m², donde se encuentran seis parcelas de 18×24 m y un total de 384 plantas a un distanciamiento de 2,28×3 m (Figura 5).

Figura 5

Diseño de la plantación.



3.4.2. Balance hídrico superficial

Para la estimación del balance hídrico superficial se utilizó la ecuación general (Ec. 1) empleada por Gálvez (2011).

$$(Ec. 1) \quad P = ETr + ES + I \pm ALM$$

P: Precipitación

ETr: Evapotranspiración Real

ES: Esguerrimiento Superficial

I: Infiltración

ALM: Almacenamiento de agua del suelo

3.4.2.1.Precipitación

Se empleó dos métodos para medir la precipitación, el primero consistió en tomar registros diarios del sistema de Red de Estaciones Automáticas Hidrometeorológicas del INAMHI, estación meteorológica Ibarra M1240, con coordenadas: 78°07'56'' W de longitud, 0°19'47'' de latitud y 2256 m de altitud, que por motivos externos se logró tomar registros de precipitación hasta el 31 de mayo.

El segundo método fue con un pluviómetro que está ubicado en una zona abierta (libre de vegetación) a 20 m de la plantación. Para su construcción se utilizó una estructura de madera de 1,5 m de largo con una base colocada a 1,30 m de altura, en esta se ubicó un recipiente plástico cilíndrico, donde se colocó una cinta métrica como referencia para medir la cantidad de precipitación (Anexo 1). La medición y registro de datos se realizó diariamente a las 10 de la mañana, desde el 10 de mayo hasta el 31 de diciembre, posteriormente se estimó los datos faltantes mediante un modelo de predicción utilizando los datos históricos de precipitación de la estación meteorológica Ibarra M1240. Después de cada medición se limpió y seco cuidadosamente el recipiente para evitar la presencia de residuos que puedan alterar el nivel de agua recolectada al siguiente día.

3.4.2.2.Infiltración

Al no disponer de infiltrómetros, se aplicó una metodología que permita medir la cantidad de agua infiltrada en el suelo, para lo que se construyó seis tubos en forma de L y se colocó uno en el centro de cada parcela (Figura 6, Anexo 2 y 3). Debido a la textura del suelo se instaló a diferentes profundidades, en la primera, segunda, quinta y sexta parcela a 1 m, mientras que en la tercera y cuarta parcela a 80 cm. Los tubos fueron rellenos con una capa de 10 cm de piedra y la tierra extraída del área donde se introdujo el tubo en el mismo orden en el que se sacó, para medir la cantidad de agua infiltrada se colocó recipientes plásticos, donde se pegó una cinta métrica como

referencia. Además, el hoyo donde se encuentra el recipiente se tapó con madera para evitar la entrada directa de agua lluvia y que ésta pueda alterar significativamente los datos (Figura 7).

La medición y registro de datos se realizó diariamente a las 10 de la mañana, desde el 10 de mayo hasta el 31 de diciembre, posteriormente se estimó los datos faltantes mediante un modelo de regresión múltiple utilizando como variables regresoras la precipitación y la evaporación.

Figura 6

Ubicación de los instrumentos para medir la infiltración.

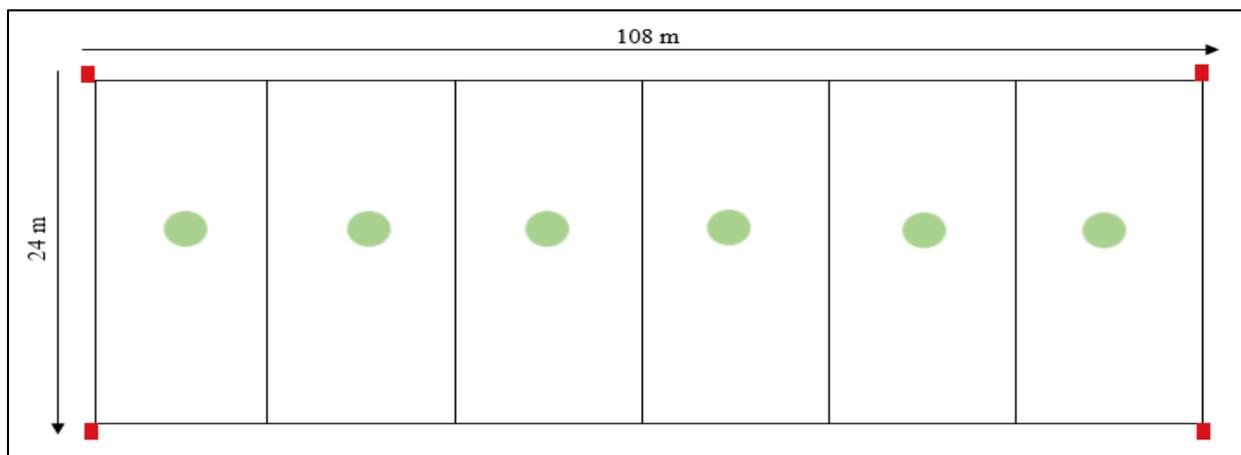
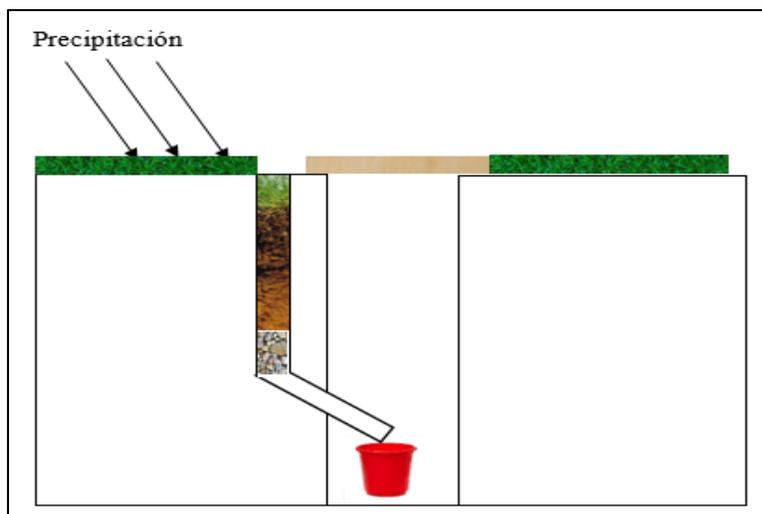


Figura 7

Diseño e instalación de instrumento para medir la infiltración.



3.4.2.3. Almacenamiento de agua en el suelo

El almacenamiento de agua en el suelo se midió con un sensor de humedad con rango de prueba de 10 niveles, donde de 1 a 3 se encuentra en estado seco, de 3 a 7 estado medio y de 7 a 10 húmedo, está conformado por una punta de 10 mm × 4 mm × 4 mm, cuya longitud de onda es de 18 mm, las dimensiones del dispositivo son: 255 mm × 62 mm × 36 mm y un peso neto de 58 g.

La medición y registro de datos se realizó diariamente a las 10 de la mañana, desde el 10 de mayo hasta el 31 de diciembre, posteriormente se estimó los datos faltantes mediante una diferencia entre la precipitación y la evaporación.

Para calibrar el sensor de humedad se sacó una muestra de suelo de la plantación y se dejó secar por un mes hasta que el instrumento marque 1, equivalente a 0 mm de agua (Tabla 2, Anexo 6); posteriormente se fue suministrando determinadas cantidades de agua hasta que cambie de un rango a otro.

Tabla 2

Cantidad de agua que contiene cada rango de humedad.

Rango	Cantidad de agua (mm)
1	0
2	20
3	30
4	40
5	50
6	60
7	70
8	100
9	110
10	120

3.4.2.4. Evapotranspiración potencial

Se estimó con la ecuación (Ec. 2) de Thornthwaite - Mather (Martín et al., 2015).

(Ec. 2)
$$ETP = 16 \times \left(\frac{10T}{I}\right)^a \times D$$

ETP: Evapotranspiración (mm/mes)

T: Temperatura promedio mensual

I: Índice de calor durante 12 meses

a: Factor de modificación

D: Horas de luminosidad (en unidades de 30 días con 12 horas de sol cada una)

Se emplearon dos métodos para medir la temperatura, el primero consistió en tomar registros diarios del sistema de Red de Estaciones Automáticas Hidrometeorológicas del INAMHI, estación meteorológica Ibarra M1240.

El segundo método fue con un medidor de temperatura, tomando registros diarios de temperatura mínima a las 6 de la mañana y temperatura máxima a las 12 de la tarde, desde el 10 de mayo hasta el 31 de diciembre. Posteriormente se estimó los datos faltantes mediante un modelo de predicción utilizando los datos históricos de temperatura de la estación meteorológica Ibarra M1240.

El índice de calor mensual se calculó mediante la ecuación (Ec. 3) de Thorntwaite (Martín et al., 2015).

(Ec. 3)
$$i = \left(\frac{tm}{5}\right)^{1.514}$$

i: Índice de calor mensual

tm: Temperatura media mensual

El índice de calor anual se calculó mediante la ecuación (Ec. 4) de Thorntwaite (Martín et al., 2015).

(Ec. 4)
$$I = \sum(i)$$

I: Índice de calor anual

i: Índice de calor mensual

El factor de modificación se calculó por la ecuación (Ec. 5) de Thorntwaite (Martín et al., 2015).

(Ec. 5)
$$a = 6.75 \times 10^{-7} \times I^3 - 7.71 \times 10^{-5} \times I^2 + 1.792 \times 10^{-2} \times I + 0.49239$$

3.4.2.5. Evapotranspiración real

La evapotranspiración real fue estimada a partir de la diferencia entre la precipitación, la infiltración y el almacenamiento del suelo (Ec. 6) (Torrigo, 2011).

$$(Ec. 6) \quad EVR = P - I - ALM$$

EVR: Evapotranspiración real

P: Precipitación

I: Infiltración

ALM: Almacenamiento del suelo

3.4.2.6. Déficit y excedente hídrico

El déficit hídrico se expresa como el momento de estrés hídrico que sufre la planta (Ec. 7) (Torrigo, 2011).

$$(Ec. 7) \quad DFA = ETP - (P + ALM)$$

DFA: Déficit de agua

ETP: Evapotranspiración potencial

P: Precipitación

ALM: Almacenamiento del suelo

Para calcular el exceso de agua se utilizó la fórmula (Ec.8) de Torrigo (Torrigo, 2011).

$$(Ec. 8) \quad EXA = P - (ETP + ALM)$$

EXA: Excedente de agua

P: Precipitación

ETP: Evapotranspiración potencial

ALM: Almacenamiento del suelo

CAPÍTULO IV

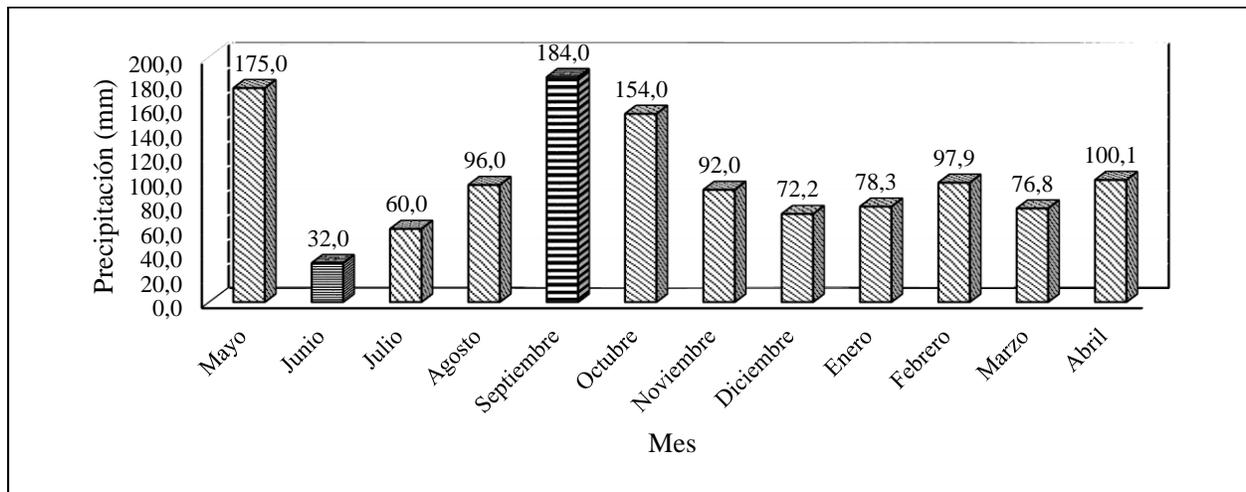
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Precipitación

Durante el período comprendido entre mayo 2022 y abril 2023, la mayor precipitación se registró en el mes de septiembre con 184,0 mm; mientras que junio fue el mes más seco con 32,0 mm, producidos por solo tres eventos de lluvia (Figura 8).

Figura 8

Distribución mensual de la precipitación.



Para estimar los datos faltantes de la precipitación se utilizó un modelo de predicción con los datos históricos del cantón Ibarra (Ec. 9).

$$(Ec. 9) \quad P = (0,6613 \times P_m) + 10,431$$

P: Precipitación

P_m: Precipitación mensual (datos históricos por cada mes)

El modelo de predicción mediante los datos históricos, es un método utilizado para rellenar los valores faltantes de una serie pluviométrica, que propone mantener la relación lineal entre los parámetros que la conforman (Herrera et al., 2017).

El comportamiento de la precipitación en el sitio de la investigación muestra una variación significativa, debido a los cambios repentinos del tiempo, eventos de lluvia que son similares a los

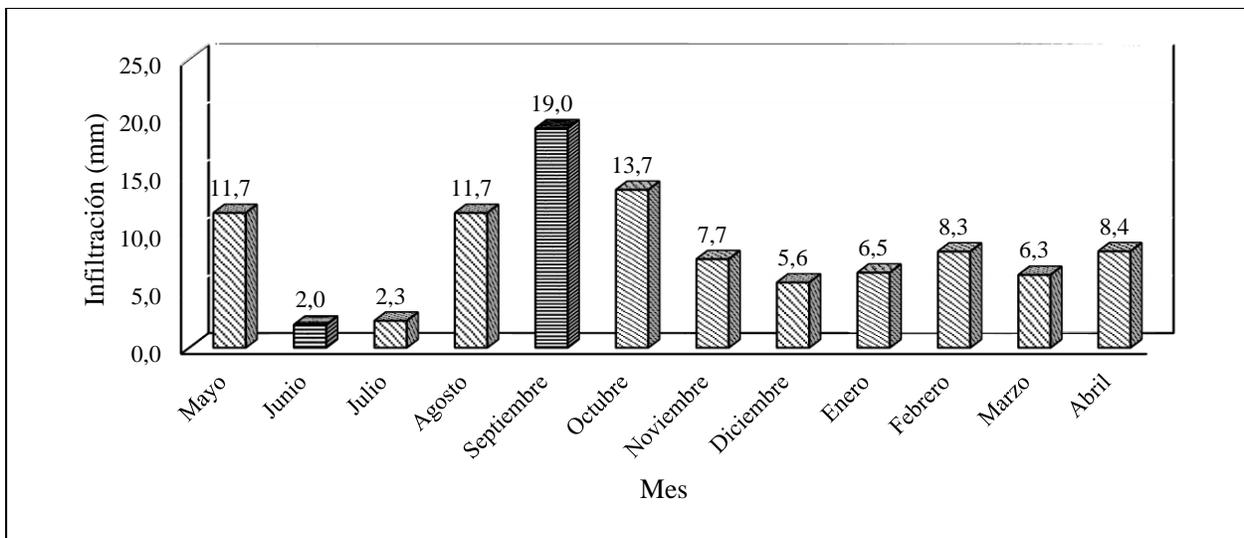
períodos de precipitación señalados por Portilla (2018) para la provincia de Imbabura en el Ecuador; período seco que comprende los meses de junio, julio y agosto; período lluvioso septiembre, octubre, noviembre, diciembre, enero y febrero; y transición de húmedo a seco marzo, abril y mayo. Sin embargo, para Fink et al. (2004) en los últimos años se evidencian cambios súbitos en los períodos de sequía y precipitación, aumentándose la intensidad y duración de las precipitaciones como resultado efecto del cambio climático en diversas partes del mundo incluida Latinoamérica y el Ecuador. En un estudio realizado por León et al. (2021) en el Ecuador las variaciones de la precipitación son más notables en la región sierra, la estación Ambuqui de Ibarra aumento en los últimos años hasta 1,5 mm de precipitación.

4.2. Infiltración

La mayor concentración de infiltración se presenta durante el mes de septiembre con 19,0 mm; mientras que el mes con el menor registro en esta variable es junio con 2,0 mm (Figura 10).

Figura 9

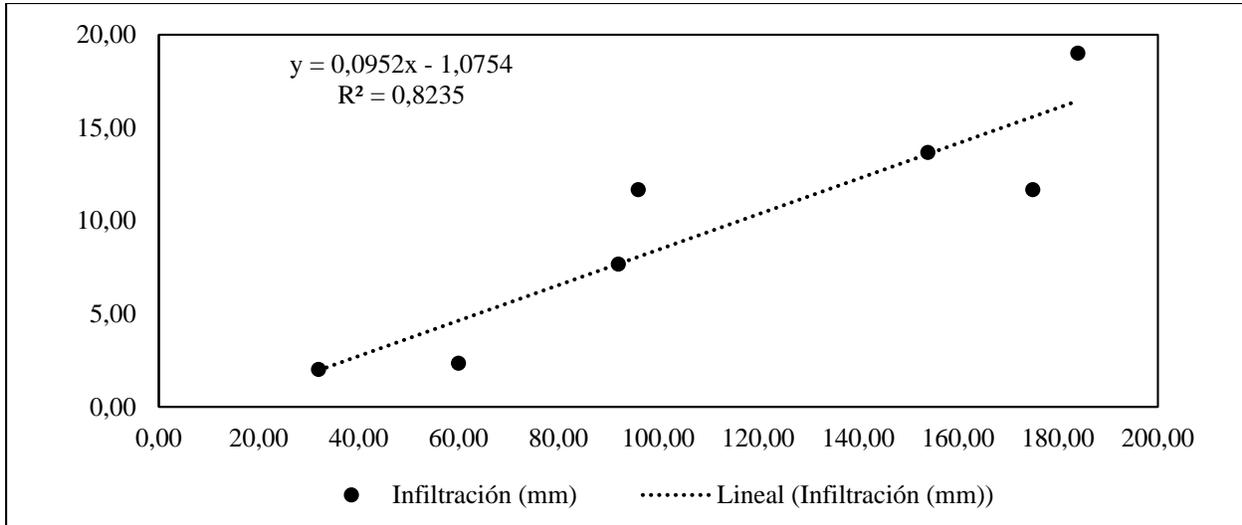
Distribución mensual de la Infiltración.



Para estimar los datos faltantes de la infiltración se utilizó un modelo de regresión múltiple, el cual arrojó un R^2 de 0,82 equivalente al 82% de fiabilidad del ajuste de los datos, lo que significa que existe un ajuste perfecto del modelo de los datos (Figura 9).

Figura 10

Análisis de regresión lineal.



El p-valor de la constante y la evaporación son superior al nivel de significancia ($>0,05$) lo que indica que los cambios en la variable respuesta no están asociadas a la variable regresora y son significativamente diferentes. Por el contrario, el p-valor de la precipitación (0,0138) es menor al nivel de significancia ($<0,05$) lo que significa que existe similitud con la variable regresora (Tabla 3).

Tabla 3

Coefficiente de regresión y estadísticos asociados.

Coefficiente	Est.	E.E.	LI (95%)	LS (95%)	T	p-valor
Constante	-2,89	5,49	-18,14	12,36	-0,53	0,6264
Precipitación (mm)	0,12	0,03	0,03	0,16	4,19	0,0138
Evaporación (mm)	0,05	-0,05	-0,05	0,06	0,38	0,7228

Nota. Est: Estadístico; E.E: Error estándar de la estimación; LI: Límite inferior; LS: Límite superior; T: Valor estadístico; p-valor: Valor de probabilidad.

El análisis de regresión lineal es una técnica utilizada para estudiar la relación entre variables a través de un modelo lógico-matemático formal; además permite realizar predicciones de los valores que tomará una de las variables a partir de los valores de otra (Pereira, 2010). Este modelo es el más utilizado para predecir valores de una variable cuantitativa (Badii et al., 2016).

Durante el período comprendido entre mayo del 2022 y abril del 2023, el mes que registro mayor nivel de precipitación fue septiembre con 184,0 mm, de los cuales 19,0 mm infiltraron en el suelo, equivalentes al 10,33 %. La tasa de infiltración es considerada un indicador de la capacidad del suelo para retener o drenar el agua, se ve influenciada por la topografía del terreno y la cantidad de precipitación, en superficies planas es mayor que en superficies con inclinación (Alfaro et al., 2020); además, cuando mayor es la duración de la precipitación, mayor será la infiltración y no habrá escurrimiento superficial, esto mientras no exista saturación de agua en los poros y se mantenga la buena salud del suelo (Puigdefábregas, 2001).

La tasa de infiltración, además depende del tipo de uso de la tierra, donde las tierras forestales alcanzan el porcentaje, 49,21 %, valor que difiere con el resultado obtenido en la presente investigación debido a las condiciones edafoclimáticas de lugar; seguido de las tierras agrícolas, 43,53 %, y las tierras de pastoreo, 7,26 %, estas variaciones se deben a que las plantaciones instaladas en tierras forestales mejoran considerablemente la estructura del suelo facilitando el movimiento del agua dentro del suelo (Gómez et al., 2014); mismo que es ratificado por Béjar et al. (2021) quien menciona que cuando se plantan árboles, incluidas especies exóticas, se puede mejorar la infiltración del suelo y controlar la erosión. Por otro lado, la velocidad de infiltración varía de acuerdo a la cubierta vegetal y a la textura del suelo; arcilloso menor a 15 %; francos arcillosos entre 15 y 20 %; franco entre 20 y 30 %, franco arenoso entre 30 y 40 % y arenoso mayor a 40 % (Múñoz y Miranda, 1985).

4.3. Escorrentía superficial

La escorrentía superficial en el área de estudio es despreciable (cero), debido a que la topografía del terreno es considerada casi plana, correspondiente al 0 y 12% de pendiente (Cadena y Enríquez, 2013). De acuerdo a Triviño y Ortiz (2004) la escorrentía superficial es la respuesta a las precipitaciones de fuerte intensidad horaria, el porcentaje de escurrimiento superficial varia con la pendiente, el tipo de suelo, las condiciones de la superficie y de la cobertura vegetal (Chiarito et al., 2018). En suelos agrícolas con monocultivo la escorrentía superficial alcanza hasta el 18 % de la precipitación total, seguida por bosques naturales, 4,4 % y bosques plantados con coníferas 0,14

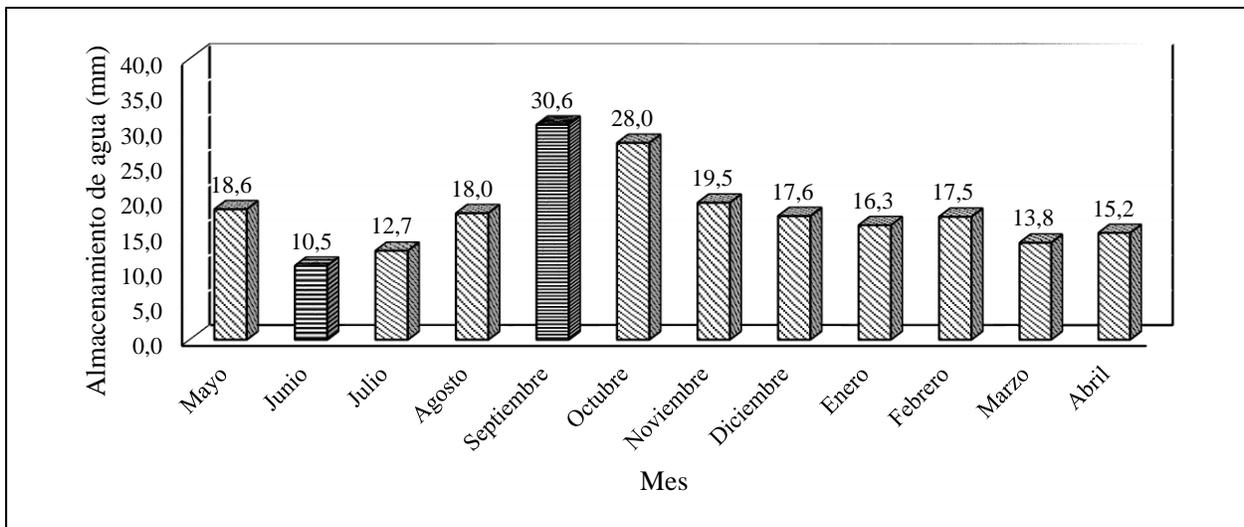
% (Ruiz et al., 2005), valor que discrepa con los resultados obtenidos en la presente investigación, ya se encuentran en diferentes condiciones edáficas y de pendiente.

4.4. Almacenamiento de agua en el suelo

Se ilustra la distribución mensual de la cantidad de almacenamiento de agua en la plantación inicial de *Juglans neotropica* Diels en donde, el mes con mayor concentración es septiembre con 30,6 mm y el mes con menor registro es junio con 10,5 mm (Figura 11).

Figura 11

Distribución mensual del Almacenamiento de agua en el suelo.



Los datos faltantes de almacenamiento de agua en el suelo se estimaron mediante una diferencia entre la precipitación y la evaporación (Ec. 10).

$$(Ec. 10) \quad ALM = P_m - EV_m$$

ALM: Almacenamiento de agua en el suelo

P_m: Precipitación mensual

EV_m: Evaporación mensual

De acuerdo a un estudio realizado en la reserva ecológica El Ángel por Villarroel et al. (2017) destacan que la capacidad de almacenar agua en el suelo se confiere al contenido de materia orgánica y a las características del suelo, además existe una correlación directa entre humedad y pH, ya que cuando mayor sea el grado de acidez del suelo, mayor será la capacidad de

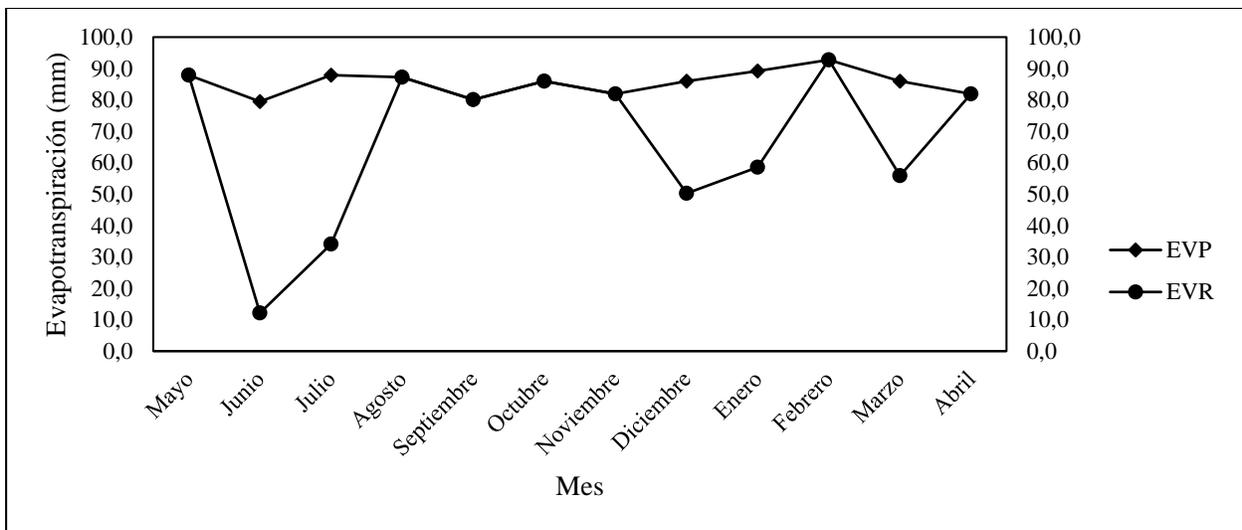
almacenamiento de agua, de hasta un 54%. Bonnesoeur et al. (2019) mencionan que la forestación en suelos degradados incrementa el contenido de materia orgánica y por ende la capacidad de almacenamiento de agua en el suelo, aunque en porciones limitadas. Por otro lado, la capacidad de almacenamiento de agua depende considerablemente del tipo de uso de la tierra, en bosque nativo es mayor con 11,7 %, valor similar a los resultados obtenidos en la presente investigación, esto se debe a que el suelo cubierto por cobertura forestal tiene mejores condiciones estructurales, por ende mayor capacidad de almacenamiento de agua, sin embargo va disminuyendo conforme cambia la cobertura y uso de suelo; seguido por suelos con cobertura de pino, 10,3 % y cultivos agrícolas, 9,8 % (Yaguache, 2022).

4.5. Evapotranspiración potencial y real

El mes con mayor evapotranspiración potencial y real corresponde a febrero con 92,7 mm y junio es el mes con menor EVP con 79,5 mm y EPR es enero con 12,2 mm (Figura 12).

Figura 12

Distribución mensual de la evapotranspiración potencial y real.



Nota. EVP: Evapotranspiración potencial; EVR: Evapotranspiración real.

Además, en la Figura 10 se puede observar que la $EVP = EVR$ en los meses de mayo, agosto, septiembre, octubre, noviembre, febrero y abril, esta igualdad se produce por tener escenarios óptimos en humedad (Sánchez, 2010). La EVP ocurre cuando el suelo dispone de bastante agua para suplirla, se usa como un indicador de humedad y aridez climática; mientras que la EVR se

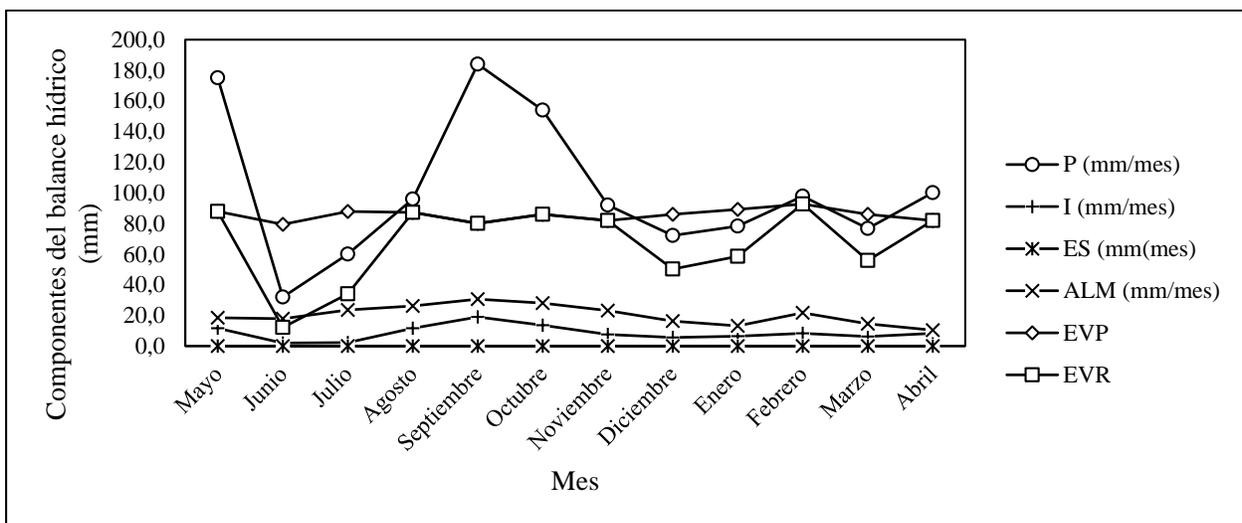
lleva a cabo cuando la reserva de agua del suelo es menor durante los periodos de sequía y permite cuantificar la disponibilidad del recurso (Marín, 2010). La EVP tiende a ser mayor que la EVR cuando las condiciones de humedad del suelo son óptimas, esto depende de las características propias del ecosistema forestal como la etapa de crecimiento, las características del suelo y la humedad (Corporación Nacional Forestal, 1998). De acuerdo a Mestas (2011) la EVP en ecosistemas forestales puede alcanzar una tasa media anual de 63 % valor que discrepa con los resultados arrojados en la presente investigación, ya que se encuentran en condiciones climáticas diferentes, sin embargo, son semejantes a los valores señalados por Sánchez (2010) quien menciona que las áreas con cobertura forestal pueden alcanzar hasta el 92,2 % de evapotranspiración potencial, esto se debe a que los niveles de precipitación son similares en los dos sitios.

4.6. Balance hídrico superficial

Se presentan los datos mensuales de los diferentes componentes del balance hídrico superficial en una plantación inicial de *Juglans neotropica* Diels (Figura 13); sin embargo, no se consideró la pérdida por intercepción debido a que la plantación es bastante joven y no tiene influencia en esta variable.

Figura 13

Balance hídrico superficial de una plantación de Juglans neotropica Diels.



Nota.; P: Precipitación; EVR: Evapotranspiración real; EVP: Evapotranspiración potencial; ES: Esguerrimiento superficial; I: Infiltración; ALM: Almacenamiento de agua en el suelo.

4.7. Déficit y excedente hídrico

Durante el período de estudio comprendido entre mayo 2022 y abril 2023, el mes que registra mayor nivel de déficit hídrico es junio con 29,6 mm; mientras que el mes con mayor excedente hídrico es septiembre con 73,3 mm (Tabla 4).

Tabla 4

Déficit y excedente hídrico del suelo de una plantación de Juglans neotropica Diels.

Año/Mes	2022						2023					
	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr
DFA												
(mm/mes)	0,0	29,6	4,3	17,4	0,0	0,0	13,1	2,6	0,0	0,0	0,0	0,0
EXA												
(mm/mes)	68,6	0,0	0,0	0,0	73,3	40,0	0,0	0,0	6,5	16,6	6,3	7,8

Nota. DFA: Déficit hídrico; EXA: Excedente hídrico.

De acuerdo a Torrico (2011) el déficit hídrico se presenta cuando la cantidad de agua retenida en el suelo disminuye a causa de que la precipitación efectiva es menor que la evapotranspiración potencial, por ende, la tasa de transpiración excede la toma de agua. El déficit se presenta cuando se calcula valores positivos, mientras que cuando son negativos se cuantifican como cero y no solo ocurre cuando hay poca disponibilidad de agua, sino también por bajas temperaturas y por una elevada salinidad del suelo (Moreno, 2009). Por otro lado, el excedente hídrico se presenta cuando la precipitación efectiva es mayor que la evapotranspiración potencial, por consecuencia la humedad del suelo aumentará significativamente, afectando directamente la respiración y funcionamiento metabólico de las plantas (Torrico, 2011).

Kozlowski (1982) hace referencia que en suelos forestales los niveles de déficit hídrico son superiores debido al exceso de transpiración sobre la absorción de agua, como consecuencia afecta directamente en la germinación de semillas, inhiben el crecimiento de brotes, reducen la producción de madera y causa contracción de hojas, tallos, raíces y frutos. De acuerdo a Ferreyra et al. (2001) una plantación de *Juglans* spp puede alcanzar hasta 29,7 mm de déficit hídrico durante los meses secos, valor que tiene similitud al resultado obtenido en la presente investigación, esta semejanza se debe a que en los estudios no existió manejo de riego que permita contrarrestar la

deficiencia del recurso hídrico durante los meses secos. Una estrategia para contrarrestar el déficit hídrico es implementar sistemas de riego que deben ser diseñados y manejados de tal forma que la cantidad de agua sea suficiente para proveer a la evapotranspiración potencial y los requerimientos de lixiviación, el tiempo de riego dependerá de la velocidad de infiltración (Alvear et al., 1999). Además, es importante mantener la gestión hídrica del suelo con el empleo de mantillo sobre la superficie, permitiendo moderar la temperatura del suelo, evitar la evaporación excesiva y el escurrimiento de las lluvias (Dalmaso, 2016).

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Durante el primer año de crecimiento de la plantación de *Juglans neotropica* Diels se determinó que las variables de mayor importancia que constituyen el balance hídrico superficial fueron la precipitación y la evapotranspiración, las cuales permiten definir la disponibilidad de agua para el consumo de la planta.
- La plantación de *Juglans neotropica* Diels presentó déficit hídrico en los meses ecológicamente secos y exceso en los meses de mayor precipitación, esta estimación permite conocer si el consumo de la especie se satisface con la capacidad de almacenamiento de agua en el suelo y a partir de estos planificar el establecimiento y manejo de cualquier plantación forestal.

5.2. Recomendaciones

- Aplicar diferentes metodologías para cuantificar el balance hídrico superficial, que permitan comparar los distintos resultados e identificar si existe una relación entre los valores.
- Desarrollar nuevas investigaciones sobre balance hídrico superficial con especies nativas para conocer el consumo de agua especialmente en etapas iniciales de crecimiento.
- Dar continuidad a la investigación y cuantificar la intercepción de lluvia por la plantación de *Juglans neotropica* Diels.
- Incluir riego en los meses de déficit, para dicho efecto efectuar estudios de velocidad de infiltración y optimización del recurso hídrico.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abrego, D., Agudo, K., Buitrago, N., Rodríguez, A., Torres, K., Vega, I. y Tejedor, A. (2018). Análisis de las curvas de escorrentía mediante el software Surfer 13. *Revista Académica UTP*, 4(1). <https://core.ac.uk/download/pdf/234019725.pdf>
- Alfaro, I., Chavez, J., Cuestas, I., Mejía, C., Landaverde, M. y Campos, S. (2020). Study on infiltration and its relationship with the geology of the Metropolitan Area of San Salvador, El Salvador. *Revista Geológica de América Central*, 63, 40-57. <https://www.redalyc.org/journal/454/45469882003/html/>
- Allen, R., Pereira, L., Raes, D. y Smith, M. (1998). Evapotranspiración de cultivo – Guía para calcular el requerimiento de agua de cultivo.
- Alvear, J., Valarezo, C. y Valarezo, L. (1999). *Manejo de aguas en la cuenca y en la parcela*. CESA. http://cesa.org.ec/wp-content/uploads/2018/07/manejo_del_agua_opt.pdf
- Andrade, C. y Muñoz, C. (2012). *Fundamentos de la climatología*. Universidad de la Rioja. file:///C:/Users/Pc_Student/Downloads/Dialnet-FundamentosDeClimatologia-267903.pdf
- Aparicio, F. (1992). *Fundamentos de la hidrología de superficie*. Editorial Mexicana. file:///C:/Users/Pc_Student/Downloads/Aparicio%20Mijares%20Francisco%20-%20Fundamentos%20de%20Hidrologia%20de%20Superficie.pdf
- Arroyo, M. (2007). El agua en la Atmósfera. *Ciencias*, 36-44.
- Arrueta, M. (2009). Balance hídrico y análisis de las relaciones precipitación-escorrentía en la microcuenca de la Quebrada El Gallo, San Antonio de Oriente. Zamorano, Honduras. <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/259/1/IAD-2009-T003.pdf>
- Azcón, J. y Talón, M. (2008). *Fundamentos de la fisiología vegetal*. Universidad de Barcelona.
- Badii, M., Guillen, A., Cerna, E., Valenzuela, J. y Landeros, J. (2016). Análisis de regresión lineal simple para predicción. *International Journal of Good Conscience*, 7(3), 67, 81. [http://www.spentamexico.org/v7-n3/7\(3\)67-81.pdf](http://www.spentamexico.org/v7-n3/7(3)67-81.pdf)

- Bateman, A. (2007). Hidrología básica y aplicada. *Grupo de Investigación en Transporte de Sedimentos*. <https://www.upct.es/~minaees/hidrologia.pdf>
- Bejár, S., Cantú, I., Yáñez, M. y Luna, E. (2021). Evaluación y predicción de la infiltración en un Andosol bajo diferentes usos de suelo. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 12(7). <https://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v12n7/2007-0934-remexca-12-07-1171.pdf>
- Blanco, J. (2017). Bosques, suelo y agua: explorando sus interacciones. *Ecosistemas* 26 (2): 1-9.
- Bonnesoeur, V., Locatelli, B. y Ochoa, B. (2019). *Impacto de la forestación en el agua y los suelos de los andes: ¿qué sabemos?* Centro de Investigación Forestal Internacional. <https://www.forest-trends.org/wp-content/uploads/2020/06/Impacto-de-la-Forestacion-en-el-Agua-y-Suelos.pdf>
- Bustamante, D. (2019). Determinación de la capacidad de intercepción de agua de niebla y la cantidad aportada al suelo, por plantaciones forestales de *Polylepis racemosa* Ruiz y Pavón en la comuna Zuleta, provincia de Imbabura [Tesis de pregrado, Universidad Técnica del Norte]. Repositorio Digital, <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/8871/1/03%20FOR%20280%20TRABAJO%20DE%20GRADO%20.pdf>
- Bustamante, T. y Zalles, J. (2020). De la parcela al paisaje: restauración forestal en los Andes ecuatorianos. *Editorial FLACSO Ecuador*, Quito.
- Cadena, S. A. y Enríquez, M. G. (2013). *EFFECTO DE Azolla sp., EN LA PRODUCTIVIDAD Y MEJORAMIENTO DEL SUELO EN LA GRANJA EXPERIMENTAL YUYUCOCHA, IMBABURA* [Tesis de pregrado, Universidad Técnica del Norte]. Repositorio Digital, Universidad Técnica del Norte. <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/2068/1/03 RNR 164 TESIS.pdf>
- Chiarito, E., Zimmermann, E. y Méndez, S. (2018). Metodología para la estimación del coeficiente de escorrentía en áreas urbanizadas mediante teledetección. *Cuadernos de Curigram*, 24, 25-36. [file:///C:/Users/Pc_Student/Downloads/Dialnet-MetodologiasParaLaEstimacionDelCoeficienteDeEscorr-7260049%20\(3\).pdf](file:///C:/Users/Pc_Student/Downloads/Dialnet-MetodologiasParaLaEstimacionDelCoeficienteDeEscorr-7260049%20(3).pdf)

- Chicas, R., Vanegas, E. y García, N. (2014). Determinación directa de la capacidad de retención de humedad en suelos de la subcuenca del río Torja, Chiquimula, Guatemala. *Revista Ciencias Técnicas Agronómicas*, 23(1), 41-46.
- Claro, F. (1991). *Balance hídrico*. Instituto Colombiano de Hidrología, Meteorología y Adecuación de Tierras HIMAT. https://www.usanmarcos.ac.cr/sites/default/files/i_taller_apa_7_ed.pdf
- Cleves, J., Toro, J. y Martínez, L. (2016). *Los balances hídricos agrícolas en modelos de simulación agroclimáticos. Una revisión analítica*. <http://www.scielo.org.co/pdf/rcch/v10n1/v10n1a14.pdf>
- Código Orgánico del Ambiente. (2017). *Registro oficial*, 983 (12 de abril del 2017).
- Comité del Agua de Corma. (2015). El agua y las plantaciones forestales.
- Constitución de la República del Ecuador (2008). *Registro oficial*, 449 (20 de octubre de 2008).
- Conti, M. (2007). *Principios de edafología*. Copyright. <https://bibliotecavirtualaserena.files.wordpress.com/2017/05/principios-de-edafologia-conti.pdf>
- Corporación Nacional Forestal. (1998). Estimación de la evapotranspiración actual en bosques. Teoría. *BOSQUES*, 19(1), 111-121. <http://revistas.uach.cl/pdf/bosque/v19n1/art12.pdf>
- Cox, P., Betts, R. 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.
- Dalmasso, J. (2016). *Influencia del déficit hídrico en diferentes etapas fenológicas sobre el rendimiento y calidad del zapallo* [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Cuyo]. file:///C:/Users/Pc_Student/Downloads/INTA_CRMendoza-SanJuan_EEALaConsulta_Dalmasso_J_Influencia_deficit_hidrico_diferentes_etapas_fenologicas_rendimiento.pdf Biblioteca Digital de la UNCUIYO.

- Delgado, M., Gasparin, F. y Senisterra, G. (2017). Infiltration rate in different soil-vegetation complexes in the hilly lands of Ventania, Argentina. *Revista de Tecnología*, 16(1), 157-168.
- Fadda, G. (2017). Introducción a la edafología. *Universidad Nacional de Tucumán*.
- Ferreira, R., Sellés, G. y Sellés, I. (2001). *Riego deficitario controlado en Nogal*. Santiago de Chile, Instituto de Investigación Agropecuaria. [http://bibliotecadigital.fia.cl/bitstream/handle/20.500.11944/146307/riego_deficitario_controlado_nogales_BolINIA58.pdf?sequence=1&isAllowed=y#:~:text=Los%20requerimientos%20netos%20de%20agua,localidad%20considerada%20\(Cuadro%202\).](http://bibliotecadigital.fia.cl/bitstream/handle/20.500.11944/146307/riego_deficitario_controlado_nogales_BolINIA58.pdf?sequence=1&isAllowed=y#:~:text=Los%20requerimientos%20netos%20de%20agua,localidad%20considerada%20(Cuadro%202).)
- Fetter, W. (2001). *Applied Hydrogeology*. Merrill Publishing Company. https://arjzaidi.files.wordpress.com/2015/09/unimasr-com_e7ce669a880a8c4c70b4214641f93a02.pdf
- Fink, A., Brucher, T., Kruger, A., Leckebusch, G., Pinto, J. y Ulbrich, U. (2004). The 2003 European summer heatwaves and drought – synoptic diagnosis and impacts. *Weather*, 59(8). <https://core.ac.uk/reader/33671140>
- Flores, F. y Allen, H. (2004). Efectos del clima y capacidad de almacenamiento de agua del suelo en la productividad de rodales de pino radiata en Chile: un análisis utilizando el modelo 3-PG. *BOSQUE*, 25(3), 11-24. <http://revistas.uach.cl/pdf/bosque/v25n3/art02.pdf>
- Flores, H., Ramírez, H., Byerly, K., Ruiz, J., Martínez, J., Díaz, P. y Alemán, V. (2003). Estimación de escurrimiento superficial en la cuenca El Jihuile, México. *TERRA Latinoamericana*, 21(3), 389-400.
- Gálvez, J. (2011). *Balance Hídrico Superficial*. Lima – Perú: SENAMHI.
- Giraldez, J., Vanderlinden, K. y the Berge, H. (1999). Evaporación del agua del suelo bajo control atmosférico. *Center for Agrobiological Research*, 14(5), 84-699. https://abe.ufl.edu/faculty/carpaena/files/pdf/zona_no_saturada/estudios_de_la_zona_v4/iv-07.pdf

- Gómez, C., Cerrón, R., Mallma, T. y Orihuela, C. (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*, 14(01). file:///C:/Users/Pc_Student/Downloads/Dialnet-EvaluacionDeLaTasaDeInfiltracionEnTierrasAgricolas-5042935.pdf
- Gómez, F., Tarabini, M., Buduba, C., Muller, A. y Manna, L. (2019). Balance hídrico en plantaciones de *Pinus radiata* en el NO de la Patagonia argentina. *Ecología Austral* 29, 261-271.
- Haro, B. (2021). Influencia de la cobertura forestal en el balance hídrico superficial de la reserva hídrica El Paraíso. [Tesis de pregrado, Universidad Técnica del Norte]. Repositorio Digital, <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/11096/2/03%20FOR%20326%20TRABAJO%20GRADO.pdf>
- Heinzenknecht, G., Basualdo, A. y Boragno, S. (2018). *Mapas de riego de déficit y exceso hídrico en los cultivos según escenarios de cambio climático*. <http://www.ora.gob.ar/archivos/MdeR-CC.pdf>
- Herrera, C., Campos, J., Carrillo, F. y González, F. (2017). Estimación de datos faltantes de precipitación por método de regresión lineal: Caso de estudio Cuenca Guadalupe, Baja California, México. *Investigación y Ciencia*, 25(7), 34-44. <https://www.redalyc.org/journal/674/67452917005/html/>
- Huber, A. y Trecaman, R. (2000). Efecto de una plantación de *Pinus radiata* en la distribución espacial del contenido de agua del suelo. *BOSQUE*, 21(1), 37-44. <http://revistas.uach.cl/pdf/bosque/v21n1/art04.pdf>
- Huber, A., Oyarzún, C. y Ellies, A. (1985). Balance hídrico en tres plantaciones de *Pinus radiata* y una pradera, humedad del suelo y evapotranspiración. *Bosque* 6 (2): 74-82.
- Iglesias, R. (2009). Evaluación del balance hídrico en el establecimiento de balsa (*Ochroma pyramidale* Cav), eucalipto (*Eucalyptus urograndis*) y melina (*Gmelina arborea* Roxb) y su efecto sobre la producción de biomasa [Tesis de pregrado, Escuela Politécnica del

- Ejército]. Repositorio de la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE.
<http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/2527/1/T-ESPE-IASA%20II-002308.pdf>
- Instituto Forestal [INFOR]. (2013). *Estado del arte de plantaciones forestales y el agua*.
<https://bibliotecadigital.ciren.cl/bitstream/handle/20.500.13082/26807/FIA-0055.pdf?sequence=1>
- Instituto Nacional de Bosque. (2003). *Metodología para la determinación de áreas críticas de recarga hídrica natural en las cuencas de Guatemala*. Guatemala: INAB.
- Jaramillo, A. (2005). *Clima Andino y café en Colombia*. Editorial Blanecolor Ltda.
<https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/859/10/8.%20Evaporaci%C3%B3n%20evapotranspiraci%C3%B3n.pdf>
- Jullian, C., Nahuelhual, L., Mazzorana, B. y Aguyo, M. (2018). *Evaluación de los servicios ecosistémicos de regulación hídrica ante escenarios de conservación de vegetación nativa y expansión de plantaciones forestales en el centro-sur de Chile*.
<https://scielo.conicyt.cl/pdf/bosque/v39n2/0717-9200-bosque-39-02-00277.pdf>
- Kozlowski, T. (1982). Water supply and tree growth. Part I. Water deficits. Kingdom. *HEDB*, 57-95. <https://www.osti.gov/etdeweb/biblio/6431293>
- León, E., Vásquez, V. y Valderrama, M. (2021). Cambios en patrones de precipitación y temperatura en el Ecuador: región sierra y oriente. *SCIELO*, 8(2).
https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-78902021000400024&script=sci_arttext
- Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Uso y Aprovechamiento del Agua (2014). *Registro oficial*, 305 (06 de agosto del 2008).
- Lima, S. (2011). *Ciclo hidrológico*. Lima: Biblioteca Nacional del Perú.
- Lincoln, M. y Morgan, K. (2013). Interpretación del contenido de la humedad del suelo para determinar la 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 t Ciencias Agrícolas, Universidad de la Florida. (UF/IFAS). <https://edis.ifas.ufl.edu/pdf/AE/AE49600.pdf>*
- López, J., Díaz, T., Watts, C., Rodríguez, J., Castellanos, A., Partida, L. y Velázquez, T. (2015). Evaporación y coeficiente de cultivo de Chile Bell en el valle de Culiacán, México. *TERRA Latina*, 33(3), 209-219.
- Maderey, L. y Jiménez, A. (2000). Alteraciones del ciclo hidrológico en la parte baja de la cuenca del río Lerma por la transferencia de agua a la Ciudad de México. *SCIELO*. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0188-46112001000200003&script=sci_arttext
- Maidment, J. (1993). *Handbook of Hidrology*. United States.
- Manzur, A. y Cardoso, J. (2015). Velocidad de evaporación del agua. *Revista Mexicana de Física*, 61, 31-34.
- Marín, V. (2010). *Evaluación de la relación entre la evapotranspiración potencial teórica y la evaporación registrada en los departamentos de Cundinamarca y Valle del Cauca* [Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Javeriana] Repositorio Institucional. <https://core.ac.uk/download/pdf/71418925.pdf>
- Martín, C., Sosa, J., Maass, M., Luna, J., Meráz, A. y Flores, E. (2015). *Comparación de métodos para estimar disponibilidad hídrica en cuencas forestales*. <https://www.redalyc.org/pdf/573/57335800002.pdf>
- Martínez, A. (2007). El agua en la atmósfera. *Ciencia*, 58(3), 06-546. https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/58_3/PDF/06-546.pdf
- Martínez, P., Martínez, P. y Castaño, S. (2006). *Fundamentos de la hidrología*. Mundi-Prensa. <https://www.geologiaviva.info/wp-content/uploads/2021/01/Fundamentos-de-Hidrogeologia.pdf>
- Mejía, J. (2006). *Hidrología aplicada*. Universidad Nacional Agraria La Molina. https://drive.google.com/file/d/1RecpP_150ADI71M0Gn4P_MW8LkEtT5Kv/view

- Mestas, R. (2011). Régimen hídrico del suelo y evapotranspiración en áreas agrícolas y forestales [Tesis de doctorado, Universidad de Caruña]. Base de datos UDC. https://www.researchgate.net/publication/315072349_Regimen_hidrico_del_suelo_y_evapotranspiracion_en_areas_agricolas_y_forestales_Soil_water_regime_and_evapotranspiration_of_agricultural_and_forestry_areas
- Ministerio del Ambiente y Agua. (2016). *Guía metodológica para la elaboración de balances hídricos superficiales*. https://www.researchgate.net/publication/318646276_Guia_metodologia_para_la_elaboracion_de_balances_hidricos_superficiales_version_resumida
- Moreno, P. (2009). Respuesta de las plantas al estrés por déficit hídrico. Una revisión. *Agronomía Colombiana*, 27(2), 179-191. <http://www.scielo.org.co/pdf/agc/v27n2/v27n2a06.pdf>
- Mosquera, S., Nieto, O. y Tapia, C. (1015). Humedales para la gente: visiones desde lo local. Bogotá, *Instituto de Investigación de recursos biológicos Alexander von Humboldt*. 98.
- Muñoz, I. y Miranda, O. (1985). Manejo de suelo y velocidad de infiltración del agua de riego en un parronal cv. Sultanina. La Platina, 29.
- Muñoz, R. (2004). Hidrología, calidad de aguas y agricultura. El caso del Sur de Florida (EEUU). *Homestead*.
- Olmos, C. (2019). Hidrología de la Ingeniería Forestal. UD Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Ordóñez, J. (2011). ¿Qué es Cuenca Hidrológica? Editora. https://www.gwp.org/globalassets/global/gwpsam_files/publicaciones/varios/cuenca_hidrologica.pdf
- Ordóñez, J. (2011). *Ciclo hidrológico*. Biblioteca Nacional del Perú. https://www.gwp.org/globalassets/global/gwpsam_files/publicaciones/varios/ciclo_hidrologico.pdf

- Ordóñez, J. (2011). *Balance Hídrico Superficial*. Biblioteca Nacional del Perú.
https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam_files/publicaciones/varios/balance_hidrico.pdf
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y 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.
- Ortiz, R. (2020). Métodos de cálculo para estimar la evapotranspiración de referencia para el Valle de Tumbaco. *Redalyc*, 7(1).
- Ospina, C., Hernández, R., Aristizabal, F., Patiño, J. y Salazar, J. (2003). *El cedro negro: una especie promisorio de la zona cafetera*. CINACAFÉ.
<https://www.cenicafe.org/es/publications/bot025.pdf>
- Palacios, W. (2016). *Árboles del Ecuador, Familias y Géneros*. Editorial UTN, Ibarra, Ecuador.
- Pazos, M. y Mayorga, D. (2019). *Hidrología agrícola*. CIDEPRO.
https://www.researchgate.net/profile/David-Mayorga-Arias/publication/338669423_Hidrologia_Agricola/links/5e8c148592851c2f52868483/Hidrologia-Agricola.pdf
- Pereira, A. (2010). *Análisis predictivo de datos mediante técnicas de regresión estadística* [Tesis de maestría, Universidad Complutense de Madrid]. Biblioteca Computense.
https://eprints.ucm.es/id/eprint/11389/1/Analisis_Predictivo_de_Datos.pdf
- Pereira, C., Maycotte, C., Restrepo, M., Mauro, F., Calle, A. y Valverde, M. (2011). *Edafología I*. Universidad del Caldas.
<https://www.uaeh.edu.mx/investigacion/productos/4776/edafologia.pdf>
- Pérez, C., Palacios, Y. y Herrera, J. (2022). Análisis de precipitaciones. *Revista Universidad y Sociedad*, 14 (2), 266-272.
- Portilla, F. (2018). *Agroecología del Ecuador*. Editorial Universitaria Abya-Yala.
file:///C:/Users/Pc_Student/Downloads/Agroclimatologia%20del%20Ecuador.pdf

- Prado, D. (2015). *Plantaciones Forestales. Más allá de los árboles*. Colegio de Ingenieros Forestales de Chile A.G. <https://bibliotecadigital.infor.cl/handle/20.500.12220/20851>
- Puigdefábregas, J. (2001). Factores que controlan las relaciones entre precipitación, escorrentía e infiltración en zona árida y sus implicaciones en la gestión del agua. *Dianet*, 1(84), 29,36. file:///C:/Users/Pc_Student/Downloads/Dialnet-FactoresQueControlanLasRelacionesEntrePrecipitacio-2137966.pdf
- Ramírez, V., Jaramillo, A. y Arcila, J. (2010). Índice para evaluar el estado hídrico en los cafetales. *Cinacafé*, 61(1), 55-66. <https://www.cenicafe.org/es/publications/arc061%2801%29055-066.pdf>
- Rojas, E. (2011). *Los bosques son indispensables para el suministro de agua de calidad*. <https://www.fao.org/news/story/es/item/53463/icode/>
- Rosales, L., Pérez, M., Herrera, J., Gonzáles, J. y Lazo, G. (2020). Efecto del suelo sobre la infiltración en un suelo Ferralítico Rojo compactado. *IAgric*, 10(4). <https://www.redalyc.org/journal/5862/586264983003/html/>
- Ruiz, O., Acosta, J. y León, J. (2005). Escorrentía superficial en bosques montanos naturales y plantados de piedra blanca, Antioquia (Colombia). *Revista Facultad Nacional de Agronomía* *Medellín*, 58(1). http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0304-28472005000100005
- Ruiz, E. y Martínez, M. (2015). *Hidrología aplicada*. OCW. <https://ocw.ehu.eus/course/view.php?id=353&lang=en>
- Sánchez, F. (2010). *Hidrología superficial y subterránea*. Kindle Direct Publishing. <https://hidrologia.usal.es/Libro.htm>
- Santiago, B. (2008). *Introducción a la hidrología*. EdUNLPam. <http://www.unlpam.edu.ar/images/extension/edunlpam/QuedateEnCasa/introduccion-a-la-hidrologia.pdf>

- Santos, G., Faustino, J., Quezada, R. y Indekiu, J. (2018). Determinación del balance hídrico superficial en el suelo, cuenca río Atulapa, modelo de Thorntwaite desarrollado en Python, Esquipulas, Chimula, Guatemala. *Ciencia, Tecnología y Salud*, 5(1), 25-42. file:///C:/Users/Pc_Student/Downloads/jcestrada,+Art.+3(1).pdf
- Sarango, P., Cajamarca, R., Wemple, B. y Delgado, M. (2019). *Estimación del balance hídrico de una Cuenca andina tropical*. La Granja: Revista de Ciencias de la Vida.
- Secretaria Nacional de Planificación (2021). *Plan de Creación de Oportunidades 2021 – 2025*. Quito.
- Segura, M. y Ortiz, C. (2017). Modelación de la evapotranspiración potencial mensual a partir de temperaturas máximas-mínimas y altitud. *Tecnología y Ciencia del Agua*, 8(3), 99-110.
- Sierra, R., Calva, O. y Guevara, A. (2021). *La Deforestación en el Ecuador, 1990-2018. Factores promotores y tendencias recientes*. Ministerio de Ambiente y Agua del Ecuador, Ministerio de Agricultura del Ecuador, en el marco de la implementación del Programa Integral Amazónico de Conservación de Bosques y Producción Sostenible. Quito, Ecuador. 216 pp.
- Squeo, F. y León, M. (2007). Fisiología vegetal. *Universidad de La Serena*, 3, 67-84.
- Tapia, R., Carmona, J. y Martinelli, M. (2020). Velocidad de infiltración e infiltración base en dos comunidades arbustivas del desierto hiper árido de San Juan (Argentina). *Ecosistemas*, 29(3), 2036. file:///C:/Users/Pc_Student/Downloads/2036-Texto%20del%20art%C3%ADculo-8622-1-10-20201219.pdf
- Terraza, R. (2008). Estimación de evapotranspiración de referencia a nivel mensual en Venezuela. *Bioagro*, 20(2), 89-95. <https://www.redalyc.org/pdf/857/85720202.pdf>
- Tituaña, M. y Nicolalde, L. (2019). Aprovechamiento de plantaciones forestales en Imbabura, Ecuador. *Revista Amazónica Ciencia y Tecnología*, 8(2), 98-106.
- Torrico, M. (2011). *Determinación de Balance Hídrico en Microcuencas y Subcuencas*. Cochabamba – Bolivia.

- Toro, E. y Roldán, I. (2018). *Estado del arte, propagación y conservación de Juglans neotropica* Diels, en zonas andinas. *Revista Madera y Bosques*.
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-04712018000100401
- Tuñón, J. (2000). *Determinación experimental del balance hídrico del suelo y evaluación de la contaminación asociada a la práctica agrícola* [Tesis de doctorado, Universidad Jaume I]. Repositorio UJI. <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/10405/tunyon.pdf>
- Úbeda, J. y Delgado, Y. (2018). The infiltration of water into the soil and artificial components and organic matter that are used in them for agriculture. *Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático*, 4(7).
- UNESCO. (2007). *Balance hídrico superficial de Costa Rica*.
<https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000156338.locale=en>
- UNESCO. (2019). Antecedentes de la relación masa forestal y disponibilidad hídrica en Chile. Programa Hidrológico Interaccional.
<https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000370891.locale=en>
- Unigarro, C. (2010). *Patrimonio cultural alimentario*. Ediciones La Tierra, Quito Ecuador.
<https://biblio.flacsoandes.edu.ec/catalog/resGet.php?resId=52870>
- Valencia, J. y Tobón, C. (2017). Influencia de la vegetación en el funcionamiento hidrológico de las cuencas de humedales de alta montaña tropical. *Ecosistemas*, 26(2), 10-17.
file:///C:/Users/Pc_Student/Downloads/1361-Texto%20del%20art%C3%ADculo-5291-1-10-20170801.pdf
- Veintimilla, R., Gamboa, O. y Gallo. (2020). *Potencial de mejoramiento genético en Juglans neotropica* Diels, a los 10 meses de edad en Tunshi, Chimborazo. Knowledge.
- Vera C. y Camilloni, I. (2011). El ciclo del agua. *Explora*.
- Villarroel, M., Chamorro, S., González, M. y Palacios, T. (2017). Almacenamiento de agua y fijación de carbono en reserva ecológica El Ángel y su impacto en el uso del suelo. *Investigación y Desarrollo*, 2(8). [file:///C:/Users/Pc_Student/Downloads/246%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Pc_Student/Downloads/246%20(1).pdf)

- Viramontes, O., Reyes, V., Escobar, L., Román, J., Pérez, A., Pinedo, C., Sánchez, P. y Miranda N. (2008). Hidrología de los suelos de las cuencas media y baja del Río Conchos, Chihuahua, México. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 4(1), 31-45.
- Ward, A. y Trimble, S. (2004), Environmental hydrology. United States of America. Lewis Publishers.
- Yaguache, L. (2022). Humedad y almacenamiento de agua en el suelo en cuatro tipos de cobertura vegetal. *Ciencia y tecnología*, 15(1), 19-24. file:///C:/Users/Pc_Student/Downloads/Dialnet-HumedadYAlmacenamientoDeAguaEnElSueloEnCuatroTipos-8537296%20(1).pdf
- Yáñez, F., Hermoza, M., y Bazán, L. (2017). Caracterización de la infiltración de agua en tres sistemas de uso del suelo de la Comunidad Santiago de Carampoma, Huarochirí, Lima. *Anuales Científicos*, 78(2), 191-199. file:///C:/Users/Pc_Student/Downloads/Dialnet-CharacterizacionDeLaInfiltracionDeAguaEnTresSistema-6232139.pdf

ANEXOS FOTOGRÁFICOS



Anexo 1. Construcción de instrumentos para medir la precipitación.



Anexo 2. Instalación de instrumentos para medir la precipitación.



Anexo 3. Construcción de instrumentos para medir la infiltración.



Anexo 4. Instalación de instrumentos para medir la infiltración.



Anexo 5. Toma de datos de la infiltración.



Anexo 6. Toma de datos del almacenamiento de agua en el suelo.



Anexo 7. Calibración del instrumento para medir el almacenamiento de agua en el suelo.



Anexo 8. Calibración del instrumento para medir la infiltración.