

**Balance hídrico del bosque pluvisilva submontano en el
Departamento de Conservación Ojito de Agua**

Trabajo de Diploma presentado en opción al Título de Ingeniero
Forestal

AUTORA: Marisleydis Arias González

2022

**Balance hídrico del bosque pluvisilva submontano en el
Departamento de Conservación Ojito de Agua**

**Trabajo de Diploma presentado en opción al Título de
Ingeniero Forestal**

AUTORA: Marisleydis Arias González

TUTOR: MSc. Yobanis Osorio Bornot

Pensamiento

Pensamiento

“ La naturaleza se postra ante hombre y le da sus diferencias, para que perfeccione su juicio, sus maravillas, para que avive su voluntad a imitarlas; sus exigencias, para que eduque su espíritu en el trabajo, en las contrariedades, y en la virtud que las vence”.

José Martí

Agradecimientos

Agradecimientos

Para alcanzar un propósito depende en gran medida de nuestro interés y esfuerzo y para eso siempre habrá personas que contribuirán a que tus metas se cumplan, de este modo quisiera agradecer aquellas personas que influenciaron una actitud positiva a mi preparación como futura profesional, a los cuales recordare y estaré eternamente agradecido.

Ante todo, le doy gracias a Dios y a la Virgen de la Caridad por haberme bendecido y dado la posibilidad de estar en estos momentos redactando estas letras y con la satisfacción de graduarme con la máxima preparación.

Agradecer de todo corazón a mi tutor MSc. Yobanis Osorio Bornot, por su entrega y apoyo incondicional en todo momento para que la realización de este trabajo fuese exitosa.

Al Dr. Bárbaro Zabala Laitte por su apoyo durante mi formación

Al profesor Rolando Arteaga, por sus sugerencias y ayuda en este trabajo.

A la Facultad Agroforestal de la Universidad de Guantánamo en especial a todos los profesores de departamento forestal.

Mis familiares, amigos y compañeros por todo el aliento y la confianza que depositaron en mí

A todos muchas gracias y bendiciones

Dedicatoria

Dedicatoria

Me han enseñado a ser la persona que soy hoy, mis principios, mis valores, mi perseverancia y mi empeño por eso quiero dedicar esta obra a:

- ❖ *A los amores de mi vida mis padres Carmen Rosa y a Guillermo por siempre ser mis motores impulsores y nunca dejarme rendir por ellos doy todo lo mejor de mí, para ellos miles de bendiciones los amo con el alma.*
- ❖ *A mis hermanas por nunca dejarme sola cuidarme y darme todo el apoyo para lograr mis metas.*
- ❖ *A mi sobrina Hany que es el mejor regalo que me ha dado la vida, aunque no estés a mi lado todo mi esfuerzo es para que estés orgullosa de tía.*
- ❖ *A mis abuelos porque desde el cielo me bendicen para que su nieta sea una persona con alto nivel profesional y humano.*
- ❖ *A toda mi familia por ser tan unida y siempre apoyarme.*
- ❖ *A Dios y La Virgencita por siempre levantarme cuando sentía duda y crecer como una persona de grandes valores. AMÉN*

Resumen

Resumen

El trabajo se desarrolló en un bosque pluvisilva submontano en el Departamento de Conservación "Ojito de Agua", perteneciente al Parque Nacional Alejandro de Humboldt, ubicado en las coordenadas $20^{\circ}30'29,39''N$, y $74^{\circ}59'28,82''W$, con el objetivo de evaluar el comportamiento del balance hídrico, para el mismo se utilizó el método de THORNTHWAITE & MATHER (1955). Los datos meteorológicos fueron obtenidos a partir de la estación meteorológica # 78334, de Yateras, las propiedades físico-químicas de suelo se obtuvieron en la UCTB Guantánamo. Las temperaturas medias durante el periodo evaluado oscilan entre 21 y $24,9^{\circ}C$, siendo enero el de más bajo valor y agosto el más alto. Existe variación en cuanto a las precipitaciones medias, donde el mes de mayor acumulado es octubre, con 227,3 mm, mientras que febrero es el de más bajo acumulado con solo 62,4mm. La evapotranspiración potencial corregida (ETPc), el mes de octubre el de mayor valor, con 3,32 mm seguido de marzo y agosto con 3,22 y 3,20 mm respectivamente, no existe diferencia significativa entre el resto de los meses. La reserva de Agua (R) es otro de los parámetros que se evalúa, siendo los meses de octubre (3,32mm), diciembre (3,25mm) y marzo (3,22mm) mayor acumulado, mientras que febrero (2,92mm), abril y junio con (3,07mm) aparecen con menos acumulado. De las variables más afectadas del balance hídrico en el bosque pluvisilva submontano se encuentra el almacenamiento de agua (ARM), el déficit (DEF) y la precipitación menos la evapotranspiración potencial corregida ($P - ETPc$).

Palabras claves: Parámetros hidrológicos, bosque pluvisilva, variables meteorológicas

Abstract

Abstract

The work was carried out in a submontane rainforest in the Department of Conservation "Ojito de Agua", belonging to the Alejandro de Humboldt National Park, located in the coordinates 20°30'29,39"N, and 74°59'28,82"W, with the objective of evaluating the behaviour of the water balance, using the method of THORNTHWAITE & MATHER (1955). Meteorological data were obtained from the meteorological station # 78334, Yateras, the physico-chemical properties of the soil were obtained at the UCTB Guantánamo. The average temperatures during the evaluated period range between 21 and 24.9°C, with January being the lowest and August the highest. There is variation in average rainfall, where the month with the highest accumulated rainfall is October, with 227.3 mm, while February is the lowest with only 62.4 mm. The corrected potential evapotranspiration (cPET), the month of October has the highest value, with 3.32 mm, followed by March and August with 3.22 and 3.20 mm respectively, there is no significant difference between the rest of the months. Water reserve (R) is another of the parameters evaluated, with the months of October (3.32 mm), December (3.25 mm) and March (3.22 mm) having the highest accumulation, while February (2.92 mm), April and June (3.07 mm) have the lowest accumulation. Among the most affected variables of the water balance in the submontane rainforest are water storage (ARM), water deficit (DEF) and precipitation minus corrected potential evapotranspiration (P - ETPc).

Keywords: Hydrological parameters, rainforest, meteorological variables.

Índice

I. Introducción.....	1
II. Revisión Bibliográfica	4
2.1. Uso del agua en el mundo	4
2.2- Uso del agua en Cuba	4
2.3. Ciclo hidrológico y las precipitaciones.....	4
2.4 Balance hídrico	5
2.4.1 Características y definición	5
2.4.2 Balance hídrico en cuanto a escala temporal	7
2.4.3. Procedimientos para determinar el balance hídrico	8
2.4.4 Metodologías para la determinación del Balance Hídrico	8
2.4.5 THORNTHWORTE Y MATHER Equilibrio hídrico (1955).....	9
2.5 Consideraciones sobre los componentes Precipitación y evapotranspiración del Balance Hídrico	11
2.5.1 Precipitación	11
2.5.2 Evapotranspiración	11
2.5.3 Lluvia y probable evapotranspiración.....	12
2.5.4 Almacenamiento de agua en el suelo	14
2.5.5 Caracterización del clima	15
2.5.6 Aspectos hidrológicos del uso del agua por los bosques.....	16
2.5.7. Interceptación	17
2.5.8 Transpiración	18
2.5.9 Productividad forestal y eficiencia en el uso del agua.....	19
III. Materiales y Métodos	22
3.1. Ubicación del área de estudio	22
3.2. Características del suelo	22
3.3. Características climáticas	22
3.4. Características de la vegetación	23
3.5. Metodología empleada para el cálculo del Balance Hídrico.....	23
3.5.1 Capacidad máxima de agua disponible	23
3.5.2. Cálculo del Balance hídrico según el método de Thornthwaite y Mather (1955)	24
3.5.3 Modelo para retirada del agua del suelo.....	25
3.5.4. Conferencias para validar los resultados del Balance hídrico.....	28

3.6. Análisis de las propiedades físico-químicas del suelo	23
3.7. Procesamiento matemático de los datos	28
IV. Resultados y Discusión.....	32
4.1. Características de las variables edafoclimáticas del bosque pluvisilva submontano en el Departamento de Conservación Ojito de Agua, durante el periodo 2010-2021	¡Error! Marcador no definido.
4.1.2. Temperaturas medias, mínima y máxima del bosque pluvisilva submontano en el Departamento de Conservación Ojito de Agua, durante el periodo 2010-2021	32
4.1.3. Comportamiento de las precipitaciones media en el Departamento de Conservación Ojito de Agua, durante el periodo 2011-2020	35
4.2. Principales variables que componen el balance hídrico del bosque pluvisilva submontano en el Departamento de Conservación Ojito de Agua, durante el periodo 2011-2021	36
4.2.1. Evapotranspiración Potencial	36
V. Conclusiones	43
VI. Recomendaciones	43

I. INTRODUCCIÓN

Un balance hídrico comprende la cuantificación de los parámetros involucrados en el ciclo hidrológico, así como diversos componentes relacionados con los consumos de agua de los sectores usuarios en una cuenca y la interrelación que guardan entre sí, dando como resultado un diagnóstico de las condiciones reales del recurso hídrico en cuanto a su oferta, disponibilidad y demanda en dicha área (Hernández, 2007).

El recurso hídrico, a nivel nacional, está siendo altamente afectado por la presión humana, agravando cada vez más su disponibilidad (cantidad y calidad). Estos factores de presión son fundamentalmente la sobreexplotación de acuíferos, el vertimiento de sustancias contaminantes a los cuerpos de agua, los cambios en el uso del suelo tales como la deforestación, las prácticas agrícolas inadecuadas, el incremento de urbanizaciones en zonas de producción hídrica, entre otros (Ordoñez, 2011).

Este decrecimiento en la disponibilidad hídrica aunado a un alto índice de crecimiento poblacional, generan conflictos los cuales están incrementando y que tienden a agravarse; si no se toman las medidas necesarias, como la regulación del uso del agua a través de mecanismos de planificación normativas y leyes que permitan su protección y su distribución en forma racional (Flores-López, 2016).

El ciclo hidrológico es un modelo de la circulación de agua que comprende un gran número de movimientos y transformaciones. Se conoce que la vegetación está relacionada con la cuantía, distribución y posibilidad de aprovechamiento de los recursos hídricos (Maxim, 2016).

Dentro del ciclo hidrológico se encuentran muchos pasos. En los ecosistemas forestales, el agua evapotranspirada puede representar entre el 70 y el 90 % del agua de la lluvia, ya que la demanda evaporativa en zonas mediterráneas es superior al agua de lluvia, llegando incluso a duplicar los valores. La demanda evaporativa de la atmósfera se denomina evapotranspiración potencia (Maxim, 2016).

Pero para que el agua sea evapotranspirada tiene que haber quedado retenida en el ecosistema, reteniéndose sobre la vegetación (sobre todo la copa de los árboles o suelo) o almacenándose directamente en el suelo y la vegetación. Estos

dependen directamente de las estructuras susceptibles a ser mojadas y de la naturaleza de la estructura. (Gerrits, 2006) observaron que la vegetación juega un papel importante en la evaporación de la precipitación, debido a que su follaje llega a retener una cantidad de lluvia de 20 al 50 % de la precipitación total. Para zonas tropicales y subtropicales la interceptación se encuentra en el rango de 8.9-39% (Crockford & Richardson, 2000).

El balance hídrico de las cuencas y microcuencas es un buen indicador del impacto que ha tenido la intervención humana en los procesos del ciclo hidrológico, especialmente en la cantidad y calidad del agua de las quebradas y ríos (Dunne y Leopold, 1987).

Barrantes y Vega (2000) señalan que es importante el estudio del balance hídrico para entender las fluctuaciones del caudal de un río o una quebrada durante cierto período; al mismo tiempo permite explicar cómo la lluvia logra alcanzar la superficie terrestre y cómo penetra en el suelo mineral (infiltración) para luego atravesar los diferentes horizontes del suelo (percolación) para llegar a formar partelos acuíferos que son la fuente de caudal para los ríos durante la época seca.

Los Bosques Pluviales o Pluvisilvas (Selvas pluviales, Bosque tropical ombrófilo) se presentan en las zonas de mayor pluviosidad del archipiélago cubano, entre cerca de 2 000 mm en la Sierra de Nipe y 3 600 mm en la cuenca del río Toa. Se presentan diversos tipos de acuerdo a las disimilitudes geológicas y/o edáficas del territorio.

Por todo lo planteado anteriormente se define como:

Problema

¿Cuál es el comportamiento del balance hídrico en el bosque Pluvisilva Submontano del departamento de conservación Ojito de Agua?

Objetivo general

Evaluar el comportamiento del balance hídrico en el bosque Pluvisilva Submontano en el Departamento de Conservación Ojito de Agua

Objeto de estudio:

Parámetros hidrológicos en el bosque pluvisilva submontano

Hipótesis

Caracterizando las variables edafoclimáticas, determinando las principales variables hidrológicas, será posible Identificar las variables más afectadas del balance hídrico en el bosque pluvisilva submontano en el departamento de conservación Ojito de Agua, durante el periodo 2010-2021

Objetivos específicos

1. Caracterizar las variables climáticas del bosque pluvisilva submontano en el departamento de conservación Ojito de Agua, durante el periodo 2010-2021.
2. Determinar las principales variables que componen el balance hídrico del bosque pluvisilva submontano en el departamento de conservación Ojito de Agua, durante el periodo 2011-2021
3. Identificar las variables más afectadas del balance hídrico en el bosque pluvisilva submontano en el departamento de conservación Ojito de Agua, durante el periodo 2010-2021

Revisión bibliográfica

II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. Uso del agua en el mundo

La condición del agua en el mundo es muy preocupante, se estima que en 30 años ceca de 5,500 millones de personas estarán viviendo en zonas con escasez moderada o grave de agua, esta afirmación se torna aún más preocupante, pues se verifica en la literatura la proyección de un 45% de aumento de la población en el periodo 2004-2050, mientras que el volumen de agua disponible se mantendrá sin cambios (Population Reference, 2004).

En el mundo el mayor consumidor de agua es el sector industrial seguido por el sector industrial y el abastecimiento público, parte del agua captada se consume en el proceso, es decir, cuando el volumen total de efluentes es menor que el volumen captado (Gomes, 2005).

2.2. Uso del agua en Cuba

EL Desarrollo hidráulico cubano ha posibilitado utilizar el 57% de los recursos hídricos aprovechables, mediante de la creación de la infraestructura técnica pertinente para incrementar en 200 veces las capacidades de embalse del país y lograr q el 92,4% de toda la población tuviese acceso al agua potable y el 95,8% al saneamiento (Garcia . B (2013).

Según (Mesa & Barrueco, 2009) el 67% del territorio nacional está constituido por formaciones cárcicas y en este porcentaje se localizan las 165 cuencas, zonas y tramos hidrogeológicos más importantes, los cuales cuentan con abundantes recursos y un área acuífera efectiva elevada.

En Cuba los usos del agua se distribuyen de la siguiente manera: el 5% está destinado al sector industrial, el 15% para otros usos, el 20% para la población y el 50% para la agricultura (Mesa & Barrueco, 2009).

2.3. Ciclo hidrológico y las precipitaciones

El ciclo hidrológico o el ciclo de agua son procesos continuos de movimiento y transformación de agua en la hidrosfera. Es un ciclo biogeoquímico ya que intervienen reacciones químicas en las cuales el agua cambia de estado o circula a otro lugar. La mayor reserva de agua se encuentra en forma líquida sobre todo en los océanos y mares, la segunda fracción está en forma sólida, acumulada como

hielo en los casquetes polares. La fracción más pequeña de agua está en estado gaseoso como nubes en la atmósfera (Snet, 2005).

El ciclo hidrológico comienza con la evaporación de agua comprendida en los océanos, mares, ríos, cuerpos de agua y también con la evapotranspiración de las plantas, que es la evaporación en el suelo y transpiración del material vegetal. La evaporación y la transpiración están producidas por la energía que desprende el sol y que estos están determinados por las condiciones climáticas de temperatura, humedad, radiación y viento. Con la energía suministrada el agua en estado líquido pasa a estado gaseoso (vapor de agua) (Snet, 2005).

Esta agua en estado gaseoso, a medida que se eleva, pierde temperatura y se enfría creando pequeñas gotas, transformándose otra vez en agua en un proceso llamado condensación. Estas pequeñas gotas en su circulación se van juntando con más gotas formando así nubes, formando gotas mucho más grandes que por su peso precipitan en forma de lluvia. Esta precipitación puede quedar interceptada por la vegetación o caer directamente en el suelo y condicionado por la cobertura vegetal, tipo de suelo y pendiente del terreno el agua puede infiltrarse, escurrirse superficialmente o quedarse encharcado (Snet, 2005).

El agua que escurre llega finalmente al mar. El agua que se infiltra en el suelo puede quedarse retenida en él, cuya capacidad de retención depende de la textura y estructura, o formar acuíferos o capas de agua subterránea, conocidas como capas freáticas. El agua que se infiltra viaja lentamente y llega a alimentar a ríos y manantiales y finalmente al mar (Snet, 2005).

2.4 Balance hídrico

2.4.1 Características y definición

El balance hídrico es un sistema de contabilidad para monitorear los resultados del agua a partir de la aplicación del principio de conservación de la masa al agua en un volumen de suelo. Permite observar la dinámica del agua en el suelo a partir del almacenamiento, deficiencia y excedentes hídricos (Tucci, 1997).

La planificación hídrica es la base para dimensionar cualquier forma de gestión integrada de los recursos hídricos, así, el balance hídrico permite conocer la necesidad y disponibilidad de agua en el suelo a lo largo del tiempo. El balance hídrico como unidad de gestión, permite clasificar el clima de una región, realizar zonificaciones agroclimáticas y ambientales, el período de disponibilidad y necesidades hídricas en el suelo, además de favorecer la gestión integrada de los recursos hídricos (Lima *et al.*, 2008).

El balance hídrico es una primera evaluación de una región, que determina la contabilización del agua de una determinada capa del suelo donde se definen los períodos secos (déficit hídrico) y húmedo (excedente hídrico) de un determinado lugar, identificando así las zonas donde los cultivos pueden ser explotados con mayor eficacia (Barreto *et al.*, 2009).

El balance hídrico es el método más eficiente para cuantificar el potencial hídrico de una región, ya que considera la interacción entre dos factores edáficos y climáticos. El factor edáfico interfiere con el almacenamiento de agua en el suelo y el factor climático, a su vez, está representado por la lluvia y la evapotranspiración (Moster y Lima, 2003).

Los principales componentes del balance hídrico para definir la demanda y disponibilidad de agua son la precipitación (P), la evapotranspiración real (ETR), la evapotranspiración potencial (ETP), el almacenamiento de agua en el suelo (ARM), el déficit hídrico (DEF) y el excedente de agua (EXC) (Pereira *et al.*, 2002)

El balance hídrico permite conocer la necesidad y disponibilidad de agua en el suelo a lo largo del tiempo. El balance hídrico como unidad de gestión permite clasificar el clima de una región, realizar la zonificación agroclimática y ambiental, el período de disponibilidad y necesidades hídricas en el suelo, además de favorecer la gestión integrada de los recursos hídricos (Santos *et al.*, 2009).

El balance hídrico no es más que el cálculo de las entradas y salidas de agua de un sistema. Se pueden considerar varias escalas espaciales para dar cuenta del balance hídrico. A escala macro, el “balance hídrico” es el propio “ciclo hidrológico”, cuyo resultado nos proporcionará el agua disponible en el sistema (en el suelo, ríos, lagos, vegetación húmeda y océanos), es decir, en la biosfera (Sentelhas *et al.*, 2012).

El balance hídrico es una primera evaluación de una región, que determina la contabilidad hídrica de una capa particular del suelo donde se definen los períodos secos (déficit hídrico) y húmedo (excedente hídrico) (Reichardt, 1990), identificando así áreas donde los cultivos pueden ser explotados con mayor eficacia (Barreto *et al.*, 2009).

Para preparar el BHC, ya sea Normal o Secuencial, es necesario conocer la capacidad de agua disponible del suelo (CAD). La CAD representa la máxima cantidad de agua disponible que puede retener un determinado tipo de suelo en función de sus características físico-hídricas, es decir, humedad de capacidad de campo (FC), humedad de punto de marchitez permanente (PMP), masa específica del suelo (ρ_s) y la profundidad efectiva del sistema radicular (Z_r), donde se concentra alrededor del 80% de las raíces (Costa, 1994)

Antes del propio BHC, existe la necesidad de comprender cómo el método propuesto por T&M (1955) considera la extracción y reposición de agua del suelo. Los autores adoptaron una función exponencial para la remoción de agua del suelo, mientras que la reposición es directa, simplemente sumando al almacenamiento de agua del suelo el saldo positivo del balance entre P y ETP $[(P - ETP) +]$ (Thorntwait *et al.*, 1957).

2.4.2 Balance hídrico en cuanto a escala temporal

En términos de escala, los balances se pueden clasificar en secuenciales (continuos) y cíclicos (Pereira *et al.*, 2002).

El balance hídrico cíclico normalmente utiliza datos promedio para la región, es decir, datos climatológicos normales. Refleja la condición normal del sitio y no tiene en cuenta las eventualidades del clima atmosférico (Hecheverria, 2007).

El balance de agua secuencial o continuo generalmente se realiza durante períodos cortos de tiempo y demuestra la variación de las condiciones locales del agua. Cuanto más corto es el período de estudio, mayor es la interferencia de las variaciones del tiempo meteorológico (Souza, 1994).

El balance hídrico se puede realizar para diferentes períodos de tiempo, que van desde horas hasta años. Las escalas de tiempo más utilizadas son entre diaria y

anual. La elección de una u otra escala temporal depende especialmente de la finalidad de la contabilidad del agua (CINTRA., 2000).

2.4.3. Procedimientos para determinar el balance hídrico

El balance hídrico considera los componentes: *precipitación, evaporación, evapotranspiración, escorrentía superficial y subterránea* (Tucci, 1997). En base a los componentes antes mencionados, se pueden realizar diferentes procedimientos para determinar el balance hídrico, los cuales se pueden clasificar en balances hídricos superficiales, aerológicos, isotópicos, energéticos, balances hídricos de superficies líquidas, modelos matemáticos, balances hídricos agrícolas y climatológicos.

2.4.4 Metodologías para la determinación del Balance Hídrico

Para (Camargo *et al.*, 1990) se puede obtener otra clasificación de los modelos de balance hídrico, cuando el objetivo del monitoreo es cuantificar las necesidades hídricas de los cultivos en sus etapas de desarrollo. Entonces ellos son:

- *Modelos edafológicos:* Se monitorea la condición hídrica del suelo en base al contenido de humedad, determinado por diferentes métodos.
- *Modelos físicos:* Basados en la relación entre el contenido de humedad y la tensión hídrica del suelo. Por lo tanto, la humedad se puede rastrear indirectamente, a través de la tensión del agua del suelo. Uno de los instrumentos más utilizados para la evaluación de la humedad en suelos agrícolas es el tensiómetro.
- *Modelos fisiológicos:* Los modelos fisiológicos relacionan la deficiencia de agua del suelo con las reacciones de las plantas. De esta forma, la planta se convierte en un instrumento para monitorear la condición hídrica del suelo.
- *Modelos Irrigadores:* Utiliza valores de Esto determinados por algún método de estimación (Tanque Clase A, Thornthwaite, Penman, entre otros) y coeficiente de cultivo (Kc) del cultivo para determinar la lámina de agua a aplicar al suelo (ETc). El principal objetivo es mantener la condición hídrica ideal para la planta, es decir, humedad de capacidad de campo (CC).
- *Modelos Climatológicos:* Los modelos climatológicos para la realización del balance hídrico consideran la precipitación y evapotranspiración del cultivo

para determinar potenciales carencias hídricas y realizar la suplementación de forma racional.

La elección del modelo de balance hídrico más adecuado está determinada principalmente por el grado de conocimiento del sistema suelo/planta/atmósfera. Los modelos más complejos son más exigentes en términos de datos de suelo, cultivo y atmósfera, lo que puede hacer inviable su uso (Souza, 2001).

El balance hídrico climatológico es utilizado en numerosos trabajos científicos, adaptándose a las necesidades de cada área de conocimiento. (Thornthwaite, 1948), clasifica el balance hídrico climatológico como una herramienta para la obtención de datos indispensables en los trabajos e investigaciones agro meteorológicas (Camargo *et al.*, 2000).

En general, el balance hídrico climatológico se realiza con los datos climáticos normales de la región, las normas climatológicas que establecen la condición del clima local. Sin embargo, nada impide que se determine a partir de datos instantáneos. La metodología más frecuente del balance hídrico Thornthwaite & Mather (1955). Adoptaron esta metodología de balance hídrico climatológico en varias modalidades de monitoreo (Franke *et al.*, 1997).

2.4.5 Equilibrio hídrico

El balance hídrico climatológico (BHC) fue desarrollado por Thornthwaite & Mather (1955) para determinar el régimen hídrico de un sitio, sin necesidad de mediciones directas de las condiciones del suelo. Para su elaboración es necesario definir el almacenamiento máximo en el suelo (CAD - Capacidad Hídrica Disponible), y tener la medida de la precipitación total, así como la estimación de la evapotranspiración potencial en cada período. Con estos tres datos básicos, el BHC permite deducir la evapotranspiración real, la deficiencia o excedente de agua y la cantidad total de agua retenida en el suelo en cada período (Camargo, 2008).

Este balance es un método que permite la estimación de la evapotranspiración, y el volumen de agua almacenada en el suelo determina la tasa de evapotranspiración real. Cuanto más seco está el suelo, más difícil es para la evapotranspiración (Flores-López, 2016).

Como el suelo es un reservorio que dificulta la salida del agua al secarse, en los períodos en que la precipitación total (P) es menor que la evapotranspiración

potencial (ETP), el agua retenida pasa a ser función de esta demanda potencial. ($P - ETP < 0$) y el CAD adoptado. Si existe una secuencia de periodos en esta condición, el agua retenida en el suelo será una función secuencial de los valores negativos acumulados de $P - ETP$, es decir, de la pérdida potencial acumulada.

Esta suma se denominó "negativo acumulado". Para facilitar la elaboración del balance hídrico Thornthwaite y Mather (1957) presentaron una serie de tablas de agua retenida en función del acumulado negativo para valores CAD que van desde 25 mm hasta 400 mm, debido a que en ese momento la capacidad de cómputo era restringida a máquinas mecánicas de difícil operación (Pereira et al., 2002).

El balance hídrico climatológico desarrollado por Thornthwaite y Mather (1955) permite monitorear la variación del almacenamiento de agua en el suelo, tanto a escala diaria como a escalas mayores, como mensual, utilizando medidas de temperatura del aire y precipitación .

El balance hídrico climatológico se desarrolló inicialmente con el objetivo de caracterizar el clima de una región, para ser utilizada en la clasificación climática desarrollada por Thornthwaite en la década de los 40. Posteriormente, este método comenzó a utilizarse con fines agronómicos, dada la gran interrelación de la agricultura con condiciones climáticas (Angelocci, 2012). El proceso de contabilidad del agua del suelo más utilizado con fines agrícolas es el de Thornthwaite y Mather (1995). El método ha demostrado ser eficiente para programar y definir diversas actividades agrícolas.

El balance hídrico involucra la cuantificación de los componentes del sistema, visando una mejor comprensión de su comportamiento y se basa en el principio de conservación de la masa, siendo analizado por las entradas y salidas de agua del sistema (TUCCI, 2000). Las posibles entradas de agua al sistema incluyen precipitación, rocío, precipitación oculta y ascenso capilar, mientras que las posibles salidas incluyen evapotranspiración, escorrentía superficial, escorrentía subterránea y flujo base.

De acuerdo con la ecuación del balance hídrico, la escorrentía es el balance contable entre la entrada de agua a través de la lluvia y las pérdidas por evaporación. Por lo tanto, cantidades idénticas de precipitación en dos cuencas deberían producir cantidades variables de escorrentía, debido a las diferentes

características físicas de la cuenca. Para evaluar el efecto que tendría cualquier perturbación en una cuenca, primero es necesario conocer las características hidrológicas del ecosistema natural, para luego poder comparar con aquellos en los que hubo intervenciones antrópicas. El análisis de estos aspectos del ecosistema involucra características de clima, geomorfología, suelo, vegetación, escorrentía y evapotranspiración (Zua, 2018).

2.5 Consideraciones sobre los componentes Precipitación y evapotranspiración del Balance Hídrico

2.5.1 Precipitación

La precipitación es ampliamente reconocida por muchos investigadores como la variable climatológica más importante, especialmente en las regiones tropicales. La lluvia representa el principal aporte de agua en un sistema (Pizarro Sangüesa, 2002).

La lluvia representa el principal aporte de agua en un sistema, mientras que el aporte de rocío sólo juega un papel importante en regiones muy áridas, siendo por tanto insignificante. Los aportes de agua por ascenso capilar también son muy pequeños y sólo se dan en lugares con capa freática superficial y en periodos muy secos. Aun así, la contribución de esta variable es pequeña, siendo también despreciable. Por el contrario, los caudales horizontales de agua (R_i , R_o , D_{Li} y D_{Lo}), para zonas homogéneas, se compensan, por tanto, anulándose entre sí. ET es la principal salida de agua del sistema, especialmente en periodos secos, mientras que DP es otra salida de agua del volumen de control del suelo en periodos excesivamente lluviosos (Sentelhas, 2012).

2.5.2 Evapotranspiración

La evapotranspiración es el proceso inverso de la precipitación, ya que explica la pérdida de agua que se evaporó del suelo sumado a la transpiración de las plantas (Camargo, 2008)

La evapotranspiración consiste en el proceso inverso de la precipitación, porque es la contabilización de la pérdida de agua que se evaporó del suelo sumada a la transpiración de las plantas (Mendonça *et al.*, 2003).

La evapotranspiración es la pérdida de agua de una superficie natural, en cualquier condición de humedad y cubierta vegetal (Camargo, 2008).

La evaporación consiste en un proceso físico, directamente relacionado con la disponibilidad de energía en la superficie considerada. La principal fuente de energía para abastecer la demanda de evapotranspiración es la radiación solar. La energía advertida también es una fuente importante de energía para la evapotranspiración, ya que transfiere calor sensible y energía latente desde el área seca hacia el campo de estudio (Arcova, 1996).

La transpiración es un fenómeno biológico, determinado no sólo por las condiciones energéticas del sistema, sino también por las características de la propia planta. La transpiración es directamente proporcional al almacenamiento de agua en el suelo. En condiciones de una atmósfera deficiente en agua, un vegetal. Potencialmente transpira cuando hay suficiente humedad en el suelo (Arcova *et al.*, 1997)

La evapotranspiración, real o potencial, y el déficit hídrico son los parámetros indispensables para determinar la productividad del agua en una determinada región (Hernandez, 1995).

La relación entre la evapotranspiración potencial y la evapotranspiración real de la planta representa el déficit hídrico que se presenta en el suelo, es decir, la humedad del suelo se encuentra por debajo del nivel deseable, provocando que la planta reduzca sus actividades metabólicas, disminuyendo consecuentemente su crecimiento y desarrollo. Esta indisponibilidad de agua es la que debe ser sustituida por lluvias y/o riego para expresar todo el potencial productivo de una especie (Santos *et al.*, 1998).

2.5.3 Lluvia y probable evapotranspiración

El conocimiento de las precipitaciones probables es de sumo interés para el diseño de aliviaderos de presas, canales, desagües pluviales, alcantarillas y presas de abastecimiento de agua y para la planificación agrícola y el diseño de un sistema de riego complementario. La precipitación probable es la precipitación que tiene una probabilidad específica de ocurrencia, basada en una larga serie de datos (Oyarzún *et al.*, (2011)).

La evapotranspiración potencial es un elemento macro meteorológico fundamental, al igual que las precipitaciones. Representa la lluvia teóricamente necesaria para que no haya escasez ni exceso de agua en el sol. Con el balance contable entre

estos dos elementos opuestos, se puede caracterizar bien el factor humedad del clima y estimar la humedad disponible del suelo, a través del balance hídrico climatológico (Camargo *et al.*, 1997).

Para calcular la evapotranspiración potencial se utiliza la fórmula: Etp sin corregir = $16 \times [(10 \times t/l)]^a$; el primer paso es calcular los índices de calor mensuales (i) a partir de los valores de temperatura interpolado (t), utilizando la siguiente fórmula: $i = [t/5]^{1,514}$; con el cálculo de los índices de calor mensuales se obtiene el índice de calor anual: $I = \sum i \text{ mensual}$; el factor $a = 6,75 \times 10^{-7} \times I^3 - 7,71 \times 10^{-5} \times I^2 + 1,792 \times 10^{-2} \times I + 0,49239$. Finalmente, la ETP se corrige considerando las horas de sol y la latitud de la zona de estudio mediante la ecuación: $ETP = ETP \text{ no corregida} \times [(n/12) \times (d/30)]$ donde n es el número de horas de sol dependiendo sobre el mes y latitud y d = número de días del mes (Aparicio, 2008).

La evapotranspiración potencial (ETp), que representa la precipitación requerida, es el proceso de pérdida de agua a la atmósfera, a través de una superficie de césped natural, estándar, sin restricción de agua para satisfacer las necesidades de evaporación y transpiración del suelo (Camargo *et al.*, 2000).

Para Larcher, 2006, los valores de probabilidad son variables y pueden ser adoptados considerando el riesgo económico de reducción en la calidad y cantidad de la producción resultante de la deficiencia de agua causada por la sobrevaloración de las alturas de lluvia. Este principio también puede ser adoptado para valores probables de evapotranspiración, considerando un nivel de probabilidad equivalente al seleccionado para la precipitación probable. Castro *et al.* (2002) para determinar la profundidad óptima de riego con el programa Tobruk utilizaron el nivel de probabilidad del 80% para estimar la precipitación y la evapotranspiración probables.

Oyarzún *et al.* (2011), destacan que el nivel de probabilidad más adecuado para trabajos con probable precipitación en áreas agrícolas no debe ser inferior al 75% u 80%, es decir, una profundidad mínima de agua que puede ocurrir en 3 años, de una secuencia de 4 años.

2.5.4 Almacenamiento de agua en el suelo

La cantidad de agua retenida en el perfil del suelo es importante para el desarrollo de las plantas. El agua se retiene en la superficie de las partículas del suelo. Los suelos con textura arenosa tienen menor capacidad de retención de agua en comparación con los suelos arcillosos y limosos. Esta propiedad está en función de la superficie específica de las costumbres del suelo (Gomes, 2005).

La profundidad del agua almacenada en el suelo también es función de la profundidad del perfil (z) que a su vez determina la dimensión del control. Cuanto más profundo sea el suelo, más agua se retendrá. En los cultivos agrícolas, los cultivos normalmente exploran diferentes horizontes, dependiendo de su sistema radicular, dando variación continua al almacenamiento (Burch *et al.*, 1987).

Del volumen total de agua almacenada en el suelo, la porción de agua capilar comprendida entre las unidades de capacidad de campo y punto de marchitez permanente se denomina CAD. Sin embargo, debido a la variación en el poder de extracción de agua del suelo por parte de las plantas, solo una fracción (p) del CAD está disponible para que las plantas lo absorban sin pérdida de crecimiento. Esta porción se denomina agua disponible (AD) (Souza, 2001).

Para determinar la capacidad de agua disponible (CAD), en un volumen dado de suelo, es necesario conocer la densidad aparente del suelo, la profundidad del perfil explorado por las raíces, así como la humedad en la capacidad de campo y en el punto de marchitez permanente (Camargo *et al.*, 1990).

La humedad de capacidad de campo representa el contenido máximo de agua retenido en el suelo contra la fuerza de la gravedad. En la práctica, la humedad de capacidad de campo se logra saturando y drenando el exceso de agua del perfil del suelo. En suelos permeables de textura media, la condición de capacidad de campo se presenta aproximadamente de 2 a 3 días después de una lluvia o riego (Leopoldo *et al.*, 1985).

El punto de marchitez permanente es el límite mínimo de humedad del suelo en el que las plantas permanecen marchitas y no vuelven a la turgencia cuando se restablece la condición hídrica, lo que impedirá su supervivencia (Pereira *et al.*, 2002).

El almacenamiento de agua en un determinado tipo de suelo a lo largo del tiempo se puede estimar realizando un balance hídrico, tomando medidas de evapotranspiración y lluvia. De esta forma, el agua (DA) estará en función de la cantidad y distribución de las precipitaciones a lo largo del ciclo del cultivo, la tasa de infiltración, la CAD y el tipo de cultivo. La infiltración y la CAD están relacionadas con la porosidad del suelo. La infiltración se ve favorecida por los macro poros y la retención por los micro poros (Silveira *et al.*, 2001).

2.5.5 Caracterización del clima

La preocupación del hombre por los fenómenos que se originan en la atmósfera y que repercuten en la superficie terrestre es tan antigua como su propia percepción del medio ambiente habitado. Desde el inicio de la epopeya humana en la Tierra, el interés por el tiempo y el clima se justifica por la indudable influencia que sus fenómenos y los aspectos inherentes a ellos, ejercen sobre las actividades realizadas por el hombre (Ichiba, 2006).

El clima, como uno de los componentes más importantes del medio natural, puede ser un indicador de degradación ambiental, ya que afecta los procesos geomorfológicos actuales, los de transformación del suelo, el crecimiento y desarrollo de la vegetación y, en consecuencia, los procesos hidrológicos. Desde la década de 1980, la evidencia científica sobre la posibilidad de un cambio climático global ha sido expresiva y esto ha despertado gran interés en el público y la comunidad científica en general (Marengo, 2001).

El Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (Ipcc, 2001) define el cambio climático como cambios temporales en el clima debido a la variabilidad natural y/o los resultados de las actividades humanas. Otros autores adoptan, por el mismo término, la definición de cambios asociados directa o indirectamente a las actividades humanas que alteran la variabilidad natural observada en un período determinado.

En términos generales, la "variabilidad climática" se utiliza para las variaciones en el clima y en función de las condiciones naturales del planeta y de sus interacciones, de ahí la denominación de variabilidad climática natural. El cambio climático serían los cambios en la variabilidad natural del clima debido a las actividades humanas.

Por lo tanto, es necesario identificar si hay un cambio en la variabilidad natural para poder decir que se está produciendo un cambio climático (Back, 2001).

Para la Organización Meteorológica Mundial (OMM), la evolución del comportamiento atmosférico nunca es igual de un año a otro, ni siquiera de una década a otra, siendo posibles fluctuaciones a corto, mediano y largo plazo (Steinke, 2004).

Con la prerrogativa de que el aumento de la cantidad de CO₂ produce un aumento de la temperatura de la atmósfera inferior en un modelo a escala logarítmica, se organizaron varios eventos para discutir el problema del cambio climático global y esto fue implementado, en 1988, por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y por la Organización Meteorológica Mundial (OMM), el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático - IPCC, con el fin de: 1º: evaluar la información científica existente sobre el cambio climático, 2º: evaluar las condiciones ambientales y socioeconómicas impactos del cambio climático y 3º: formulación de estrategias para responder a estos impactos (Steinke, 2004).

Según Steinke (2004), el Primer Informe de Evaluación del IPCC se finalizó en agosto de 1990 y sirvió de base para la negociación de la convención - Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. En 1995, el Panel produjo el Segundo Informe de Evaluación. En este documento se discutió el sistema climático físico, los factores que inducen el cambio climático, el análisis del clima en el pasado, además de sugerir que el balance de la evidencia indica una clara influencia del hombre en el clima a través de las emisiones de gases de efecto invernadero. El Tercer Informe de Evaluación, anunciado oficialmente el 21 de enero de 2001, el IPCC declaró que “existen pruebas nuevas y más sólidas de que la principal causa del calentamiento global observado en los últimos 50 años es atribuible a las actividades humanas”.

2.5.6 Aspectos hidrológicos del uso del agua por los bosques

El uso del agua por las plantas se puede definir, según Benyon (2007), como la pérdida total por evaporación, que resulta de la intercepción, la evaporación del suelo y la transpiración, también conocida comúnmente como evapotranspiración. Aproximadamente dos tercios de la precipitación global regresa a la atmósfera en forma de evaporación, constituyendo el componente principal del ciclo hidrológico

(Wallace, 1995). El uso del agua por las plantas o transpiración (movimiento del agua a través del sistema suelo-planta-atmósfera) es el mecanismo más importante para transferir agua del suelo a la atmósfera cuando el suelo está cubierto por vegetación (Carlesso & Zimmermann, 2000). Aproximadamente el 95% del agua absorbida por las raíces es liberada a la atmósfera por la planta en forma de vapor de agua (Pallardy, 2008).

2.5.7. Intercepción

El problema hidrológico más importante que provocan las plantaciones a nivel local es la interceptación de la precipitación, la cual se puede considerar como una fracción del agua de lluvia que regresa a la atmósfera sin llegar al suelo (Lima, 1993; Ceccon & Martínez-Ramos, 1999). Del total de la precipitación en un ecosistema forestal, una porción es interceptada por el dosel, otra tiene el flujo por el tronco o por el goteo de hojas y ramas, así como también puede pasar por los espacios abiertos del dosel o ser interceptada por la hojarasca en el suelo del bosque (2006).

En los trópicos, la interceptación es un componente importante de la evaporación forestal anual. Los bosques húmedos tropicales pueden convertir, anualmente, el equivalente de prácticamente toda la radiación neta en evaporación. Es poco probable que cualquier otro uso de la tierra se evapore a un ritmo mayor. Por lo tanto, es probable que la conversión de bosques a cultivos anuales en estas áreas, como en la mayoría de las demás áreas del mundo, resulte en flujos anuales más altos de los cursos de agua (Whitehead y Beadle, 2004).

La proporción de lluvia interceptada depende principalmente de las características del bosque y los regímenes de precipitaciones, variando considerablemente entre especies. Según Sánchez, (2020), en promedio, un bosque de pinos capta el 28% de la lluvia en comparación con el 14% de un bosque de eucaliptos. Pérdidas de interceptación en estudios con eucaliptos en Australia, India e Israel, oscilan entre el 10 y el 34% de la precipitación anual (Whitehead y Beadle, 2004). En Brasil, la pérdida de interceptación promedio para *Eucalyptus grandis* de 9 años fue del 11% de la precipitación anual, con mayores pérdidas en períodos secos, cuando la lluvia es menos intensa (Soares & Almeida, 2001).

Por lo tanto, las diferencias fisonómicas y estructurales del dosel pueden influir en la captación de lluvia y, por lo tanto, en el balance hídrico. Las pérdidas por interceptación son generalmente menores en los bosques de frondosas que en los de coníferas; características como un menor albedo y una mayor aspereza del dosel de los bosques de coníferas en comparación con los bosques de hoja ancha pueden explicar esta diferencia, ya que las coníferas tienden a absorber más energía (Benyon, 2007).

Tales diferencias en la captación de lluvia pueden o no ser compensadas por diferencias en la evaporación, transpiración (Van Dijk & Keenan, 2007) e infiltración del suelo. Li (2008), al estudiar el flujo de agua a través del tronco de los arbustos en la región semiárida de China, encontró que puede canalizarse a niveles más profundos en el suelo con arbustos que en sitios sin arbustos, creando condiciones de agua en el suelo favorables para crecimiento de plantas en ambientes con estrés hídrico.

2.5.8 Transpiración

La transpiración en las plantas vasculares ocurre principalmente a través de poros microscópicos en la superficie de las hojas, conocidos como estomas, siendo la regulación de la apertura estomática el principal mecanismo que controla las tasas de transpiración (Larcher, 2006). Según Vincke & Thiry (2008), la vegetación arbórea, por su longevidad y alta capacidad evaporativa, tiene una gran influencia en el ciclo del agua; pudiendo transpirar el 80% de la evapotranspiración potencial bajo demanda evaporativa alta. Así, la demanda evaporativa de la atmósfera, que comprende condiciones climáticas como radiación, déficit de presión de saturación del aire, humedad relativa, velocidad del viento y temperatura; y factores como la conductancia y estructura del dosel, el índice de área foliar y la disponibilidad de agua en el suelo, determinan las pérdidas de agua por transpiración (Cannell, 1999).

En consecuencia, la tasa de transpiración de las plantaciones forestales varía básicamente según la ubicación geográfica, las condiciones ambientales y las especies plantadas. En Chile, Huber & Trecaman (2004), al estudiar la eficiencia en el uso del agua en plantaciones de *Pinus radiata*, observaron que las tasas de transpiración más bajas estaban asociadas a suelos con buena capacidad de

retención de agua, eventos de precipitaciones importantes y cantidades menores de vegetación competidora. Vincke & Thiry (2008), estudiando la evapotranspiración y el contenido de agua del suelo en plantaciones de *Pinus sylvestris* en Bélgica, encontraron que la transpiración máxima de la especie estaba limitada por su índice de área foliar.

En Brasil, Soares & Almeida (2001) concluyeron, para plantaciones en Costa Atlántica con *Eucalyptus grandis*, donde hubo un déficit de transpiración de alrededor de 125 mm, provocado por la concentración de precipitaciones durante primavera y verano, y un período seco más prolongado en otoño e invierno; el flujo ascendente de agua desde la zona debajo de las raíces ayudó a evitar que los estomas se cerraran y mantuvo la plantación de eucaliptos en aproximadamente un 30% de su potencial al final de la estación seca.

En este caso, se puede observar que la transpiración disminuye significativamente al aumentar el déficit hídrico del suelo. Para esta misma región, Mielke (1999) muestra que el intercambio de vapor de agua de las plantaciones de *Eucalyptus grandis* está fuertemente dominado por el déficit de vapor de presión regional y que la transpiración del dosel está controlada principalmente por la conductancia estomática.

2.5.9 Productividad forestal y eficiencia en el uso del agua

Los bosques usan agua en cantidades variables y están influenciados por una gran cantidad de factores, incluidas las condiciones climáticas, los tipos de suelo y la tasa de crecimiento. Para Cannell (1999), las diferencias en la transpiración entre los tipos de bosque generalmente se relacionan positivamente con el volumen de producción, es decir, para condiciones climáticas y nutricionales comparables, mientras más agua transpira, mayor es la tasa de crecimiento de los árboles.

De acuerdo con Whitehead & Beadle (2004), existe un alto potencial de productividad para un gran número de especies, que resulta de altos valores de índice de área foliar, conductancia estomática y tasa fotosintética, en condiciones donde el agua y los nutrientes están fácilmente disponibles. En cambio, en sitios donde el suministro de agua y nutrientes es limitado o se registran temperaturas extremas, la productividad es inferior a la potencial.

El trabajo de Stape (2004), ofrece una mejor comprensión de la relación entre el agua y la productividad. Los autores, al estudiar la producción de eucalipto en un gradiente regional en Brasil, encontraron que la precipitación (mm año^{-1}) era la variable ambiental más fuertemente relacionada con el incremento anual medio ($\text{IMA-Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$) y la producción de biomasa aérea (producción primaria neta – $\text{NPP-Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$), lo que indica que el suministro de agua es probablemente la fuente principal que controla la productividad en las regiones tropicales. Por ejemplo, por cada 100 mm por año de incremento de lluvia, la productividad aumentó en $2,3 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$. Las parcelas más productivas utilizaron más agua (869 mm año^{-1}), pero también fueron las más eficientes en el uso de este recurso ($3,21 \text{ kg de NPP por m}^3 \text{ de agua transpirada}$).

El aumento de la precipitación también aumenta indirectamente la eficiencia del uso de la luz y el nitrógeno al aumentar su eficiencia de captura. Otros estudios realizados en Brasil y en Sudáfrica por Dye (1996), muestran que la precipitación y el déficit de presión de vapor pueden reducir el crecimiento de las plantaciones de eucalipto; la distribución de la precipitación afecta la disponibilidad de agua en el suelo y el déficit de presión de vapor pueden restringir el crecimiento por sus efectos sobre las estomas.

Las teorías eco hidrológicas y la evidencia experimental sugieren una estrecha relación entre la precipitación y el índice de área foliar, y tarde o temprano las plantaciones alcanzan un área foliar y un uso del agua en equilibrio dinámico con la disponibilidad de agua y es independiente del número de árboles o del raleo (Hatton, 1998; Mcjannet & Vertessy, 2001).

En este sentido, Dias et al., 2003 encontró que el crecimiento de los eucaliptos se ve afectado por la edad del rodal, la cual está influenciada por el LAI y el agua disponible. La disminución de LAI con el aumento de la edad explica en parte la reducción en el uso de agua por parte de los árboles al final de la rotación en comparación con 3-4 años.

El déficit hídrico del suelo afecta el uso del agua, ya que los árboles utilizan preferentemente el agua en la capa superior (hasta 1 metro) del suelo, donde se concentran las raíces finas responsables de la absorción de agua. Jarosz (2008), al evaluar la respuesta de una plantación de *Pinus pinaster* en Francia, concluye

que la eficiencia del uso del agua aumenta en verano con el aumento del déficit de agua del suelo y disminuye con el aumento del déficit de vapor de presión.

El dosel de los pinos utiliza el agua de manera más eficiente que el sub-dosel, cuya contribución al uso eficiente del agua de todo el ecosistema es baja. Por lo tanto, las plantas por control de estomas utilizan el agua de manera más eficiente cuando la disponibilidad es menor, un sistema adoptado por otras especies, incluido el ser humano (Jarosz, 2008).

Los datos sobre eficiencia en el uso del agua, publicados en Europa por Schrelzenmayr (1981), muestran que para la producción de 1 gramo de biomasa *Pinus silvestre* utiliza 344 g de agua, *Picea Abies* necesita 300 g y *Fagus silvatica* 169 g de agua.

En Brasil, Lima (1993) describe que la eficiencia en el uso del agua en plantaciones de *Eucalyptus grandis*, *Pinus caribaea* var. *hondurensis* y vegetación de Cerrado, en gramos de madera por kilogramo de agua consumida fueron 2.9, 2.1 y 0.4, respectivamente. Según los autores, sin tener en cuenta las pérdidas por interceptación, la plantación de eucalipto utilizó aproximadamente 215 mm más de agua por año que la vegetación de sabana natural.

Según Whitehead & Beadle (2004), los altos valores de taxa (masa – área) y contenido de nitrógeno para las poblaciones de eucaliptos de sitios áridos sugieren que la alta eficiencia en el uso del agua se atribuye principalmente a la alta capacidad fotosintética.

Materialles y Métodos

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación del área de estudio

El trabajo se desarrolló en el Departamento de Conservación “Ojito de Agua”, ubicado en las coordenadas 20°30′29,39″N, y 74°59′28,82″W, en un bosque pluvisilva submontano con una superficie de 250 hectáreas, en la fecha comprendida de enero a noviembre de 2022.



Figura 1. Ubicación del área de estudio (Fuente: Elaboración propia. Con auxilio de Google Earth Pro.)

3.2. Características del suelo

Según los análisis de suelo realizados a las muestras obtenidas durante el inventario de campo, el tipo de suelo es ferralíticos rojo-púrpura, donde el pH varía de medianamente ácido (5,09) a neutro (6,72), el contenido de fósforo (P_2O_5 (mg/100g)) es catalogada como muy bajo. El contenido de materia orgánica varía desde bajo a muy alto (2,5 – 5,36%), con textura arcillosa, según datos obtenidos en el Laboratorio Provincial de Suelos (Hernández *et al.*, 2015).

3.3. Características climáticas

El Departamento de Conservación Ojito de Agua donde presenta condiciones intermedias entre el clima tropical lluvioso y el clima tropical de sabana, por encontrarse situados más al sur, (Koppen, 1991). Los meses más fríos (enero y febrero) y los más cálidos (julio y agosto) oscilan entre 4°C y 5°C. Los vientos que

más afectan esta área son provenientes del nor-este, con velocidades entre 11 y 20km/h, e incluso entre 21 y 30km/h en las alturas dominantes (Guarat *et al.*, 2021)

3.4. Características de la vegetación

Las especies florísticas más representativas son: *Bonnetia cubensis* (Manglillo), *Pinus cubensis* (pino), *Clusia tetrastigma* (copeicillo), *Sideroxylon jubilla* (Juba prieta), *Hyeronima nipensis*

La pteridoflora de este tipo de vegetación con algunas especies como *Schizaea poeppigiana*, *Lindsaea lancea*, y *Selaginella sp.* La pteridoflora epífita se compone de muchas especies pequeñas o diminutas las cuales no ascienden más allá de los dos metros y casi selectivamente sobre *Bonnetia cubensis* y *Cyathea parvula*, siendo comunes *Grammitis suspensa* y *Schizaea poeppigiana*; es frecuente encontrar epífitos diminutos a menos de un metro del suelo tales como *Grammitis repanda*, *G. serrulata* e *Hymenophyllum polyanthos* (Zabala, 2005)

3.5. Análisis de las propiedades físico-químicas del suelo

Para el estudio de las propiedades del suelo fueron extraídas muestras del suelo en diferentes partes del bosque pluvisilva, las cuales se analizaron en el laboratorio provincial de suelo, determinando las propiedades necesarias para poder determinar la influencia de las mismas en el balance hídrico del bosque en cuestión de estudio (Laboratorio Provincial de Suelos, 2022).

3.6. Metodología empleada para el cálculo del Balance Hídrico

3.6.1 Capacidad máxima de agua disponible

Una vez que el objetivo es evaluar el comportamiento del balance hídrico en el bosque pluvisilva submontano, es impredecible saber cuál es la máxima cantidad de agua que el suelo puede retener en forma líquida. A esa grandeza se le denomina Capacidad Máxima de agua disponible (CAD), la cual se determina mediante la siguiente expresión:

$$CAD = \frac{(CC - PMP) * Da * z}{10}$$

Donde:

CAD = capacidad máxima de agua disponible (mm);

CC = capacidad de campo (%peso);

PMP = punto de marchitez permanente (%peso);

Da = densidad aparente del suelo (g/cm³);

z = profundidad efectiva del sistema radicular de la vegetación (cm).

Para realizar dicho cálculo Israelsen y Hansen (1967), citado por Costa (1994) resumieron algunas propiedades físicas de diversos tipos de suelos (Tabla 1). Que son necesarias para tener con mayor certeza la cantidad de agua almacenada en el suelo.

Tabla 1. Propiedades físicas representativas de algunos tipos de suelos y sus rangos de variación.

Textura del suelo	Da (g/cm ³)	CC (%peso)	PMP (%peso)
Arcilloso	1,25 (1,20-1,30)	35 (31-39)	17 (15-19)

Los valores de la profundidad del suelo se obtienen a partir de los datos determinados según la textura del suelo, lo cuales aparecen relacionados en la tabla 2

Tabla 2. Valores de la profundidad efectiva (Z) para adecuar el cálculo del balance hídrico en función de la textura del suelo y el tipo de cultivo

Textura	Cultivos someros	Cultivos profundos	Árboles frutales y forestales
Arcilloso	100	250	250

3.6.2. Cálculo del Balance hídrico según el método de Thornthwaite y Mather (1955)

Determinar el balance hídrico de un bosque pluvisilva es en esencia, resolver la ecuación de la continuidad para ese bosque, considerándose como un sistema formado por una vegetación variada, y su relación directa con el suelo, donde se asume el agua como un fluido incomprensible “la diferencia entre la cantidad que entra en el sistema y la que sale del mismo sistema es igual a la variación del almacenamiento de agua en este sistema”. De forma analítica se describe de la siguiente forma:

$$\Delta A = E - S \text{ (eq.2)}$$

Donde:

E = entrada de agua en el sistema;

S = salida de agua del sistema;

ΔA = variación del almacenamiento de agua del sistema.

Si se considera apenas el movimiento vertical del agua, lo que entra en este sistema es apenas el agua debido a la precipitación (P), en cuanto la que sale es debido a la evapotranspiración (ETR) y el agua que percola por debajo del sistema radicular de la vegetación es denominada también exceso hídrico (EXC). Se describe en la eq.2 de la forma:

$$ALT = P - (ETR + EXC) \text{ o } P = ETRA + EXC + ALT$$

Donde:

P = precipitación media mensual (mm);

ETR = evapotranspiración real media mensual (mm);

EXC = excesos hídricos, representando la percolación debajo del sistema radicular (mm);

ALT = alteración de la humedad del suelo (ARM), del último día del mes anterior para el último día del mes en estudio.

3.6.3 Modelo para retirada del agua del suelo

El agua del suelo está sujeta a acciones de diversas fuerzas, dentro de las cuales las más importantes son:

- Tensión superficial, que es la responsable de la atracción entre las partículas del suelo y las moléculas de agua;
- Fuerza gravitacional: responsable de la percolación del agua;
- Fuerza de succión de las raíces.

Para calcular la humedad del suelo, si no hubiera aumento de la resistencia del suelo a la pérdida de agua, o sea, si la resistencia fuera siempre aquella en que el suelo está a capacidad de campo. En la práctica ese valor es determinado por la sumatoria de las diferencias de (P-ETP) mensual en la época seca, donde este valor siempre es negativo. Por esa razón, este valor es llamado Negativo Acumulado (Neg. Ac.):

Neg.Ac. = $\Sigma(P-ETP)$; en caso de que (P-ETP) ser negativo, se determina el almacenamiento de agua en el suelo (ARM) por la siguiente ecuación:

$$ARM = CAD e^{(Neg.Ac./CAD)}$$

Para el cálculo del Balance hídrico se llevará a cabo un total de 16 pasos, los cuales se relacionan a continuación:

- **1^{er} Paso:**

Determinar los valores de Temperatura (T) y precipitación (P) para el periodo a evaluar.

- **2^{do} Paso:**

Determinar las medias de temperatura y precipitación del periodo a evaluar.

- **3^{er} Paso:**

Calcular el valor del índice térmico anual (**I**), utilizando a siguiente ecuación:

$$I = 1,049 * (T_{anual})^{1,514}$$

Donde:

I = índice térmico anual (-);

T_{anual} = temperatura media anual.

- **4^{to} Paso:**

Calcular el valor de la constante "α" que depende del sitio o local de estudio, utilizando a siguiente ecuación:

$$\alpha = (6,75 * 10^{-7} I^3 - 7,71 * 10^{-5} * I^2 + 1,792 * 10^{-2} * I + 0,49239)$$

- **5^{to} Paso:**

Calcular la evapotranspiración potencial (EP), utilizando la siguiente ecuación:

$$EP = 16 \left(\frac{t_i}{I} \right)^a$$

Donde:

EP = evapotranspiración potencial (mm);

t_i = temperatura media mensual (°C);

I = índice térmico anual (-);

a = constante que depende del sitio o área de estudio (-).

- **6^{to} Paso:**

Determinar la corrección (Corr) teniendo en cuenta los valores presentes en la tabla 3.2. Para este estudio se tendrá en cuenta la Latitud 20°S

Tabla 3. Valores constantes para la corrección teniendo en cuenta las latitudes y los meses del año,

Latit	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
20°S	1,14	1,02	1,09	1,01	0,99	0,92	0,93	0,94	0,94	1,02	1,03	1,11

- **7^{mo} Paso:**

Determinar la evapotranspiración potencial corregida (ETP) utilizando la siguiente ecuación:

$$ETP = EP * Corr$$

Donde:

ETP = evapotranspiración potencial corregida (mm).

- **8^{vo} Paso:**

Determinar los valores de precipitación menos la evapotranspiración corregida (P-ETP).

- **9^{no} Paso:**

Calcular la capacidad de agua disponible (CAD), utilizando la siguiente ecuación:

$$CAD = \frac{(CC - PMP) * Da * z}{10}$$

- **10^{mo} Paso:**

Determinar el negativo acumulado (Neg.Ac), de acuerdo con los siguientes criterios:

- Si $P - ETP \geq 0$ Neg.Ac = 0
- Si $P - ETP < 0$ Neg.Ac = Neg.Ac_{i-1} + (P - ETP)

- **11^{no} Paso:**

Calcular el almacenamiento de agua en el suelo (ARM), de acuerdo con los siguientes criterios:

- Se Neg.Ac = 0 ARM = CAD
- Se Neg.Ac < 0 ARM = CAD ^[Neg. Ac. /CAD]

- **12^{mo} Paso:**

Calcular la alteración de la humedad del suelo (ALT), utilizando la siguiente ecuación:

$$ALT = ARM_i - ARM_{i-1}$$

- **13^{mo} Paso:**

Calcular la Evapotranspiración real (ETR) de acuerdo con los siguientes criterios:

a) Estación seca:

- Si $(P - ETP) \geq 0$ $ETR = ETP$

- Si $(P - ETP) < 0$ $ETR = P - ALT$

- **14^o Paso:**

Determinar la deficiencia hídrica (DEF), utilizando la siguiente ecuación:

$$DEF = ETP - ETR$$

- **15^o Paso:**

Calcular el excedente hídrico (EXC), teniendo en cuenta los siguientes criterios:

- Cuando $(P - ETP) > 0$ y $ARM = CAD$

$$EXC = (P - ETP) - ALT$$

- **16^o Paso:**

Determinar la reposición de agua (R) de acuerdo con los siguientes criterios:

- Si $ALT \leq 0$ $R = ETR$

- Si $ALT > 0$ $R = ETR + ALT$

3.6.4. Conferencias para validar los resultados del Balance hídrico

Para validar el balance hídrico se hace necesario realizar las siguientes conferencias:

✓ $\Sigma ALT = 0$

✓ $\Sigma ETP = \Sigma ETR + \Sigma DEF$

✓ $\Sigma P = \Sigma ETR + \Sigma EXC$

✓ $\Sigma P = \Sigma ETP + (P - ETP)$

3.7. Procesamiento matemático de los datos

Para el procesamiento de los datos del balance hídrico se elaboró una base de datos en el programa de Microsoft Excel, donde se calcularon cada uno de los parámetros hidrológicos para el bosque pluvisilva submontano, perteneciente al Departamento de Conservación Cupeyal del Norte, mediante la metodología de Thornthwaite y Mather, 1955., utilizando el Software InnerSoft ISBH v0.7

Resultados y Discusión

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Temperaturas medias, mínima y máxima del bosque pluvisilva submontano en el Departamento de Conservación Ojito de Agua, durante el periodo 2010-2021

La figura 2 muestra el resultado de las temperaturas medias del bosque pluvisilva submontano en el departamento de conservación Ojito de Agua, durante el periodo 2010-2021, donde se puede observar que los valores oscilan entre 21 y 24,9°C, siendo enero el de más bajo valor y agosto el de mayor valor.

Resultados similares fueron obtenidos por Caraballo(2019), en un n bosque pluvisilva submontano en el departamento de conservación Cupeyal del Norte, donde los valores oscilan entre 20,1 y 25,4 °C, manteniendo un comportamiento estable durante las diferentes épocas del año, en este caso los valores más bajos se muestran entre los meses de enero y abril ya que coincide con los meses donde más bajos valores se registran de las temperaturas mínimas, siendo además los meses más fríos para la zona en estudio

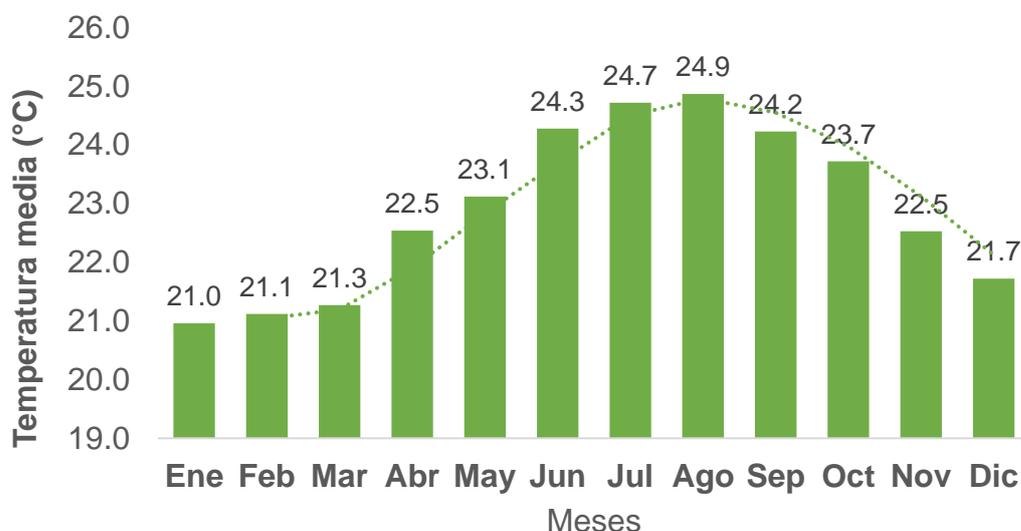


Figura 2. Temperaturas medias del bosque pluvisilva submontano Departamento de Conservación Ojito de Agua, durante el periodo 2010-2021

En la figura 3 se muestran los resultados de las Temperaturas máximas medias del bosque pluvisilva submontano Departamento de Conservación Ojito de Agua, durante el periodo 2010-2021, donde se observa que el valor más alto se presenta en el mes de agosto, con 31°C, el valor más bajo en el mes de enero, mientras que la media máxima oscila entre los 26,5 y 31,1 °C, estableciéndose una diferencia de

4,6°C entro los valores de la temperatura máxima media. Estos valores son similares a los expuesto por Fong, *et al.*, 2005, donde plantean que la diferencia en temperatura entre los meses más fríos (enero y febrero) y los más cálidos (julio y agosto) oscilan entre 4° y 5°C.

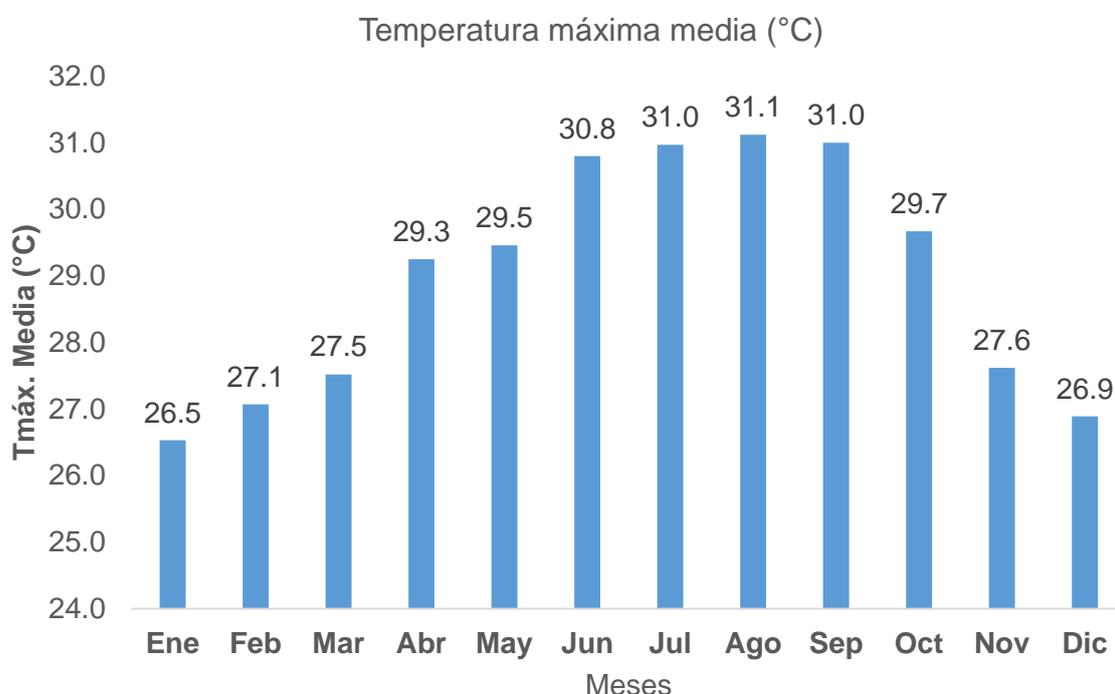


Figura 3. Temperaturas máximas medias del bosque pluvisilva submontano Departamento de Conservación Ojito de Agua, durante el periodo 2010-2021

En la figura 4 se muestran los valores de las temperaturas mínimas medias (°C) del bosque pluvisilva submontano en Departamento de Conservación Ojito de Agua, durante el periodo 2010-2021, donde se observa que los meses más fríos son de enero (16,87 °C), febrero (16,53 °C) y marzo (16,45°C), mostrando una diferencia de 2,05°C entre la temperatura mínima media más baja (16,45°C), y la temperatura mínima media más alta (20,69°C) correspondiente al mes de agosto.

En estudio similar realizado por Caraballo (2019), en los resultados obtenidos, las temperaturas mínimas varían desde 14,65 hasta 17,12 °C, siendo los meses de enero a marzo los de más bajo valor. El mismo autor plante a que el resto de los meses hay una estabilidad en cuanto a los valores mínimos alcanzados, oscilando entre 17,63 y 18,83 °C.

Según Giraldo, L. (2002), citado por Caraballo (2019) plantean que de forma general la temperatura es un factor influyente en el microclima del bosque, la cual a su vez es dependiente de los valores de radiación incidente. Según Richards (1952) el sotobosque exhibe un rango de temperatura más pequeño que los niveles superiores del bosque, debido a que las temperaturas mínimas presentan poca variación con el perfil del bosque. Se presenta un gradiente de temperatura a partir de los estratos inferiores, puesto que la temperatura en las horas del mediodía llega a ser 2 o 3 grados más bajas en el sotobosque que en las copas de los árboles del estrato superior.

Varios investigadores han realizado estudios sobre el comportamiento de la temperatura en bosques húmedos tropicales: Cachan y Duvan (1963), Schultz (1960), Longman y Jenik (1970). Hardy (1970) afirma que cuando se elimina la cobertura forestal la temperatura media anual del aire incrementa en 0,9 °C, la temperatura media máxima del aire aumenta 6 °C en época seca y 4,3 °C en época húmeda, la fluctuación media diaria de la temperatura del aire aumenta de 9,7 °C a 18 °C.

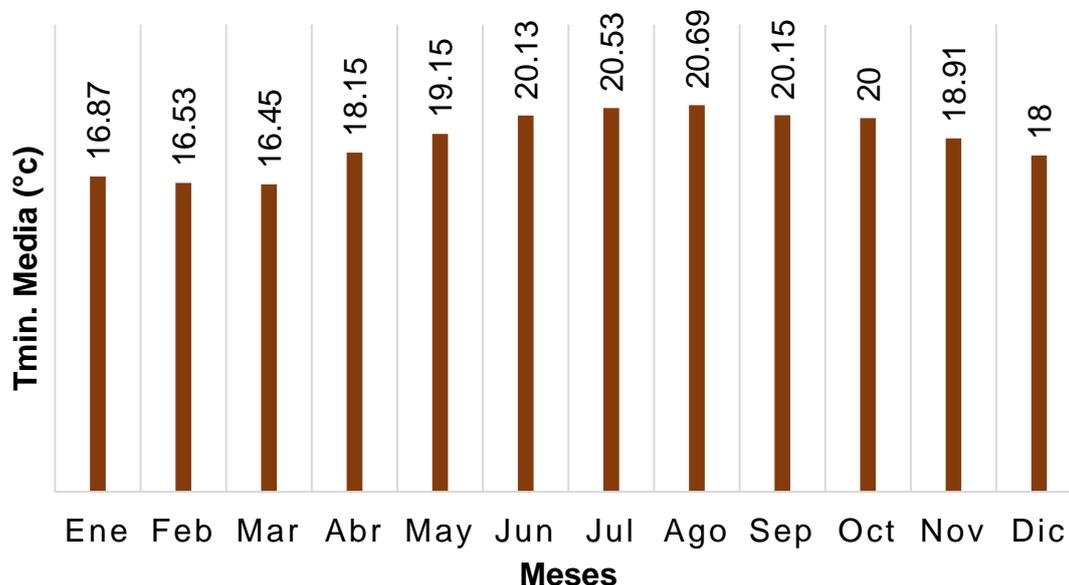


Figura 4. Temperaturas mínimas medias del bosque pluvisilva submontano Departamento de Conservación Ojito de Agua, durante el periodo 2010-2021

4.1.3. Valores de las precipitaciones media en el Departamento de Conservación Ojito de Agua, durante el periodo 2011-2020

Las precipitaciones es una de las variables más importantes a tener en cuenta a la hora de analizar el desarrollo de las distintas formaciones boscosas, en el caso del bosque pluvisilva submontano perteneciente al departamento de conservación ojito de agua, se observa que existe variación en cuanto a las precipitaciones medias durante el periodo 2011-2020 (figura 5), donde el mes de mayor acumulado es octubre, con 227,3 mm, mientras que febrero es el de más bajo acumulado con solo 62,4mm. Hay que destacar que en el área de estudio no se muestran periodos secos, aunque los acumulados sean bajos, históricamente se considera como una zona lluviosa.

Caraballo (2019), plantea que el estudio de las precipitaciones en los bosques es de gran importancia a la hora de evaluar el balance hídrico, sobre todo en el desarrollo de las plantas que más precisan de este preciado recurso para el desarrollo de todos sus procesos fisiológicos, que como seres vivos participan en la condensación de la lluvia, la evaporación y regulan el régimen hidrológico de los ríos.

Según Giraldo, L. (2002), plantea que hay que referirse al papel del bosque sobre la cantidad de agua que cae en forma de precipitación sobre un área. Sobre este tópico es necesario analizar las diversas tendencias y evidencias de los investigadores, con un enfoque a escala de macrocirculación o escala regional y a microescala, para no acceder a argumentos simplistas o triviales de que la sola presencia de los bosques aumenta la cantidad de lluvia en un área.

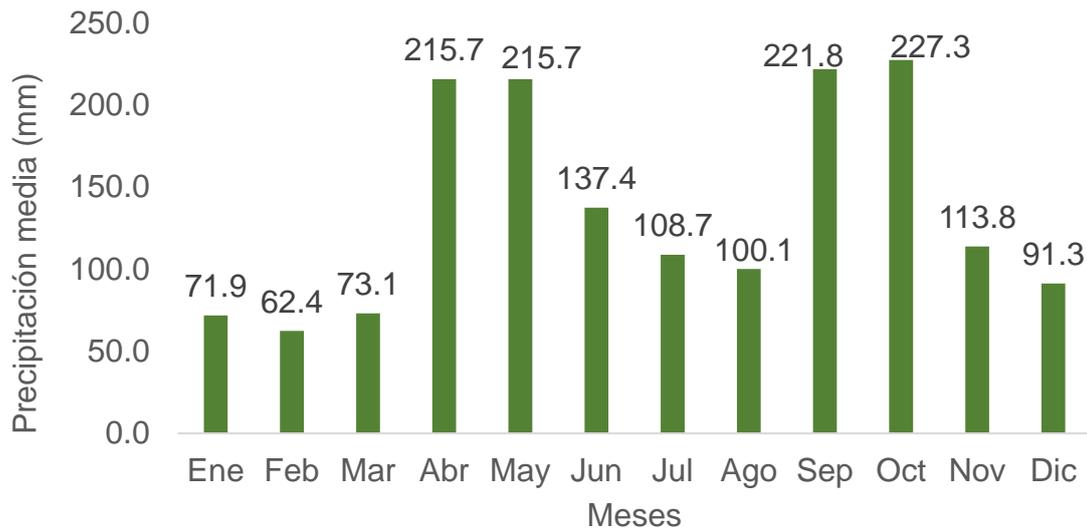


Figura 5. Precipitación media del bosque pluvisilva submontano Departamento de Conservación Ojito de Agua, durante el periodo 2010-2021

4.2. Principales variables que componen el balance hídrico del bosque pluvisilva submontano en el Departamento de Conservación Ojito de Agua, durante el periodo 2011-2021

4.2.1. Evapotranspiración Potencial

Como se observa en la figura 6 las tasas de evapotranspiración potencial están relacionadas con los meses más lluviosos, siendo el mes de octubre el de mayor valor, con 3,32 mm seguido de marzo y agosto con 3,22 y 3,20 mm respectivamente. Cabe destacar que no existe diferencia entre el resto de los meses, puesto que no existen periodos lluviosos durante todo el año. Esto sin dudas es un elemento importante en la ocurrencia del proceso de la evapotranspiración potencial, fundamentalmente en los bosques pluviales.

Según Sánchez (2020) La $ETR < ETP$. en un lugar desértico la ETP puede ser de 6 mm/día y la ETR de 0, puesto que no hay agua para evapotranspirar. Serán iguales siempre que la humedad del suelo sea óptima y que exista un buen desarrollo vegetal. Esto sucede en un campo de cultivo bien regado o en un área con vegetación natural en un periodo de suficientes precipitaciones.

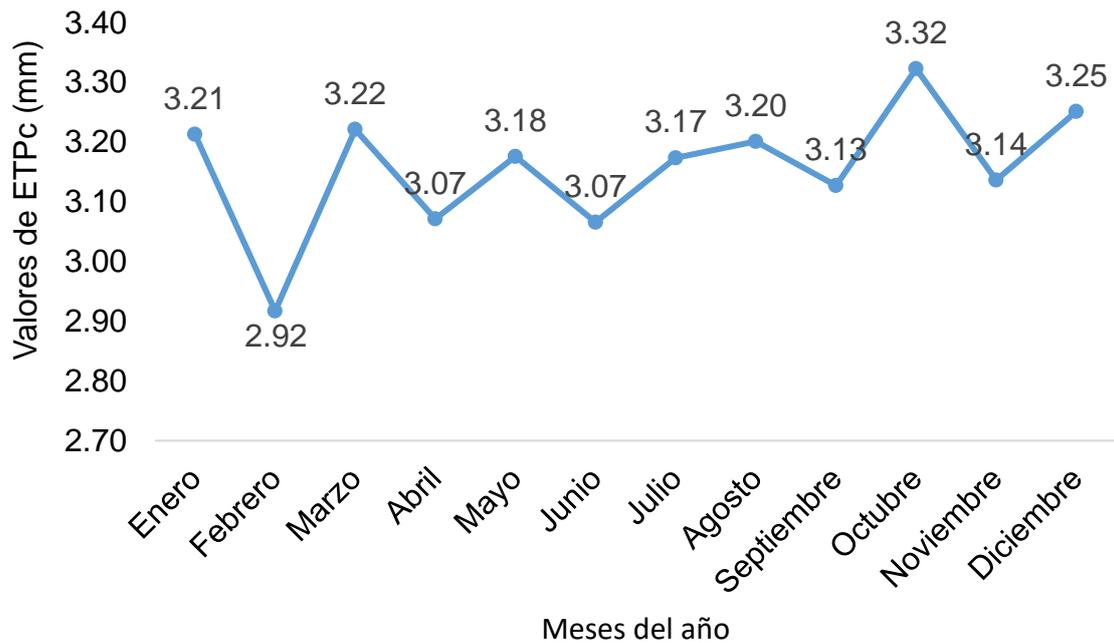


Figura 6. Valores de la Evapotranspiración potencial corregida (ETPc) del bosque pluvisilva submontano en el Departamento de Conservación Ojito de Agua.

Aunque según el clima habrá una capacidad potencial de evapotranspirar la evapotranspiración potencial sólo se podrá evapotranspirar tal cantidad si hay agua disponible. La evapotranspiración real es el volumen de agua que realmente se evapotranspira en el mes dependiendo de que haya suficiente agua disponible para evaporar y así llegar a la ET potencial o de referencia o no (por tanto, la ETi es siempre mayor o igual a la ETRi). El agua disponible para evaporar será la que cae como precipitación en el mes considerado y la existente en la reserva del suelo.

En la figura 7 se muestra las tasas de evapotranspiración real (ETR) siendo los meses de octubre y diciembre los de mayor valor con 3.3 mm, seguido de enero, marzo, mayo, julio y agosto con 3.2 mm respectivamente, siendo el mes de febrero el de más bajo valor con 2,9mm.

Según Giraldo, L. (2002), plante a que muchos investigadores que han creído que todas las actividades del uso del suelo que propician un aumento de la evaporación pueden contribuir también a un incremento local de la precipitación. En forma similar, a partir de observaciones de que la precipitación media es en general mayor en áreas con bosque que en áreas descubiertas; esto ha sugerido que el bosque

contribuye a un aumento de la precipitación local a través del ciclaje de las lluvias por el proceso de evapotranspiración.

Lima (1986), citado por Caraballo (2019) discute al respecto, las referencias, según las cuales, debido a la mayor tasa de evapotranspiración, se constituyen como fuentes importantes de la humedad de la atmósfera, causando, consecuentemente, un aumento de la precipitación.

Según Lima (1985), la transpiración de la mayoría de las especies vegetales está determinada por la demanda climática relacionada con la radiación solar, el déficit de saturación de vapor de la atmósfera, la temperatura y la velocidad del viento, los mecanismos fisiológicos relacionados con la respuesta estomática a factores ambientales, el índice de área foliar y la disponibilidad de agua en el suelo.

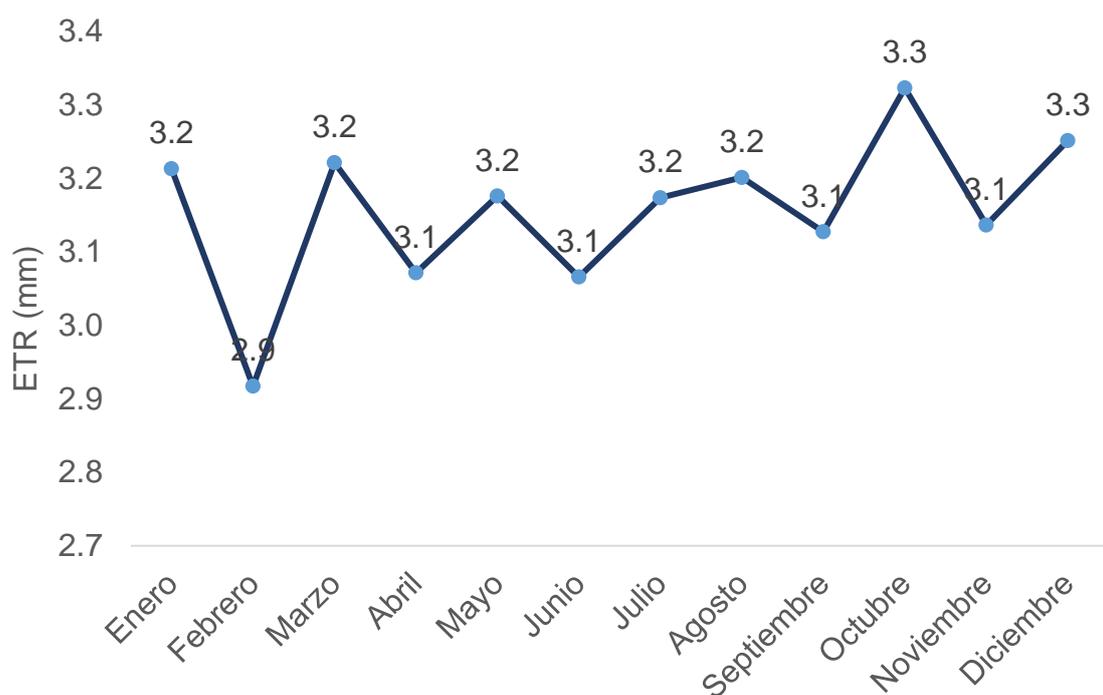


Figura 7. Valores de la Evapotranspiración real (ETR) del bosque pluvisilva submontano en el Departamento de Conservación Ojito de Agua.

En la figura 8 se muestran los resultados de la precipitación menos la evapotranspiración potencial corregida (P-ETPc), donde se evidencia que los niveles de precipitación siempre fueron mayor que la evapotranspiración ya que no existen valores negativos, en este caso los meses con mayor entrada de lluvia o

agua al suelo fueron octubre, septiembre, abril y mayo por ese orden, mientras que febrero, enero, marzo y diciembre los niveles de precipitación fueron más bajo y la evapotranspiración potencial fue relativamente alta, aunque en ninguno de los casos la pérdida de agua fue superior a la entrada de misma al suelo.

A la hora de cuantificar el balance hídrico de un bosque, es muy importante medir las llamadas pérdidas por evaporación, o evapotranspiración, la cual se produce cuando no hay déficit de humedad en el suelo. Cuando el suministro de agua del suelo disponible para las plantas es inferior al requerido por el concepto precipitación, la evaporación tiende a disminuir, es decir, su tasa se vuelve inferior a la tasa potencial, hasta que cesa por completo en el punto de marchitamiento permanente.

Según Pires (2003), la evapotranspiración potencial (ETP) es un elemento meteorológico normal, representando a la precipitación necesaria para atender la necesidad meteorológica de agua en la cubierta vegetal, es además la cantidad de agua máxima que se puede evaporar de una superficie con disponibilidad de agua para la realización de la vaporización.

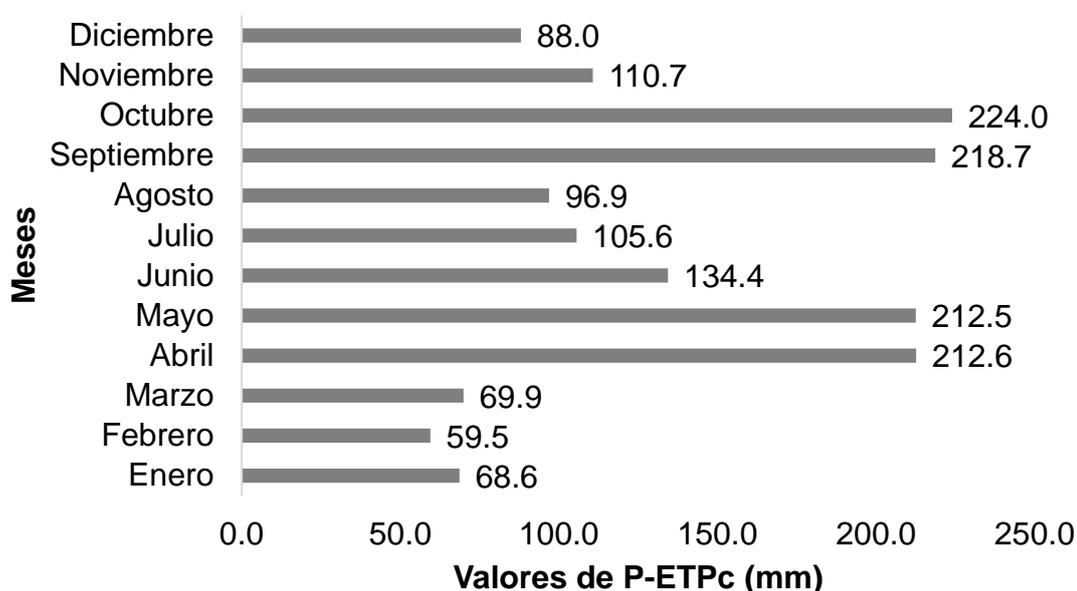


Figura 8. Valores de la Precipitación menos la evapotranspiración potencia corregida (P-ETP) del bosque pluvial submontano en el Departamento de Conservación Ojito de Agua.

En la figura 9 se muestran resultados de la reserva de agua en el suelo (R), teniendo en cuenta que es un área donde no existen periodos secos, tampoco existe diferencia entre el acumulado de agua en el suelo, siendo los meses de octubre, diciembre y marzo los de mayor reserva, mientras que en el resto de los meses existe un equilibrio en cuanto al acumulado.

La Reserva de Agua (R) alude a la cantidad de agua que puede retener el suelo y que es susceptible de ser evaporada o consumida por la vegetación. Las plantas precisan, para vivir, que en su zona radicular exista oxígeno libre y por ello esta zona no debe estar permanentemente saturada de agua. El punto de marchitez es el límite inferior de contenido de humedad, a partir del cual las raíces no tienen fuerza de succión suficiente para extraerla, y la capacidad de campo es el máximo contenido de humedad que el suelo es capaz de retener tras cesar el drenaje natural por gravedad.

Estos resultados son similares a los obtenidos por Caraballo (2019), donde observó una estabilidad en los niveles almacenados, aunque en el año 2015 hubo un descenso de la reserva con respecto a los demás años, esto se justifica, ya que en este año fue donde menor niveles de precipitación hubo, y la reserva de agua tiene una relación directamente proporcional a las precipitaciones.

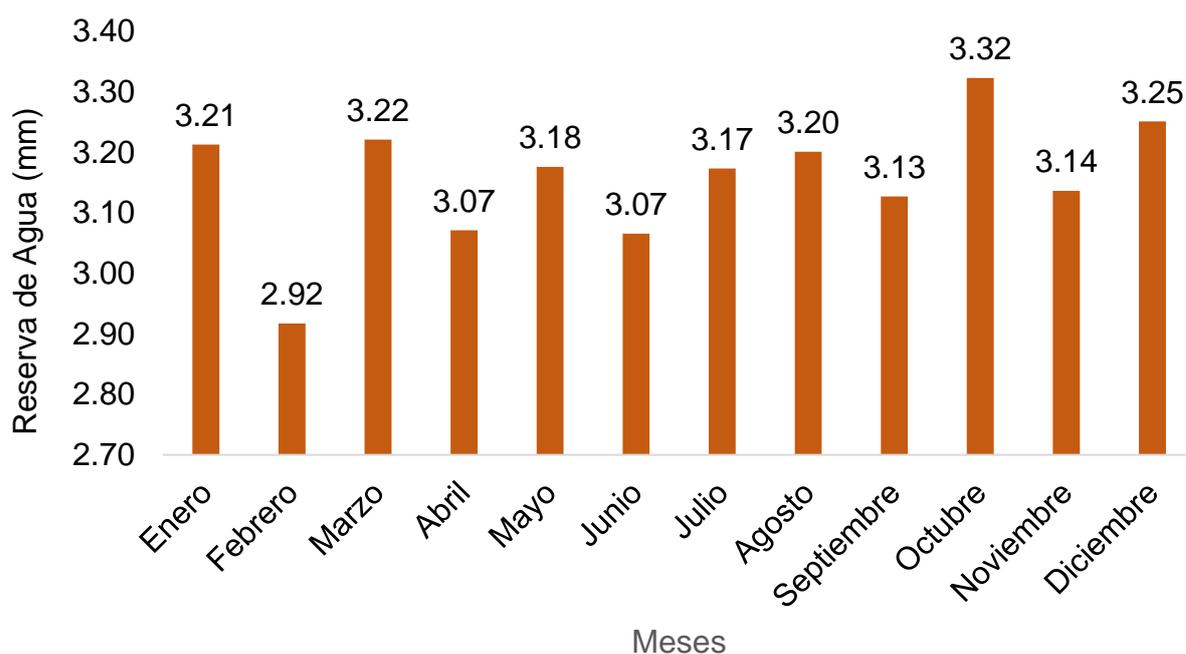


Figura 9. Valores de la Reserva de Agua (R) del bosque pluvisilva submontano en el Departamento de Conservación Ojito de Agua.

La tabla 4 muestra los resultados del déficit de agua durante el periodo 2011-2021 en el bosque pluvisilva submontano en el Departamento de ojito de agua, como se evidencia, durante todo el periodo evaluado no se observa déficit de agua (DEF), producto a que los niveles de precipitación son altos, y no han existido periodos donde la salida de agua haya sido mayor que la entrada (P-ETPc), teniendo en cuenta además que las temperaturas no son elevadas. En fin, esto permite determinar las entradas y salidas potenciales de agua del suelo.

La diferencia clasifica los meses en secos ($P-ETPc < 0$) y en húmedos ($P-ETPc > 0$) según las entradas superen o no a las salidas potenciales. Teniendo en cuenta estos resultados se puede decir que todos los meses son catalogados como húmedos, puesto que las pérdidas no superaron la entrada de agua durante el periodo que se evalúa.

Esto ha facilitado además que exista una reserva de agua siempre en el suelo, influyendo positivamente en los procesos fisiológicos que se desarrollan dentro de dicha formación vegetal. En el caso del almacenamiento de agua (ARM) no existe variación, teniendo en cuenta que los valores de P-ETPc no fueron negativos, entonces el almacenamiento de agua siempre será igual a la capacidad de agua disponible en el suelo (CAD).

Para evaluar el término de variación de almacenamiento (ARM) hay que identificar todas aquellas zonas en las que puede almacenarse agua como son: la superficie del terreno (Detención Superficial), la red de drenaje (los cauces de los ríos), el suelo edáfico, la zona no saturada, la superficie de las hojas de los árboles, los cuales interceptan la lluvia, todos estos elementos contribuyen al almacenamiento o no del agua en el suelo, el cual sirve para el desarrollo de un conjunto de procesos fisiológicos por las plantas.

Tabla 4. Resultados de las variables más afectadas del balance hídrico

Meses	P-ETPc (mm)	ARM (mm)	DEF (mm)
Enero	68,6	562,5	0,0
Febrero	59,5	562,5	0,0
Marzo	69,9	562,5	0,0
Abril	212,6	562,5	0,0
Mayo	212,5	562,5	0,0
Junio	134,4	562,5	0,0
Julio	105,6	562,5	0,0
Agosto	96,9	562,5	0,0
Septiembre	218,7	562,5	0,0
Octubre	224,0	562,5	0,0
Noviembre	110,7	562,5	0,0
Diciembre	88,0	562,5	0,0

Conclusiones

V. Conclusiones

1. Las temperaturas medias durante el periodo 2010-2021 oscilan entre 21 y 24,9°C, siendo enero el de más bajo valor y agosto el de mayor valor. Existe variación en cuanto a las precipitaciones medias durante el periodo 2011-2020 donde el mes de mayor acumulado es octubre, con 227,3 mm, mientras que febrero es el de más bajo acumulado con solo 62,4mm
2. Se caracterizó la evapotranspiración potencial y corregida (ETPc) siendo el mes de octubre el de mayor valor, con 3,32 mm seguido de marzo y agosto con 3,22 y 3,20 mm respectivamente. El mes de mayor Reserva de Agua (R) es octubre (3.32mm), diciembre (3.25mm), marzo (3.22mm), los de menor son febrero (2.92mm), abril y junio con (3.07mm).
3. Las variables más afectadas del balance hídrico en el bosque pluvisilva submontano fue el almacenamiento de agua (ARM) el déficit (DEF) y la $(P - ETPc)$.

Recomendaciones

VI. Recomendaciones

1. Que se realice este estudio en otras formaciones boscosas del parque Alejandro Humboldt para comparar los resultados obtenidos en esta investigación.
2. Se recomienda que los resultados de este estudio sirvan para el desarrollo de otros trabajos para estudiantes, profesores e investigadores forestales, con lo cual puedan ampliar sus conocimientos en la evaluación de banco hídrico.

Referencia Bibliográfica

Referencia Bibliográfica

1. Angelocci, L. R. 2012. LCE 306 – Meteorología Agrícola. Campinas: s.n.
2. Arcova, F. C. 1996. Balanço hídrico, características do deflúvio e calibragem de duas microbacias hidrográficas na Serra do Mar. S. Paulo : Universidade de São Paulo Piracicaba, 1996.
3. Arcova, F. C., V, Cicco,. 1997. Características do deflúvio de duas microbacias no Laboratório de Hidrologia Florestal Walter Emmercih. Cunha – SP : Revista Instituto Florestal de São Paulo, 1997. pp. 153-170. Vol. 2.
4. Barreto, A. N., Faccioli, G. G. e Silva, A. A. G. 2009. Irrigação e drenagem na empresa agrícola: impacto ambiental versus sustentabilidade. Aracaju : Embrapa, 2009.
5. Benyon, R. 2007. Tree water use in forestry compared to other dry-land agricultural crops in the Victorian context: report prepared for the Department of Primary Industries Victoria to promote scientific knowledge in this area. Victória, 50 p. (Ensis Technical Report, 159).
6. Burch, G. J. 1987. Comparative hydrological behaviour of forested and cleared catchments in south-eastern. Australia : Journal of Hydrology, 1987.
7. Oyarzún, C.; Frêne, C.; Lacrampe, G.; Hervé, P., 2011. Propiedades hidrológicas del suelo y exportación de sedimentos en dos microcuencas de la Cordillera de la Costa en el sur de Chile con diferente cobertura vegetal. Bosque 32(1): 10-19 p.
8. Camargo, A.P.de e Camargo, M.B.P. 2000. Uma revisão análitica sobre evapotranspiração potencial. . São Paulo : Revista Bragantia, 2000.
9. Camargo, A.P, Pereira, A.R. 1990. Prescrição de rega por modelo climatológico. Campinas : Cargil.
10. Camargo, A.P., Camargo, M.B.P. 2000. Uma revisão análitica sobre evapotranspiração potencial. . São Paulo : Revista Bragantia, 2000.
11. Cannell, M. G. R. 1999. Environmental impacts of forest monocultures: water use, acidification, wildlife conservation, and carbon storage. New Forests, v. 17, p. 239-262.

12. Carlesso, R.; Zimmermann, F. L. 2000. Água no solo: Parâmetros para dimensionamento de sistemas de irrigação. Santa Maria: UFSM. Departamento de Engenharia Rural, 88 p.
13. Costa, M. H. 1994. Balanço hídrico segundo Thornthwaite e Mather, 1995. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Engenharia Agrícola. Engenharia na Agricultura : Caderno didático, 1994. pp. 19-22 .
14. Crockford R.H, & Richardson D.P. (2000). Partitioning of rainfall into throughfall, stemflow and interception: effect of forest type, ground cover and climate. *HYDROLOGICAL PROCESSES* (14), 2903-2920.
15. Dunne, T. y Leopold, L., 1978. *Water in Environmental Planning*. W.H. Freeman and Company, United States. 818 p. Dye (1996)
16. Flores-López F., Galatsi, S., Escobar, M., & Purkey, D. (2016). Modeling of Andean Páramo Ecosystems' Hydrological Response to Environmental Change. *Water*, 8(3), 94. doi: 10.3390/w8030094
17. Fong, et al., 2005 Cuba: Siboney – Juticí. Rapid Biological Inventories Report 10. The Field Museum, Chicago, 2005.
18. Franke, L.B., Saibro, J.C. 1997. Efeito do Fósforo e da irrigação no rendimento de sementes de alfafa. Brasília : Pesquisa agropecuária,
19. Frizzone, J. Cardoso, D., Rezende, R. (2005). Produtividade e qualidade de frutos de meloeiro cultivado em ambiente protegido com aplicação de dióxido de carbono e de potássio via água de irrigação Departamento de Engenharia Rural, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo (USP), 11p.
20. Garcia . B (2013). Caracterización del agua de lluvia captada en una edificación para su aprovechamiento con fines de sustentabilidad hídrica. Universidad Nacional Autónoma de México .
21. Gerrits, M. (2006). Measuring forest floor interception in a beech forest in Luxembourg. *Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss.*, 3, 2323 – 2341.
22. Giraldo, L. (2002). *Memorias: Hidrología Forestal (Influencia de los Bosques)*. Medellín, Colombia: Universidad Nacional de Colombia- Departamento de Ciencias Forestales.
23. Hatton, T. 1998. Does water efficiency vary among eucalypts in water-limited environments. *Tree Physiology*, v. 18, p. 529-536.

24. Hernández, A, Pérez, J., Bosch, D., Castro, N. 2015. Clasificación de los suelos de Cuba 2015. 93p
25. Hernandez, F. B. 1995. Software Hidrisa e o balanço hídrico de Ilha Solteira. Ilha Solteira. Ilhas Solteira : FEIS/UNESP.
26. Hernández, L. (2007). Tesis de Maestria: Medición y análisis de la intercepción de lluvia en un bosque de Encino: aplicación a la microcuenca la barreta. Queretaro, Mexico: Universidad Autonoma de Queretaro, Facultad de Ingenieria.
27. Huber, A. J.; Trecaman, R. V. 2004. Eficiencia del uso del agua en plantaciones de Pinus radiata en Chile. Bosque, v. 25, n. 3, p. 33-43
28. Ichiba, S.H.K. 2006. Estudo das temperaturas do ar no estado do Paraná. Maringa- PR, 2006, 124p. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Maringa, Centrote Ciências humanas, Letras e Artes.
29. Jarosz, N. 2008. Carbon dioxide and energy flux partitioning between the understorey and the overstorey of a maritime pine forest during a year with reduced soil water availability. Agricultural and Forest Meteorology, v. 148, p. 1508-1523..
30. Larcher, W. 2006. Ecofisiologia Vegetal. São Carlos: Rima. 531 p.
31. Leopoldo, E., Franken, W., Matsui P., Ribeiro, G. 1985. Interceptação das precipitações em floresta amazônica de terra firme. Acta Amazonica,12 (3): 15-22.
32. Li, X. Y. 2008. Stemflow in three shrubs and its effect on soil water enhancement in semiarid loess region of China. Agricultural and Forest Meteorology, v. 148, p. 1501-1507.
33. LIMA, W. P. 1993. Impacto ambiental do eucalipto. 2. ed. São Paulo: EDUSP, 301p.
34. Lima, W. P. 2008.Hidrologia Florestal Aplicada ao Manejo de Bacias Hidrográficas. 2. São Paulo : Piracicaba, 2008.
35. Maxin, B., 2016. Balances hídricos en bosques de encinar mediterráneo: Modelización con STELLA de la respuesta a factores climáticos. TRABAJO FIN DE GRADO. Facultad de Ciencias, UNIVERSITA T DE ALACANT. 42p.

36. Mesa, O.M. & Barrueco, J.M. (2009). Iniciativa Latinoamericana y Caribeña para el desarrollo sostenible. Indicadores de seguimiento Ciudad de La Habana.
37. Pizarro Sangüesa, 2002
38. Moster, C., Lima, W. 2003. Determinação do ano hidrológico visando a quantificação do balanço hidrológico e m microbacias. s.l. : IPEF, 2003.
39. Ordoñez, J. (2011). Cartilla técnica. Balance hídrico superficial. Lima, Perú. ISBN: 978-9972-602-75-7. 44p.
40. Pallardy, S. G. 2008. Physiology of wood plants. 3rd ed. United States: Elsevier. 454p.
41. Pereira, A.R, Angelocci, L.R e Sentelha, P.C. 2002. Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas. Guaíba : Ed. Agropecuária, 2002.
42. Sentelhas, P.C. 2012. Balanço Hídrico Climatológico Normal e Seqüencial, de Cultura e para Manejo da Irrigação. São Paulo : ESALQ, 2012.
43. Pizarro, R.; Sangüesa, C., 2002. Estudios hidrológicos en la Región del Maule. Volumen I. Ed. Universidad de Talca. Talca, Chile. 195p.
44. Silveira, A. L. da e Silveira, G. L. da. 2001. Vazões Mínimas: hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas. 1. Porto Alegre : UFRGS, 2001.
45. Snet (2005): (<http://www.snet.gob.sv>)
46. Soares, J. V.; Almeida, A. C. 2001. Modeling the water balance and soil water fluxes in a fast growing Eucalyptus plantation in Brazil. Journal Ci. Fl., v. 23, n. 3, jul.-set., 2013
47. Souza, J.L. 1994. Avaliação do efeito da energia advectiva na estimativa da evapotranspiração de referência para a região de Lavras. Minas Gerais : s.n., 1994.
48. Stape, J. L. 2004. Eucalyptus production and the supply, use and efficiency of use of water, light and nitrogen across a geographic gradient in Brazil. Forest Ecology and Management, v. 193, p. 17-31.
49. Steinke, E. T. 2004. Considerações sobre variabilidade e mudanças climáticas no Distrito Federal, suas repercussões nos recursos hídricos e informação ao grande público. Tese (Doutorado em Ecologia)-

Instituto de Biologia. Departamento de Ecologia, Universidade de Brasília, Brasília. 201p.

50. Thornthwait, C. W. e Mather, J.R. 1957. Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance. s.l. : Drexel Institute of Technology. *Climatology*, 1957. p. 10. 185-311.
51. Thornthwaite, C. W., Mather, J.R. 1955. Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance. s.l. : Drexel Institute of Technology. *Climatology*, 1957. p. 10. 185-311.
52. Thornthwaite, C.W. 1948. An approach toward a rarrational classification of climate. . New York : s.n., 1948.
53. Van Dijk, A. I. J. M.; Keenan, R. 2007. Planted forests and water in perspective. *Forest Ecology and Management*, v. 251, p. 1-9.
54. Vincke, C.; Thiry, Y. 2008. Water table is a relevant source for water uptake by a Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) stand: Evidences from continuous evapotranspiration and water table monitoring. *Agricultural and Forest Meteorology*, v. 148, p. 1419-1432.
55. Whitehead, D.; Beadle, C. L. 2004. Physiological regulation of productivity and water use in Eucalyptus: a review. *Forest Ecology and Management*, v. 193, p. 113-140.
56. Sánchez, M.I. (2020).- Métodos para el estudio de la evaporación y evapotranspiración. Cuadernos Técnicos Sociedad Española de Geomorfología, nº 3, 36 pp.
57. Schrelzenmayr, M. 1981. *Der Wald*. Vrania – Verlag: Berlim,. 264p.
58. Wallace, J. S. 1995. Calculating evaporation: resistance to factors. *Agricultural and Forest Meteorology*, v. 73, p. 353-366.
59. Tucci, C.E.M. 1997. *Hidrologia : Ciências e Aplicação*. Rio Grande do Sul : Editora da Universidade, 1997.
60. Ceccon, E.; Martinez-Ramos, M. 1999. Aspectos ambientales referentes al establecimiento de plantaciones de eucalipto de gran escala en áreas tropicales: aplicación al caso de México. *Revista Interciencia*, v. 24, n. 5.
61. Mielke, M. S. 1999. Stomatal control of transpiration in the canopy of a clonal *Eucalyptus grandis* plantation. *Trees*, v. 13, p. 152-160.

62. Cintra, F. 2000. Balanço hídrico no solo para para porta enxertos de citros em ecossistema de tabuleiros COsteiro. Campina Grande : s.n., 2000.
63. Barrantes, G. y Vega, M. 2000. Evaluación del servicio ambiental hídrico en la cuenca del río Savegre con fines de ordenamiento territorial. Costa Rica. 30 p.
64. Tucci, C. E. M. 2000. Hidrologia, ciência e aplicação. Porto Alegre : UFRGS: ABRH, 2000. p. 943
65. Souza, J.L.M. 2001. Modelo de análise de risco econômico aplicado ao planejamento de projectos de irrigação parra a cultura do cafeeiro. Piracicaba : s.n., 2001.
66. Mcjannet, D.L.; Vertessy, R.A. 2001. Effects of thinning on wood production, leaf area index, transpiration and canopy interception of a plantation subject to drought. *Tree Physiology*, v. 21, p. 1001- 1008
67. Back, A. J. 2001. Aplicação de análise estatística para identificação de tendências climáticas. *Revista Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, vol.36, n.5. p.717-726
68. Mendonça, J. C. Sousa, E. F. 2003. Comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o) na região Norte Fluminense, RJ. Rio de Janeiro : *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 2003
69. Dias Jr., M.S., Leite, F.P., Winter, M.E., Pires, J.V.G., 2003. Avaliação quantitativa da sustentabilidade estrutural de um Latossolo Vermelho-Amarelo cultivado com eucalipto na região de Peçanha, MG. *Revista Árvore*, 27: 343-349.
70. Marengo, J. A. 2006. Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade: caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI. Brasília: MMA.
71. Hecheverria, J. 2007. Estudio comparativo de los componentes del balance hídrico en un bosque nativo y una pradera en el sur de Chile.
72. Aparicio, M. 2008. Fundamentos de Hidrología de superficie. Mexico : Editorial Limusa., 2008.

73. Santos, G. O., Lima, F. B., Vanzela, L. S. 2009. Balanço hídrico ponderado da cultura da bacia do Ribeirão Santa Rita, Noroeste do Estado de São Paulo. Belo Horizonte : CD., 2009.
74. Zua. J. 2018. Balanço hídrico da fazenda experimental do Ngongoinga, no período 2013 – 2018. Universidade José Eduardo dos Santos, Faculdade de Ciências Agrárias, Departamento de Gestão e Transformação de Produtos Florestais, Huambo, Angola, 63p.
75. Caraballo, O. 2019. Balance hídrico del bosque pluvisilva submontano, Departamento de Conservación Cupeyal del Norte. Memoria escrita en Opción al grado académico de Máster en Ciencias Forestales. Facultad agroforestal. Universidad de Guantánamo, 93p

Anexo 1. Variables edáficas evaluadas en el bosque pluvisilva submontano del Departamento de Conservación Ojito de Agua

Localidades	Grados decimales	Coord X-Y	pH KCl	Evaluación	P ₂ O ₅ (mg/100g)	Eval	K ₂ O (mg/100g)	Eval	M.O (%)	Eval
Rio Yarey (M1)	74° 54'56.6"	20°26'50"	5.54	Mediamt ácido	1.56	Muy bajo	19.30	Medio	2.54	Baja
RíoYarey (M2)	74° 55'53.1"	20°22'60"	6.00	Ligeramt ácido	1.95	Muy bajo	16.40	Medio	3.84	Media
Loma del Desayuno (M3)	74° 54' 47.4"	20° 26' 01.3"	5.09	Mediamt ácido	1.19	Muy bajo	16.20	Medio	3.46	Media
Loma del Desayuno (M4)	74° 34' 44.7"	20° 25' 54.7"	5.63	Ligeramt ácido	9.55	Muy bajo	18.30	Medio	2.83	Baja
Loma del Desayuno (M5)	74° 54' 33"	20° 25' 43.3"	6.15	Neutro	1.99	Muy bajo	12.90	Bajo	2.90	Baja
Loma del Desayuno (M6)	74° 54' 38.8"	20° 25' 44.7"	5.27	Mediamt ácido	1.26	Muy bajo	10.70	Bajo	3.57	Media
Loma del Desayuno (M7)	74° 54' 40.8"	20° 25' 40.2"	6.45	Neutro	1.07	Muy bajo	10.10	Bajo	3.54	Media
Loma del Desayuno (M8)	74° 54' 39.8"	20° 25' 36.3"	6.05	Ligeramt ácido	1.76	Muy bajo	13.70	Bajo	4.01	Media
Mirador Loma del Mulo (M9)	74° 55' 51.7"	20° 25' 18.0"	6.21	Neutro	1.80	Muy bajo	22.10	Alto	3.33	Media
Alto Pileta (M10)	74° 55' 30.7"	20° 25' 09.4"	5.98	Ligeramt ácido	0.85	Muy bajo	20.30	Alto	3.03	Baja
Trocha del Campamento a Alto Pileta (M11)	74° 55' 51.7"	20° 25' 09.2"	6.11	Neutro	0.66	Muy bajo	18.30	Medio	3.13	Media

Anexo 2. Resultados del análisis de suelo realizados a las muestras obtenidas en el bosque pluvisilva submontano Departamento de Conservación Ojito de Agua

#	Localidades	pH, KCL	P2O5 (mg/100g)	K2O (mg/100g)	M.O. %
M1	RíoYarey (M1)	5,54	1,56	19,30	2,54
M2	RíoYarey (M2)	6,00	1,95	16,40	3,84
M3	Loma del Desayuno (M3)	5,09	1,19	16,20	3,46
M4	Loma del Desayuno (M4)	5,63	9,55	18,30	2,83
M5	Loma del Desayuno (M5)	6,15	1,99	12,90	2,90
M6	Loma del Desayuno (M6)	5,27	1,26	10,70	3,57
M7	Loma del Desayuno (M7)	6,45	1,07	10,10	3,54
M8	Loma del Desayuno (M8)	6,05	1,76	13,70	4,01
M9	Mirador Loma del Mulo (M9)	6,21	1,80	22,10	3,33
M10	Alto Pileta (M10)	5,98	0,85	20,30	3,03
M11	Trocha del Campamento a Alto Pileta (M11)	6,11	0,66	18,30	3,13
M12	Entrada de la Cooperativa Riíto (M12)	6,08	1,54	3,30	5,13
M13	Entrada de la Cooperativa Riíto (M13)	5,88	2,85	2,60	3,43
M14	Entrada de la Cooperativa Riíto (M14)	6,29	0,76	2,90	3,43
M15	Entrada de la Cooperativa Riíto (M15)	5,72	1,62	3,10	5,36
M16	Entrada de la Cooperativa Riíto (M16)	6,69	3,91	2,60	2,66
M17	Area de incendio (M17)	6,47	0,57	5,90	2,84
M18	Area de incendio (M18)	6,72	2,26	2,50	2,62
M19	Area de incendio (M19)	5,72	4,17	3,10	2,50
M20	Area de incendio (M20)	5,85	1,00	2,70	5,10

Anexo 3. Balance hídrico del bosque pluvisilva submontano. Departamento de Conservación Ojito de Agua, durante el periodo 2010-2020

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Mes	T (oC)	EP (mm)	Corr (q)	ETP (mm)	P (mm)	P-ETP (mm)	NegAc (mm)	ARM (mm)	ALT (mm)	ETR (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)	R (mm)
Enero	20.18	2.819	1.14	3.213	71.85	68.636901	0	562.5	0	3.213	0	68.636901	3.2130991
Febrero	20.48	2.860	1.02	2.917	62.41	59.492814	0	562.5	0	2.917	0	59.492814	2.9171861
Marzo	21.17	2.955	1.09	3.221	73.13	69.908653	0	562.5	0	3.221	0	69.908653	3.2213467
Abril	21.79	3.041	1.01	3.071	215.69	212.61855	0	562.5	0	3.071	0	212.61855	3.0714493
Mayo	23	3.208	0.99	3.176	215.69	212.51391	0	562.5	0	3.176	0	212.51391	3.176092
Junio	23.9	3.332	0.92	3.066	137.43	134.36416	0	562.5	0	3.066	0	134.36416	3.065837
Julio	24.48	3.412	0.93	3.174	108.73	105.55639	0	562.5	0	3.174	0	105.55639	3.1736101
Agosto	24.43	3.406	0.94	3.201	100.11	96.908751	0	562.5	0	3.201	0	96.908751	3.2012486
Septiembre	23.86	3.327	0.94	3.127	221.79	218.6627	0	562.5	0	3.127	0	218.6627	3.1272954
Octubre	23.36	3.258	1.02	3.323	227.31	223.98696	0	562.5	0	3.323	0	223.98696	3.3230402
Noviembre	21.82	3.045	1.03	3.137	113.83	110.69346	0	562.5	0	3.137	0	110.69346	3.1365393
Diciembre	20.98	2.929	1.11	3.251	91.27	88.018695	0	562.5	0	3.251	0	88.018695	3.2513051
Suma/Media	22.45417	37.59265		37.87805	1639.24	1601.362			0	37.878	0	1601.362	37.878049