



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

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

**Trabajo de titulación presentado como requisito previo a la obtención del
título de Ingeniero Forestal**

**DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE INTERCEPCIÓN DEL
AGUA DE NIEBLA, Y LA CANTIDAD APORTADA AL SUELO, POR
PLANTACIONES FORESTALES DE *Polylepis racemosa* Ruiz y Pavón EN
LA COMUNA ZULETA, PROVINCIA DE IMBABURA**

AUTOR

Jose David Reyes Bustamante

DIRECTOR

Ing. Mario José Añazco Romero, PhD.

IBARRA - ECUADOR

2019

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

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

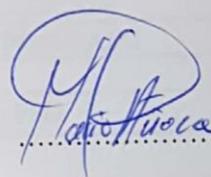
DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE INTERCEPCIÓN DEL AGUA DE
NIEBLA, Y LA CANTIDAD APORTADA AL SUELO, POR PLANTACIONES
FORESTALES DE *Polylepis racemosa* Ruiz y Pavón EN LA COMUNA ZULETA,
PROVINCIA DE IMBABURA

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

INGENIERO FORESTAL

APROBADO

Ing. Mario José Añazco Romero, PhD.
Director de trabajo de titulación



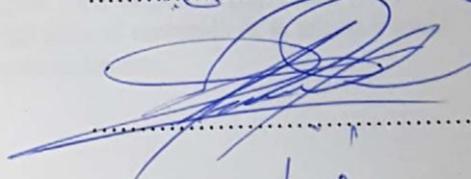
.....

Ing. María Isabel Vizcaíno Pantoja, Esp.
Tribunal de trabajo de titulación



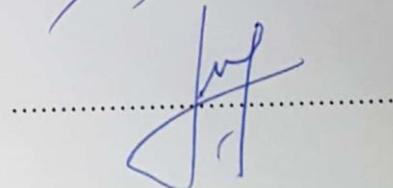
.....

Ing. Hugo Vinicio Vallejos Álvarez, Mgs.
Tribunal de trabajo de titulación



.....

Ing. Jorge Luis Cué García, PhD
Tribunal de trabajo de titulación



.....

Ibarra - Ecuador

2019



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

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

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

DATOS DE CONTACTO	
Cédula de ciudadanía:	171949105-0
Nombres y apellidos:	Reyes Bustamante Jose David
Dirección:	Tabacundo Barrio La Quinta
Email:	dajodarey@gmail.com , davidsebastian92@hotmail.com
Teléfono fijo:	2 365 243
Teléfono móvil:	098641 5368

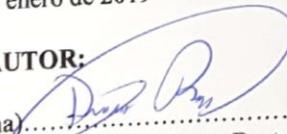
DATOS DE LA OBRA	
Título:	DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE INTERCEPCIÓN DEL AGUA DE NIEBLA, Y LA CANTIDAD APORTADA AL SUELO, POR PLANTACIONES FORESTALES DE <i>Polylepis racemosa</i> Ruiz y Pavón EN LA COMUNA ZULETA, PROVINCIA DE IMBABURA
Autor:	Reyes Bustamante Jose David
Fecha:	17 de enero de 2019
SOLO PARA TRABAJOS DE TITULACIÓN	
Programa:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
Título por el que opta:	Ingeniero Forestal
Director:	Ing. Mario José Añazco Romero, PhD.

1. CONSTANCIAS

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

17 de enero de 2019

EL AUTOR:

(Firma) 
Nombre: Jose David Reyes Bustamante

REGISTRO BIBLIOGRÁFICO

Guía: FICAYA - UTN

Fecha: 17 de enero de 2019

Reyes Bustamante Jose David: **DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE INTERCEPCIÓN DEL AGUA DE NIEBLA, Y LA CANTIDAD APORTADA AL SUELO, POR PLANTACIONES FORESTALES DE *Polylepis racemosa* Ruiz y Pavón EN LA COMUNA ZULETA, PROVINCIA DE IMBABURA** /Trabajo de titulación. Ingeniero Forestal. Universidad Técnica del Norte. Carrera de Ingeniería Forestal. Ibarra, 23 de octubre del 2017. 64 páginas.

DIRECTOR: Ing. Mario José Añazco Romero, PhD.

El objetivo principal de la presente investigación fue: Determinar la capacidad de intercepción del agua de niebla, y la cantidad de agua aportada al suelo, por plantaciones forestales de *Polylepis racemosa* Ruiz & Pavón, en la comuna Zuleta, provincia de Imbabura, siendo los objetivos específicos determinar la capacidad de intercepción del agua niebla incorporada al suelo por la especie arbórea y determinar la cantidad de agua que se incorporada al suelo.

Fecha: 17 de enero de 2019



.....

Ing. Mario José Añazco Romero, PhD.

Director de trabajo de titulación



.....

Reyes Bustamante Jose David

Autor

DEDICATORIA

A mi padre Claudio Numan Reyes Cherez que fue el impulsor para que siga estudiando y siempre me apoyo.

A mi madre Juana Piedad Bustamante Medina que siempre supo brindarme su apoyo incondicional de forma moral, económica y nunca me abandonó en el transcurso de mi vida universitaria, siempre me brindo esos ánimos para seguir adelante y ha sido mi inspiración para poder cumplir mis objetivos.

A mi hermana Julieth Reyes que desde el momento que llegó a nuestras vidas ha sido alegría tras alegría en la casa con sus ocurrencias.

A Mami Tere que de igual forma siempre confió en mí para poder lograr este objetivo. Y a toda mi familia.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a Dios por darme fuerza, paciencia y gozo en esta maravillosa etapa de mi vida.

A mi padre Claudio Reyes que desde el cielo siempre supo guiarme por un buen camino.

A mi madre Piedad Bustamante que no desistió en apoyarme en ningún momento a pesar de las dificultades que fuimos pasando en este largo camino.

A mi director el Dr. PhD Mario Añazco por ser un ejemplo dentro y fuera de sus labores brindándome su conocimiento.

A mi comité asesor que me supieron corregir el documento con sabiduría en especial a la Ing María V. Que desde el momento que nos conocimos se portó como una amiga, maestra y madre en la mayoría de los casos, sin importar las circunstancias siempre me apoyo como una madre lo hubiera hecho por cualquiera de sus hijos.

A mis maestros y familiares que en su pertinencia me aportaron y me apoyaron.

A mis amigos Juan, Edison, Daniel, Fernando, Líniker, Anita, Isaac, Moisés, William, Juan Pablo, Andrés (Pilin), y muchos más que desde dentro o fuera de las aulas fueron un apoyo entre risas y tareas ayudándome a seguir avanzando.

A la UTN y mi carrera querida la Ingeniería Forestal por brindarme sus instalaciones y su enseñanza.

Al Ministerio del Ambiente por darme su apoyo logístico en la fase de campo de mi investigación, de igual manera a la comunidad de Zuleta por abrirme las puertas para el desarrollo de la misma.

A ellos doy gracias y por ello me convertiré en un profesional de calidad.

DAVID REYES.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

PORTADA	i
APROVACIÓN	¡Error! Marcador no definido.
AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE	¡Error! Marcador no definido.
REGISTRO BIBIOGRÁFICO	¡Error! Marcador no definido.
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE DE CONTENIDOS	vii
ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE FIGURAS	x
INDICE DE ILUSTRACIONES	xi
RESUMEN	xii
ABSTRACT	¡Error! Marcador no definido.
CAPÍTULO I	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivos	2
1.3.1 General	2
1.3.2 Específicos	2
1.2 Preguntas directrices	2
CAPÍTULO II	3
MARCO TEÓRICO	3
2.1 Fundamentación legal	3
2.1.1 Constitución	3
2.1.2 Plan Nacional de Desarrollo 2017 - 2021	3

2.1.3 Código orgánico de organización territorial, autonomía y descentralización (COOTAD)	4
2.1.4 Código orgánico del ambiente (COA)	4
2.1.5 Ley de aguas.....	5
2.1.2 Línea de investigación.....	5
2.2 Fundamentación teórica	5
2.2.1 La escasez de agua en el mundo.....	5
2.2.2 El ciclo hidrológico	6
2.2.2.1 La precipitación vertical.....	8
2.2.2.2 La precipitación horizontal	8
2.2.3 El rol del ecosistema forestal y el agua	9
2.2.3.1 Plantaciones forestales	9
2.2.4 La hidrología forestal	10
2.2.5 El rol del páramo andino	10
2.2.6 Estructura de suelos de páramo	11
2.2.7 Captación del agua de niebla.....	12
2.2.8 <i>Polylepis racemosa</i>	12
2.2.9 Experiencias sobre el tema.....	12
CAPÍTULO III	14
MATERIALES Y MÉTODOS	14
3.1 Ubicación del sitio.....	14
3.1.1 Política.....	14
3.1.2 Geográfica	14
3.1.3 Límites.....	14
3.2 Datos climáticos	14
3.3 Materiales, equipos, insumos y software	15
3.4 Metodología	15

3.4.1 Determinación de la capacidad de intercepción del agua de niebla de la especie arbórea <i>Polylepis racemosa</i> .	15
3.4.1.1 Determinación del área foliar.	17
3.4.1.2 Determinación de agua de saturación de follaje.	18
3.4.2 Cuantificar la cantidad de agua de niebla que se incorpora al suelo.	19
3.4.3 Análisis de suelo	21
3.4.4 Análisis estadístico.	21
3.5 Análisis de regresión	22
CAPÍTULO IV	23
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	23
4.1 Determinar la capacidad de intercepción del agua de niebla de la especie arbórea <i>Polylepis racemosa</i> en diferentes estratos.	23
4.1.1 Determinación del área foliar	23
4.1.2 Determinación de agua de saturación del follaje	25
4.2 Cantidad de agua de niebla que se incorpora al suelo.	26
4.2.1 Aporte de agua al suelo	26
<i>Análisis del aporte de agua al suelo en cm³ y mm/hora</i>	28
4.2.3 Velocidad de infiltración	29
<i>Análisis estadístico de la velocidad de infiltración</i>	30
4.2.4 Análisis de suelos	31
4.2.5 Registro de los parámetros climatológicos	31
4.2.6 Captura de agua por Neblinómetro	33
4.2.7 Análisis de regresiones	33
CAPÍTULO V	36
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	36

5.1 Conclusiones	36
6.1 Recomendaciones.....	36
CAPÍTULO VI	37
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	37
CAPÍTULO VII	41
ANEXOS	41

ÍNDICE DE TABLAS

	Pags
Tabla 1 Componentes tangibles e intangibles que se utilizaron en la investigación	22
Tabla 2 Estimadores estadísticos.....	25
Tabla 3 Determinación del área foliar	23
Tabla 4 Saturación de follaje en milímetros por hora	25
Tabla 5 Análisis del aporte de agua al suelo en cm ³ y mm/hora	28
Tabla 6 Análisis estadístico de la velocidad de infiltración	30

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pags
Figura 1. Determinación de la superficie de una hoja.....	17
Figura 2. Esquema idealizado de un árbol con 7 nodos y 17 segmentos	18
Figura 3. Modelos de regresión para la estimación del área foliar.	24
Figura 4. Promedio en mm/hora de agua de saturación.....	26
Figura 5. Aporte de agua al suelo.	27
Figura 6. Aporte de agua entre estratos.....	29
Figura 7. Velocidad de infiltración	30
Figura 8. Registro de los parámetros climatológicos	32
Figura 9. Fenómenos ocurridos en el registro climatológico.....	32
Figura 10. Captura de agua por neblinómetro.....	33
Figura 11. Análisis de regresión entre saturación de follaje altura y área foliar.....	34
Figura 12. Regresión entre área foliar, diámetro basal y altura	34

Figura 13. Regresión entre área diámetro de copa y aporte de agua al suelo	35
Figura 14. Mapa de ubicación del sitio de estudio.....	41
Figura 15. Mapa de ubicación de los estratos	42

INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Ciclo hidrológico en los bosques andinos	7
---	----------

TITULO: DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE INTERCEPCIÓN DEL AGUA DE NIEBLA, Y LA CANTIDAD APORTADA AL SUELO, POR PLANTACIONES FORESTALES DE *Polylepis racemosa* Ruiz y Pavón EN LA COMUNA ZULETA, PROVINCIA DE IMBABURA.

Autor: Reyes Bustamante Jose David

Director de trabajo de titulación: Ing. Mario José Añezco Romero, PhD.

Año: 2019

RESUMEN

El crecimiento demográfico en el Ecuador es aproximadamente del 1,95% anual, lo que genera mayor demanda en cuanto al acceso en cantidad y calidad de agua para consumo y riego; para la satisfacción de esta necesidad los páramos y ecosistemas forestales cumplen un papel preponderante. La investigación se localizó en el bosque protector de la comunidad de Zuleta, parroquia Angochagua, Provincia de Imbabura, como objetivo general se planteó determinar la capacidad de intercepción del agua de niebla y la cantidad aportada al suelo por plantaciones forestales de *Polylepis racemosa* Ruiz y Pavón. La metodología consistió en determinar el tamaño de muestra y la selección aleatoria de los individuos a evaluar, de los cuales se tomó ramas vivas para pesarlas antes y después del evento de niebla, se calculó la saturación de follaje, de igual manera se contabilizó, por muestreo, los foliolos, hojas y ramas de todos los individuos a evaluar para estimar el área foliar. Se recolectó muestras de suelo de la base de los árboles con un recipiente de 300gr para cuantificar el agua de niebla incorporada al suelo, para lo que se pesó las muestras antes y después del evento de niebla; también se realizó un análisis físico del suelo en los dos estratos para relacionarlos con los resultados obtenidos. Se evaluó la velocidad de infiltración, también se colocó un neblinómetro que recolectó el agua de precipitación horizontal en el periodo de investigación. Los resultados obtenidos de la velocidad de infiltración promedio antes del evento de niebla fueron 0,41 y 0,25 cm/segundo después del evento, en la captura de agua por el neblinómetro se recolectó un total de 97 litros de agua durante todo el ensayo, los valores obtenidos del aporte de agua al suelo determinan que en el mes de septiembre tuvo mayor cantidad con 0,62 cm³, mientras que en los meses de julio y diciembre hubo un aporte menor 0,23cm/segundo y 0,24 cm³ respectivamente. Se concluye que la plantación de *Polylepis racemosa* intercepta y aporta el agua proveniente de la precipitación horizontal.

Palabras clave: Intercepción, niebla, plantaciones forestales, saturación, precipitación, infiltración, neblinómetro.

TOPIC: MEASUREMENT OF FOG COLLECTED WATER INTERCEPTION CAPACITY, AND ITS AMOUNTS SUPPLIED TO FOREST SOIL, THROUGH *Polylepis racemosa* , IN THE COMMUNITY OF ZULETA, IMBABURA PROVINCE.

Author: Reyes Bustamante Jose David

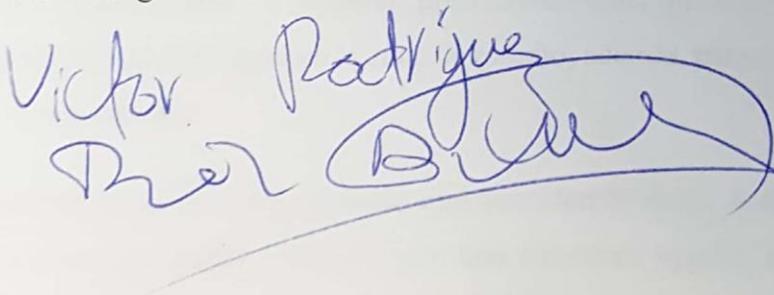
Thesis Director: Mario Añazco PhD.

Year: 2019

ABSTRACT

The population growth in Ecuador is approximately 1.95% per year, generating a greater demand of water for human consumption and irrigation; to satisfy this need, the moorlands (paramos) and forest play an important role. The research was performed in the protective forest in the community of Zuleta-Angochagua, in the province of Imbabura, the general objective is to determine the interception capacity of the fog water and the amount contributed to the soil by *Polylepis racemosa*. The methodology consisted of determining the sample size with a random selection of individuals to be evaluated, live branches were taken to weigh them before and after the fog event, foliage saturation was calculated, through sampling, leaflets, leaves and branches of all individuals were counted in order to evaluate and estimate leaf area. Soil samples were collected from the tree bases with a 300gr container to quantify the mist water incorporated in the soil, the samples were weighed before and after the fog event; a physical analysis of the soil in the two strata was performed to compare them with the results obtained from the research. The infiltration speed was evaluated, and a fog harvesting device was placed to collect the horizontal precipitation water during the research period. The results obtained from the average infiltration rate before the fog event were 0.41 and 0.25 cm / second after the event, the fog harvesting device collected a total of 97 liters of water during the whole research , the values obtained from the contribution of water to the soil determine that in September there was a greater quantity with 0.62 cm³, while in July and December there was a lower contribution of 0.23 cm / second and 0.24 cm³ respectively . It is concluded that *Polylepis racemosa* plantation intercepts and contributes the water coming from the horizontal precipitation.

Keywords: Interception, fog, forest, saturation, precipitation, infiltration, fog harvesting device.

Vicior Rodriguez
Ther B...




CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

El crecimiento demográfico del país es de 1,95% anual, (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos [INEC], 2010), razón por la cual las actividades agrícolas y económicas a futuro incrementarán la demanda de agua, lo cual asociado a los efectos del cambio climático, generan preocupación por el acceso a la cantidad y calidad del recurso. En este contexto y considerando la importancia que tienen los páramos y las plantaciones forestales para el ciclo hidrológico y su influencia en la disminución de la escorrentía y percolación se debe realizar estudios que permitan analizar las interacciones existentes entre la cobertura vegetal y el agua.

Además, existen algunos ingresos de agua a un sistema hidrológico de los cuales la precipitación horizontal tiene una gran relevancia, esta fase varía en función de la época o estación y el tiempo que influye de manera directa en la cantidad de agua, por tal motivo es necesario realizar investigaciones sobre este aspecto hidrológico y su relación con la cobertura vegetal.

En Imbabura los páramos están situados en la cordillera de los Andes y son una fuente natural de regulación hídrica, ya que en este ecosistema no solo existe precipitación vertical, sino también la precipitación horizontal y otras fuentes de agua (acuíferos), que la mayoría de ellos no han sido evaluados.

En la comunidad de Zuleta se localiza el bosque protector Zuleta y anexos que cuenta con 120 hectáreas de *Polylepis racemosa*; de las que mediante muestreo en dos rodales se cuantificó la captura de agua de niebla con base a la intercepción y la cantidad de aporte mediante el procesos de infiltración en el suelo dada por la especie forestal, información que permitirá a comunidades y sectores productivos tener un conocimiento basado en datos cuantitativos del recurso agua en la zona de estudio; además, para que a futuro se pueda valorar este servicio ambiental.

El aporte de agua de niebla al suelo está considerado desde la condensación de gotas en la atmosfera hasta que llegan a toparse con una cobertura vegetal, al ser muy diminutas estas partículas no se precipitan y para poder llegar al suelo vuelan hasta chocar con las ramas y hojas las cuales por medio de su estructura se filtra hasta llegar al suelo.

1.1 Objetivos

1.3.1 General

Determinar la capacidad de intercepción del agua de niebla, y la cantidad de agua aportada al suelo, por plantaciones forestales de *Polylepis racemosa* Ruiz & Pavón, en la comuna Zuleta, provincia de Imbabura.

1.3.2 Específicos

- Determinar la capacidad de intercepción del agua de niebla de la especie arbórea *Polylepis racemosa*, en diferentes estratos.
- Cuantificar la cantidad de agua de niebla que se incorpora al suelo.

1.2 Preguntas directrices

- ¿Qué capacidad de intercepción de agua de niebla presenta la especie arbórea *Polylepis racemosa* en diferentes estratos?
- ¿Cuál es la cantidad de agua incorporada al suelo desde la especie arbórea *Polylepis racemosa*?

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Fundamentación legal

La presente investigación está enmarcada en las políticas de la Constitución de la República del Ecuador en los artículos que se detallan a continuación, de igual manera en el Plan Nacional de Desarrollo vigente en el objetivo tres y por último en los Códigos Orgánicos; de organización territorial y del ambiente, así mismo como en la ley de aguas.

2.1.1 Constitución

La Constitución de la República establece varios artículos a favor de la conservación y cuidado de los recursos naturales, así como en el **Art 71.-** La naturaleza o Pacha Mama, donde se reproduce y realiza la vida, tiene derecho a que se respete integralmente su existencia y el mantenimiento y regeneración de sus ciclos vitales, estructura, funciones y procesos evolutivos, además en el **Art 74.-** Donde las personas, comunidades, pueblos y nacionalidades tendrán derecho a beneficiarse del ambiente y de las riquezas naturales que les permitan el buen vivir. De igual forma en el **Art. 318.-** En su parte pertinente indica que el agua es patrimonio nacional estratégico de uso público, dominio inalienable e imprescriptible del Estado, y constituye un elemento vital para la naturaleza y para la existencia de los seres humanos. Y se prohíbe toda forma de privatización del agua.

También en el **Art. 406.-** El estado regulará la conservación, manejo y uso sustentable, recuperación, y limitaciones de dominio de los ecosistemas frágiles y amenazados; entre estos están, los páramos, humedales, bosques nublados, bosques tropicales secos y húmedos y manglares, ecosistemas marinos y marinos-costeros. Al final el **Art. 411.-** El Estado garantizará la conservación, recuperación y manejo integral de los recursos hídricos, cuencas hidrográficas y caudales ecológicos asociados al ciclo hidrológico. Se regulará toda actividad que pueda afectar la calidad y cantidad de agua, y el equilibrio de los ecosistemas, en especial en las fuentes y zonas de recarga de agua. (Constituyente, E. A. 2008).

2.1.2 Plan Nacional de Desarrollo 2017 - 2021

El presente estudio se enmarca en el objetivo, política y lineamientos estratégicos siguientes:

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

Política y lineamiento estratégico 3.1 Conservar, recuperar y regular el aprovechamiento del patrimonio natural y social, rural y urbano, continental, insular y marino-costero, que asegure y precautele los derechos de las presentes y futuras generaciones, **3.3** Precautelar el cuidado del patrimonio natural y la vida humana por sobre el uso y aprovechamiento de recursos naturales no renovables. (SENPLADES, 2017)

2.1.3 Código orgánico de organización territorial, autonomía y descentralización (COOTAD)

Artículo 136.- Ejercicio de las competencias de gestión ambiental.- Los gobiernos autónomos descentralizados parroquiales rurales promoverán actividades de preservación de la biodiversidad y protección del ambiente para lo cual impulsarán en su circunscripción territorial programas y/o proyectos de manejo sustentable de los recursos naturales y recuperación de ecosistemas frágiles; protección de las fuentes y cursos de agua; prevención y recuperación de suelos degradados por contaminación, desertificación y erosión; forestación y reforestación con la utilización preferente de especies nativas y adaptadas a la zona; y, educación ambiental, organización y vigilancia ciudadana de los derechos ambientales y de la naturaleza. (Decentralizados, 2012).

2.1.4 Código orgánico del ambiente (COA)

Libro primero del régimen institucional.

Título V. servicios ambientales

Artículo 82.- El presente título tiene por objeto establecer el marco general de los servicios ambientales, con la finalidad de tutelar la conservación, protección, mantenimiento, manejo sostenible y la restauración de los ecosistemas, a través de mecanismos que aseguren su permanencia. También el **art. 83.-** Generación de servicios ambientales. El mantenimiento y regeneración de las funciones ecológicas, así como la dinámica de los ecosistemas naturales o intervenidos, generan servicios ambientales que son indispensables para el sustento de la vida y a su vez producen beneficios directos o indirectos a la población y el **art.84.-** Donde muestra los siguientes tipos de servicios ambientales; servicios de aprovisionamiento, servicio de

regulación, servicios de hábitat, servicios culturales y otros que determinen la autoridad ambiental nacional (del Ambiente C. O. , 2017)

2.1.5 Ley de aguas

Título II de la conservación y contaminación de las aguas

Capítulo I de la conservación **Art. 20.-** A fin de lograr las mejores disponibilidades de las aguas, el Consejo Nacional de Recursos Hídricos, prevendrá, en lo posible, la disminución de ellas, protegiendo y desarrollando las cuencas hidrográficas y efectuando los estudios de investigación correspondientes. Las concesiones y planes de manejo de las fuentes y cuencas hídricas deben contemplar los aspectos culturales relacionados a ellas, de las poblaciones indígenas y locales. (Asamblea Nacional, 2014)

2.1.2 Línea de investigación

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

2.2 Fundamentación teórica

2.2.1 La escasez de agua en el mundo

La escasez de agua es un fenómeno que está presente en el planeta desde hace ya muchos años que no solo es ocasionada de forma natural, también en su mayoría es causada por el ser humano. Si bien es cierto que hay suficiente agua potable para abastecer a los 7.000 millones de habitantes no está totalmente distribuida en una forma regular, dado que se desperdicia, está contaminada y no se gestiona sosteniblemente según la Organización Mundial de las Naciones Unidas (ONU, 2014).

La (British Broadcasting Corporation [BBC], 2015) manifiesta que el planeta contiene más de mil millones de billones de litros de agua, pero poca se puede tomar. Más del 97% del agua en la Tierra es salada. Dos tercios del agua dulce están retenidos en glaciares y capas de hielo

polar. De lo que queda, la mayor parte está atrapada en el suelo o en acuíferos subterráneos. Eso deja disponible para la mayoría de los seres vivos una fracción mínima < del 3% y la humanidad no sólo la necesita para tomar: casi todo lo que hace involucra al agua de alguna manera.

“La escasez de agua constituye una amenaza importante al crecimiento económico y la estabilidad en el mundo, y el cambio climático está agravando el problema”, declaró el presidente del Banco Mundial Jim Yong Kim, (2016).

El análisis muestra que, si los países no adoptan medidas para mejorar la gestión de los recursos hídricos, algunas regiones densamente pobladas podrían verse afectadas por largos períodos de crecimiento económico negativo. Pero los países pueden adoptar ahora políticas que los ayudarán a gestionar el agua en forma sostenible durante los próximos años (BBC, 2015).

2.2.2 El ciclo hidrológico

La Hidrología es la ciencia específica que estudia el agua y se ocupa de: su distribución, circulación en la atmósfera y en la corteza terrestre, sus propiedades físicas y químicas, y su relación con el ambiente, incluyendo los organismos vivos. En ese contexto las observaciones científicas respecto de la distribución y circulación del agua continuaron siendo evaluadas hasta llegar a descubrir el denominado ciclo hidrológico o ciclo del agua. (Llambí, Soto, Céleri, Ochoa, Borja & De Bievre, 2012).

El agua entra a los ecosistemas a través de precipitación vertical (lluvia o nieve) y la llamada precipitación horizontal (agua contenida en la neblina e interceptada por la vegetación). Una parte de esta es interceptada por la vegetación y vuelve a la atmósfera por evaporación directa, otra parte de esta se discurre por la superficie (escorrentía) o se infiltra en el suelo y a su vez es absorbida por las raíces de las plantas y vuelve a la atmósfera, a través de la transpiración de las hojas. (Llambí et al, 2012).

El ciclo del agua en los páramos comienza en el momento en que empieza la precipitación y esta penetra en la tierra quedando almacenada. Después se evapora nuevamente y las nubes

la retienen hasta volver a caer en forma de gotas, gracias a esto existe la humedad dentro de estos páramos.

Este proceso de circulación del agua entre los distintos compartimientos de la hidrósfera inicia con la evaporación del agua, y a medida que se eleva el vapor se va transformando en agua, esto es llamado condensación. Estas gotas se juntan y van creando una nube. Luego empiezan a caer las gotas debido a su peso a lo que se llama precipitación. Como se ve en la ilustración 1.

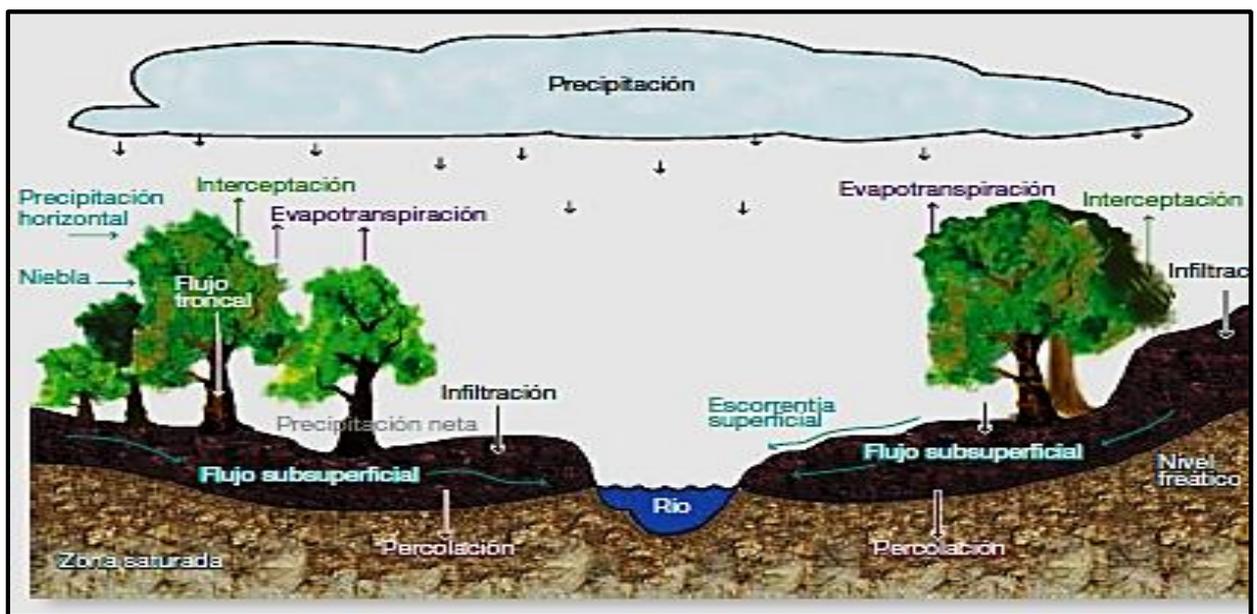


Ilustración 1 Ciclo hidrológico en los bosques andinos

Fuente: Tobón, 2009

Muchas veces a las regiones montañosas se les describe como “las torres de agua del mundo” (Marín y García , 2016). Esta frase está sujeta a debate, pero para los ecosistemas de humedales que se encuentran en las montañas de los Andes altos sobre los 3000m de altitud, existe poca duda. Directa o indirectamente, proporcionan servicios ambientales a más de 100 millones de personas según la (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza [IUCN], 2005). Sin duda, el más importante de estos servicios es suministrar agua confiable para uso urbano, para la agricultura y la industria.

2.2.2.1 La precipitación vertical

Se denomina precipitación vertical a la caída del agua proveniente de las nubes en forma de gotas, granizo y nieve. Esta se produce por el ciclo del agua en el cual se habla de la evaporación del agua llegando a condensarse en la atmosfera para luego caer e incorporarse nuevamente a los lagos, ríos e innumerables fuentes de agua existentes. Esta lluvia es beneficiosa para los seres vivos, de modo que el líquido al evaporarse se purifica, por otro lado cuando el ambiente está muy contaminado ocurre una lluvia ácida y esta es perjudicial.

El agua es el líquido vital para la humanidad y la precipitación vertical es una de las reguladoras del ciclo hidrológico y mantienen un equilibrio biológico en el planeta; sin embargo, todos los extremos son malos debido a que si existe una precipitación muy prolongada y abundante puede generar problemas naturales como inundaciones y deslizamientos (Añazco, 2013).

2.2.2.2 La precipitación horizontal

Para definir este tema el término niebla hace referencia a una suspensión de gotas de agua muy pequeñas en la atmósfera, cerca de la superficie del suelo, esta niebla puede clasificarse de neblina a bruma según su intensidad y se convierten en lluvia al chocar con una superficie montañosa o relieve pronunciado, (Schemenauer y Cerecera, 1994).

La cantidad de agua que producen y depositan estas lluvias están basadas en la densidad de las nubosidades, estas pueden ser desde poco densas, con una cantidad de agua de $0,05 \text{ g/m}^3$, a muy densas con una cantidad de 3 gr/m^3 (Schemenauer y Cerecera, 1994).

Para producirse la lluvia horizontal se necesitan unos parámetros físicos y meteorológicos adecuados, de forma sintética se puede decir que el viento necesita una fuerza razonable, dado que si no, las gotas de agua permanecen en suspensión y no son captadas por las ramas u hojas; estas precipitaciones aumentan cuando la temperatura del aire desciende (Santana, 1987).

2.2.3 El rol del ecosistema forestal y el agua

Un ecosistema forestal a nivel local no incrementa la cantidad de agua, más bien es un usuario importante de este recurso debido a que las plantas lo necesitan para la fotosíntesis y producción de hojas, tallos, frutos, flores, etc. Lo que no hay duda es que estos ecosistemas cumplen una función reguladora en los flujos hidrológicos y la calidad del agua brindando productos y servicios, cabe destacar algunos productos: maderables, no maderables y varios servicios ecosistémicos tales como: regulación hidrológica, control de la erosión, reducción de los deslizamientos, captura de carbono, es un laboratorio natural para la investigación, entre otros. Por esta razón es necesario cuidar y proteger cada uno de estos ecosistemas con un manejo sustentable (Añazco, 2013).

2.2.3.1 Plantaciones forestales

Según la (Food and Agriculture Organization [FAO], 2014) el establecimiento de las plantaciones forestales crece a buen ritmo significativo sin embargo, su contribución aún no llega al 5% del área total de bosques. El 78% de las plantaciones forestales están destinadas a la producción de madera y fibra y el 22% a las plantaciones protectoras que tienen la finalidad principal de la conservación del suelo y del agua. El área de plantaciones forestales ha crecido en unos 2,8 millones de hectáreas anuales durante el periodo entre 2000 – 2005.

El Ecuador tiene una superficie terrestre de 28`356.000 ha, de las cuales, se estima que 14.4 millones de hectáreas de tierra son de uso preferentemente forestal, es decir, más del 50% del territorio nacional; correspondiendo a las plantaciones forestales, alrededor de 163.000 has, que representan el 1.14% de la superficie forestal del Ecuador, (MAE, 2015)

Ligado a esto se estima que tres millones de hectáreas son tierras de uso potencial forestal, las que pueden ser cubiertas con árboles para fines de producción o protección (Corporación de Manejo Forestal Sustentable [COMAFORS] y Asociación de Productores de Teca [ASOTECA], 2007 p. 22-23).

Las plantaciones de *Polylepis racemosa* en los páramos van desde Venezuela hasta Argentina rodeando la cordillera de los Andes y se encuentran en un rango altitudinal entre los 3000 a 4500 msnm con fines de conservación, protección, regulación del agua y el suelo,

(Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales [FLACSO], 2011), en Angochagua existen 300 has de *Polylepis racemosa* en las cuales se establecieron parcelas permanentes de medición por (Cruz, 2015).

2.2.4 La hidrología forestal

La hidrología forestal es la relación de los bosques y el agua que depende de algunos factores como: la zona climática, el periodo del año, la distribución de las especies arbóreas, la densidad de vegetación, la calidad de los bosques y las prácticas de manejo forestal.

Los bosques existentes en cualquier lugar del mundo afectan el balance hídrico e influyen directamente en la calidad del agua disponible en los flujos superficiales y subterráneos mediante: la intercepción de la lluvia, captura de humedad de los suelos, evaporación de las superficies vegetales, la evapotranspiración de los árboles y la infiltración del suelo (Holfer, 2014).

A nivel de estructura forestal de captación de agua de niebla, es necesario nombrar los estudios de Kämmer (1974) quien estudió los diferentes efectos de la humectación en diferentes especies vegetales, así como su relación con la cantidad de precipitación de niebla captada, dejando en conclusión que las hojas de tipo acicular captan más agua que las hojas de limbo ancho, debido a que su estructura es difícil el contacto y adherencia de la gota con la hoja.

2.2.5 El rol del páramo andino

Hofstede, citado por Consejo Interuniversitario de flamenco de Bélgica (VLIR, 2004). El páramo es un ecosistema que se extiende en forma discontinua entre las latitudes de 11° norte y 8° sur, principalmente en Venezuela, Colombia y Ecuador, con pocos afloramientos más hacia el norte en Costa Rica y Panamá y hacia el sur en el norte del Perú.

De acuerdo a la, (IUCN, 2005) el páramo provee servicios ambientales a más de 100 millones de personas, es el mayor abastecedor de agua de la región de los Andes de Colombia y Ecuador, en menor medida de Venezuela y Perú. Debido a que la extracción de agua

subterránea es escasa y difícil de acceder, el agua superficial del páramo es la más importante para las ciudades mayores así como para la mayoría del área agrícola y ganadera.

El agua es destinada para uso urbano, industrial y agrícola, en el valle interandino conocido como la sierra y las planicies de la costa. En muchos lugares, la extracción de agua se combina con pequeñas plantas hidroeléctricas.

El páramo alberga especies de plantas endémicas, adaptadas a las condiciones físico-químicas y climáticas específicas, tales como la baja presión atmosférica, radiación ultravioleta intensa, y los efectos de secado por el viento Luteyn, (1992) la vegetación consiste principalmente en pajonales, rosetas, arbustos pequeños y musgos (Hofstede, 1995).

2.2.6 Estructura de suelos de páramo

La mayor parte de los suelos de páramos ecuatorianos tienen influencia de cenizas volcánicas; su material parental está constituido por lutitas, calcáreas, areniscas y cenizas volcánicas. Los suelos son generalmente negros, debido a que la baja presión favorece a la acumulación de materia orgánica en el suelo, esta acumulación es reforzada por la formación de complejos organometálicos fuertemente resistentes a la destrucción microbiana que los convierten en suelos oscuros y de estructura abierta y porosa, (Beltrán, Salgado, Cuesta, León-Yáñez, Romoleroux, Ortiz, y Velástegui, 2009) sumado a esto la presencia de una red intrincada de raíces y rizomas que forman parte de la cubierta vegetal de los páramos, permiten una gran capacidad de retención de agua en el suelo.

Además, son fundamentales para la regulación hidrológica, no son “fábricas de agua” como comúnmente se cree. Estos ecosistemas tienen la característica fundamental de almacenar y regular el agua que reciben de las precipitaciones y del descongelamiento de los glaciares. La alta tasa de capacidad de retención de agua (del 70% hasta el 200% en suelos andisoles) es debida a la alta porosidad y a la morfología de ciertas plantas que actúan como verdaderas esponjas (Añazco, 2013).

2.2.7 Captación del agua de niebla

La niebla está compuesta por diminutas gotas de agua (1-40 μm de diámetro) suspendidas en el aire, formando una nube en contacto con la superficie de la tierra. El fundamento de la captación pasiva de agua de niebla se basa en la condensación de estas diminutas gotas sobre la superficie de una malla (de polipropileno, por lo general). Posteriormente descienden por la malla y se recogen en una canaleta situada en la parte inferior de la estructura, que conduce el agua hasta un depósito (Asociación Zabalketa, 2014).

2.2.8 *Polylepis racemosa*

Es un árbol que puede alcanzar ocho metros de altura, con fuste recto y corteza con láminas membranosas exfoliables de color amarillento, de copa amplia con flores y frutos poco conspicuos; su rango altitudinal óptimo está entre los 2600 hasta 4000 msnm. Se le considera una de las especie de más rápido crecimiento entre las de su género; crece bien en suelos franco-arcillosos y franco arenosos pocos profundos con altos porcentajes de pedregosidad; requiere medios a altos y constantes niveles de humedad. Esta especie ubicada en su hábitat natural es beneficiosa para el ciclo hidrológico ya que regula las fuentes de agua sobre los ecosistemas, (Arica, 2004).

Durante los últimos años se han iniciado planes de reforestación en los páramos andinos del Ecuador, enfocados a proteger las fuentes de agua, una de las especies utilizadas es *Polylepis racemosa*, debido a que esta especie presta la captación del agua de niebla, si bien, esta especie se ha utilizado para procesos de restauración ecológica y protección de fuentes de agua en los páramos, sin embargo, aún no se ha obtenido resultados concretos debido a que faltan muchos factores por ser analizados (Lojan , 1992).

2.2.9 Experiencias sobre el tema

Existen algunas investigaciones relacionadas al tema de la captura de agua de niebla, una de ellas es (Asociación ZABALKETA, 2014), tomando esto en consideración se planteó un proyecto piloto para conocer las posibilidades que este mecanismo eficiente e innovador ofrece

como alternativa para la obtención del recurso hídrico en zonas identificadas, dando como resultado que esta técnica es viable desde el punto de vista técnico, ambiental. Económico y social, dando alternativas en un 90% confiable de agua para la población, con fines forestales u otros usos.

Tobón y Gil (2007), en el Departamento de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional de Colombia, realizaron investigaciones en el páramo de Guerrero sobre la capacidad de interceptación de niebla por las coberturas vegetales: bosque natural, frailejón y pasto; donde evidenciaron que la captación difiere considerablemente entre tipos de cobertura y la densidad de los eventos de niebla, existiendo una relación directa entre biomasa e interceptación.

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Ubicación del sitio

3.1.1 Política

El estudio se realizó en el periodo julio- diciembre 2017 en el Bosque Protector Zuleta y Anexos pertenecientes a la comunidad Zuleta, parroquia Angochagua, ubicado a 24 km al sur de la cabecera cantonal San Miguel de Ibarra, provincia de Imbabura.

3.1.2 Geográfica

El sitio de investigación se encuentra a $78^{\circ}2'42,19''$ de longitud W, $0^{\circ}13'4,23''$ de latitud N. entre 3.500 – 3.720 msnm de altitud.

3.1.3 Límites

Según el (Ministerio del Ambiente [MAE] 2012) menciona que el sitio de estudio al Norte limita con Huanoloma y la quebrada de Yanayacu a 3.500 msnm, hacia la parte occidental con Angochagua y la laguna del Cunrro. Al sur, hacia la derecha limita con la loma Quillil. Hacia la izquierda limita con la loma Santa Rosa. Al este, limita con la loma de Runahuaña Guamaná y al oeste, la loma Pan de Azúcar y la quebrada Curiquingue.

3.2 Datos climáticos

En Angochagua la temperatura media anual es de $9,84^{\circ}\text{C}$, la precipitación media anual es de 1.054,40 mm, los meses más lluviosos van de febrero hasta abril, mientras que los meses de menor precipitación son de julio a octubre, la heliofanía del sector según (Meteoblue, 2018) es de 5 – 6 horas por día.

El sitio se encuentra en la formación vegetal Bosque siempre verde montano alto y montano alto superior de páramo ubicada entre 3.200 hasta 3.900-4.100 m.s.n.m (MAE, 2012).

3.3 Materiales, equipos, insumos y software

Los materiales y equipos que se utilizó para el desarrollo de la investigación se detallan en la tabla 1

Tabla 1

Componentes que se utilizaron en la investigación

Materiales	Equipos	Software e Insumos
Cinta métrica (50 m).	Balanzas.	ArcGis 10.1
Cuerda.	Calibrador.	InfoStat versión 2017
Fundas para la recolección de vegetación y suelo (Zipper)	Cámara fotográfica.	Microsoft Excel.
Letreros.	Computadora.	Microsoft PowerPoint
Machete.	Estufa.	Microsoft Word.
Martillo.	GPS.	Past 3
Pala.	Horno.	Ramas de <i>P. racemosa</i> .
Recipiente receptor de agua.	Infiltrómetro de anillo.	Tierra del sitio.
Tubos PVC.	Neblinómetro.	
Útiles de escritorio.	Pluviómetro	
	Segueta.	

Elaborado por: Jose David Reyes Bustamante

3.4 Metodología

La naturaleza de la investigación requirió plantear una metodología por cada objetivo propuesto.

3.4.1 Determinación de la capacidad de intercepción del agua de niebla de la especie arbórea *Polylepis racemosa*.

La toma de datos del presente estudio se realizó durante el periodo julio – diciembre, época en la cual la presencia de niebla generalmente es mayor según lo mencionan los moradores de la comunidad de Zuleta, se seleccionaron dos rodales separados por la vegetación arbustiva del resto de la plantación, a los cuales se los denominó como estratos; alto (mayor altura de los

árboles entre 2,3 - 7,5m), bajo (menor altura de los árboles entre 2,3 - 2,8m); cabe indicar que los estratos se encuentran divididos por una vía de tercer orden.

Se determinó el número de individuos a ser evaluados mediante la aplicación de las ecuaciones del tamaño de muestra (n) y tamaño de muestra ajustado (n_a). Los parámetros considerados fueron en función del diámetro basal expresado en centímetros.

La población se determinó a partir del distanciamiento 3 x 4m y la superficie de los rodales, 585m² para el estrato alto y 450m² para el estrato bajo visualizados en el anexo 2 figura 15, con un total de 87 árboles. Se midieron aleatoriamente 40 individuos de los que se calculó la varianza, se empleó el valor de la “t” de Student al 5% de probabilidad estadística; y como error de muestreo se consideró el valor del error estándar de la media. Se obtuvo un tamaño de muestra de 9,86 equivalentes a 10 individuos (cinco por estrato), que representa una fracción muestral del 11,49% de la población; con un error de muestreo de 10,1%.

$$n = \frac{t_{\alpha}^2 S^2}{E^2}$$

Ec. (1)

Donde

n = Tamaño de muestra

t_α = Valor tabular de la “t” de Student

S² = Varianza

E = Error

$$n_a = \frac{n}{1 + \frac{n}{N}}$$

Ec. (2)

n_a = Tamaño de muestra ajustado

n = Tamaño de muestra

N = Población

3.4.1.1 Determinación del área foliar.

Se determinó el promedio del área foliar de los árboles y de las muestras vivas con el fin de inferir la intercepción del agua de niebla, donde se utilizó la metodología de Albir, Molina, Rovira, y Torres (1989) para el cálculo del área foliar del ensayo, se calculó la superficie de las hojas, para lo que se seleccionó cinco hojas de diferentes tamaños al azar de cada árbol (ramas vivas, 25 por estratos). Donde se perfiló el contorno de las hojas en láminas de papel milimetrado para definir el área en centímetros cuadrados, después se calculó la media y se obtuvo la superficie promedio de una hoja, (Figura 1).



Figura 1. Determinación de la superficie de una hoja
Elaborado por: Jose David Reyes Bustamante

Para cuantificar el número de hojas y ramas se aplicó el método de muestreo de ramas propuesta por Cancino, (2012) en la figura 2 dónde especifica:

- a) Nodos (definir un punto de una rama o parte de una rama que se divide en dos o en más ramas).
- b) Segmentos (una parte entre dos puntos de ramas consecutivas).
- c) y d) Paths (es un segmento sin nodos en su extremo final).

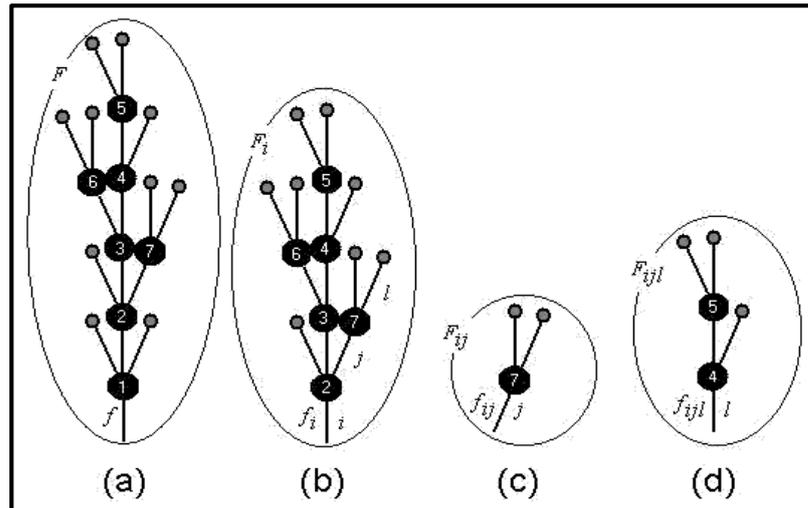


Figura 2. Esquema idealizado de un árbol con 7 nodos y 17 segmentos
Fuente: Cancino, 2012

Una vez determinado el número el número de ramas nodos y segmentos (no se observaron paths) se obtuvo el número total de hojas por árbol muestreado. Con base al área foliar promedio y la cantidad de hojas por individuo se calculó el área foliar por árbol y se extrapoló a la población; para ello, mediante el análisis de regresión exponencial, se obtuvo la ecuación de estimación del área foliar en función del diámetro basal (db) transformado ($1/db$), con un coeficiente de determinación de la regresión (R^2) superior al 0,7.

3.4.1.2 Determinación de agua de saturación de follaje.

Según la metodología de Tobón y Gil (2007) para cuantificar la cantidad de agua de la niebla que es interceptada por la vegetación arbórea hasta el punto de saturación (las ramas empiezan a gotear), del número de individuos seleccionados, se recolectaron tres muestras vivas (ramas) por individuo es decir 30 muestras, las cuales fueron expuestas a un evento de niebla en cada mes evaluado, (anexo 12.m).

Las dimensiones de las ramas a evaluadas fueron de 1m de longitud y el de 4cm diámetro, se colgaron en dirección perpendicular al viento predominante por cada evento de niebla en perchas de madera de 1,8 m de altura y 2 m de longitud (anexo 12.n).

Se registró el peso de las muestras antes y después del evento de niebla (una vez evidenciada la saturación foliar), por el método termo-gravimétrico se determinó la diferencia gravimétrica como representa la siguiente ecuación.

$$\Delta g = Pf - Pi$$

Ec. (3)

Dónde:

Δg = Diferencia gravimétrica

Pf = Peso final (g)

Pi = Peso inicial (g)

Con base a la densidad de agua se determinó el volumen del agua de saturación de follaje y posteriormente se la transformó a lámina de agua (1mm = 1 litro/m²) para relacionarla con el tiempo de duración de los eventos de niebla, y finalmente calcular la tasa de intercepción expresada en milímetros por hora.

$$\text{Tasa de intercepción} = \frac{\text{Lámina de agua (mm)}}{\text{Tiempo del evento (hora)}}$$

3.4.2 Cuantificar la cantidad de agua de niebla que se incorpora al suelo.

Según la metodología de Tobón y Gil (2007) para determinar la cantidad de agua de niebla que se drena o gotea al suelo desde la especie arbórea se tomó en cuenta el siguiente procedimiento.

- a) Se tomó muestras de suelo en los primeros 5cm de profundidad antes y después de cada evento (presencia de neblina), estas muestras fueron recolectadas en un recipiente de 300 cm³ de volumen.

- b) Para determinar el contenido de humedad, las muestras fueron pesadas después de su recolección antes del evento de niebla (peso inicial) y después del evento (peso final), donde el resultado final se transformó de cm^3 a mm/hora (lámina de agua).
- c) Las muestras de suelo fueron envueltas en fundas plásticas de tal manera que se mantenga la humedad hasta llevarlas al laboratorio de anatomía de maderas y xiloteca de la Universidad Técnica del Norte, para analizar el contenido de humedad mediante el método de la estufa.
- d) Las muestras de suelo fueron secadas al horno a una temperatura aproximada de 60°C durante 72 horas para determinar el peso seco de la muestra. El muestreo se realizó durante seis meses (julio, agosto, septiembre, octubre, noviembre, diciembre) en cada mes se registró un evento de niebla, en donde por cada fenómeno se recolectaron las muestras de suelo a la profundidad mencionada. Con estos parámetros se determinó el contenido de humedad en términos gravimétricos a partir de la siguiente ecuación.

$$Hg = \frac{Ph - Ps}{Ps}$$

Ec. (4)

Dónde:

Hg = Humedad gravimétrica (gr/cm^3)

Ph = Peso húmedo (gr), antes o después del evento

Ps = Peso seco al horno (gr).

Se utilizó un registró de la estación meteorológica más cercana (Yuyucocha) tomando nota de los fenómenos climáticos, donde se evidenció principalmente; la pluviosidad (presencia o ausencia de lluvia), nubosidad (alta, media, baja o nula) y presencia de neblina (alta, media, baja o nula), (anexo 2).

También se evaluó la velocidad de infiltración en $\text{cm}/\text{segundo}$ del agua en el suelo con un Infiltrómetro de $240,33 \text{ cm}^3$ que se colocó en la base de cada árbol retirando la cobertura vegetal para que tenga un contacto directo con el suelo, al cual se le introdujo agua en el anillo

del mismo y se tomó el tiempo en el cual el agua fue absorbida totalmente en el suelo antes y después de cada evento de niebla, información que fue considerada para la estimación del aporte de agua al suelo.

De igual forma se colocó un neblinómetro de 7,5 m² en la zona de estudio conjuntamente con un recipiente donde se receiptó el agua obtenida para constatar cuantos milímetros de agua se colectó en la duración de todo el ensayo.

3.4.3 Análisis de suelo

Se tomaron muestras de 1 kg de suelo que fueron enviados al laboratorio de Agrocalidad donde se determinaron las propiedades de: densidad aparente, densidad real, porosidad, humedad equivalente, capacidad de campo, punto de marchitez, agua aprovechable, textura y clase textural en los dos estratos, con el fin de definir las características que tiene el suelo del sitio de estudio.

3.4.4 Análisis estadístico

El análisis se realizó con base a las medidas estadísticas centrales y de dispersión (media, desviación estándar, error estándar de la media, coeficiente de variación) además de prueba de “*t*” de Student Aguirre y Vizcaino, (2010) para comparar la cantidad de agua aportada al suelo entre el estrato alto (altura mayor) y el estrato bajo (altura menor), cuyas ecuaciones se indican en la Tabla 2.

Las variables dasométricas (diámetro a la altura del pecho, diámetro basal, número de ramas, altura total, área de copa).

Tabla 2*Estimadores estadísticos*

Medida estadística	Ecuación
Media	$\bar{x} = \frac{\sum x}{n}$
Varianza	$S^2 = \frac{\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n}}{n-1}$
Coefficiente de variación	$CV = \frac{S}{\bar{x}} \times 100$
Error estándar de la media	$S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{S^2}{n}}$
Prueba de “t” de Student	$t_c = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{S_{x_c}}$

Elaborado por: Jose David Reyes Bustamante

3.5 Análisis de regresión

Con la finalidad de conocer cuál es la tendencia de comportamiento y la relación entre las variables dasométricas se realizaron análisis de regresión lineal, logarítmica, exponencial y polinómica.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Determinar la capacidad de intercepción del agua de niebla de la especie arbórea *Polylepis racemosa* en diferentes estratos.

Con base al primer objetivo propuesto se calculó la saturación de follaje y el área foliar de la planta.

4.1.1 Determinación del área foliar

El área de una hoja de *Polylepis racemosa* va desde 10,2 cm² a 13,4 cm², en cuanto al área foliar es de 4,54m²/árbol, siendo superior el estrato alto con 5,71m²/árbol. Cabe mencionar que se obtuvieron coeficientes de variación indicando que los datos son relativamente heterogéneos (tabla 3)

Tabla 3

Determinación del área foliar

Estadístico	General	Estrato alto	Estrato bajo
Media	4,54	5,71	3,37
Error estándar de la media	0,55	0,59	0,58
Desviación estándar	1,75	1,32	1,30
Varianza de la muestra	3,06	1,75	1,68
Coeficiente de variación	38,50	23,13	38,55
Mínimo	1,85	4,38	1,85
Máximo	7,33	7,33	4,99
Suma	45,40	28,57	16,83
t de Student calculada			1,79
Significancia			no significativo
t $\alpha_{0.05}$			2,306
t $\alpha_{0.01}$			3,355

Elaborado por: Jose David Reyes Bustamante.

Con la finalidad de determinar el modelo idóneo para estimar el área foliar se realizó en primera instancia una regresión lineal con el diámetro basal como variable independiente, donde se observa una relación directamente proporcional con un coeficiente de correlación (R)

de 0,8398 valor altamente significativo al 1% de probabilidad estadística, además se obtuvo un coeficiente de determinación de la regresión (R^2) de 0,7052.

Mediante la aplicación del análisis de regresión exponencial se obtuvo un R^2 de 0,7474, levemente superior al registrado en la regresión lineal, lo que permite inferir un buen ajuste a la curva y por lo tanto calcular estimaciones confiables; por lo que, la aplicación de la ecuación cinco permite estimar el área foliar en función del diámetro basal transformado; cabe mencionar que la tendencia a “J” invertida se debe principalmente a la transformación de la variable diámetro basal debido a que al realizar el cociente se invierte la proporcionalidad entre área y diámetro basal. Es preciso indicar que las hojas del *Polylepis racemosa* están distribuidas en mayor proporción en el extremo de la rama (Ver figura 3).

$$\text{Área foliar} = 25,284e^{-22,57(1/db)}$$

Ec. (5)

Dónde:

e = Constante (2,54).

db = Diámetro basal.

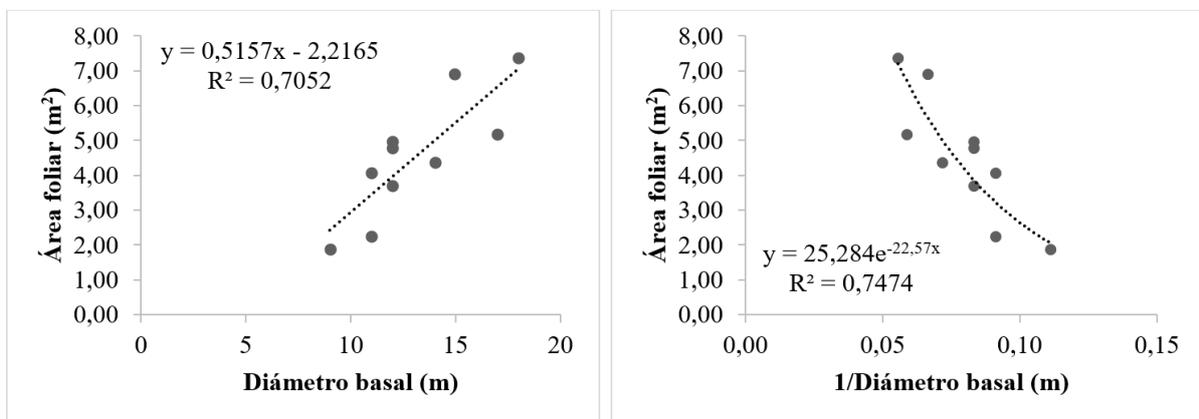


Figura 3. Modelos de regresión para la estimación del área foliar.

Elaborado por: Jose David Reyes Bustamante.

Colmenares, Rada, y Luque, (2005) indican que para el cálculo de área foliar del *Polylepis sericea* obtuvieron un valor de 10,65 cm²/hoja en Mucubaji, en cambio en Loma Redonda determinaron 9,8 cm²/hoja, mientras que en la presente investigación las hojas de *Polylepis racemosa* posee un promedio de 11,8 cm²/hoja, esta diferencia se debe a que, a pesar de que *Polylepis sericea* posee un mayor número de folíolos (5-7) los cuales son característicos de la especie y estos son más pequeños.

4.1.2 Determinación de agua de saturación del follaje

El agua de saturación de follaje fue de 0,53 mm/hora, siendo superior en el estrato alto con 0,65 mm/hora (lámina de agua). Cabe recalcar que se obtuvieron coeficientes de variación que indican relativa heterogeneidad sin embargo las medias son representativas en función de sus respectivos errores estándar, cabe recalcar que en lo que respecta a la prueba de “t” de student no se evidencia diferencias representativas al nivel del 5% de probabilidad estadística (tabla 4).

Tabla 4

Saturación de follaje en milímetros por hora

Estadístico	General	Estrato alto	Estrato bajo
Media	0,53	0,65	0,41
Error estándar de la media	0,06	0,10	0,03
Desviación estándar	0,20	0,22	0,07
Varianza de la muestra	0,04	0,05	0,01
Coefficiente de variación	37,10	32,95	17,50
Mínimo	0,32	0,33	0,32
Máximo	0,83	0,83	0,48
Suma	5,34	3,27	2,07
<i>t</i> de Student calculada			1,50
Significancia			no significativo
$t_{\alpha 0.05}$			2,306
$t_{\alpha 0.01}$			3,355

Elaborado por: Jose David Reyes Bustamante

Del análisis de saturación de follaje se determina que la plantación en general aporta 4,77 litros/ha, para que se sature completamente la cobertura vegetal del árbol y se puede decir que

a mayor altura (estrato alto) se necesita mayor cantidad de litros de agua para saturarse dependiendo de cada especie y forma de las hojas, (ver figura 4).

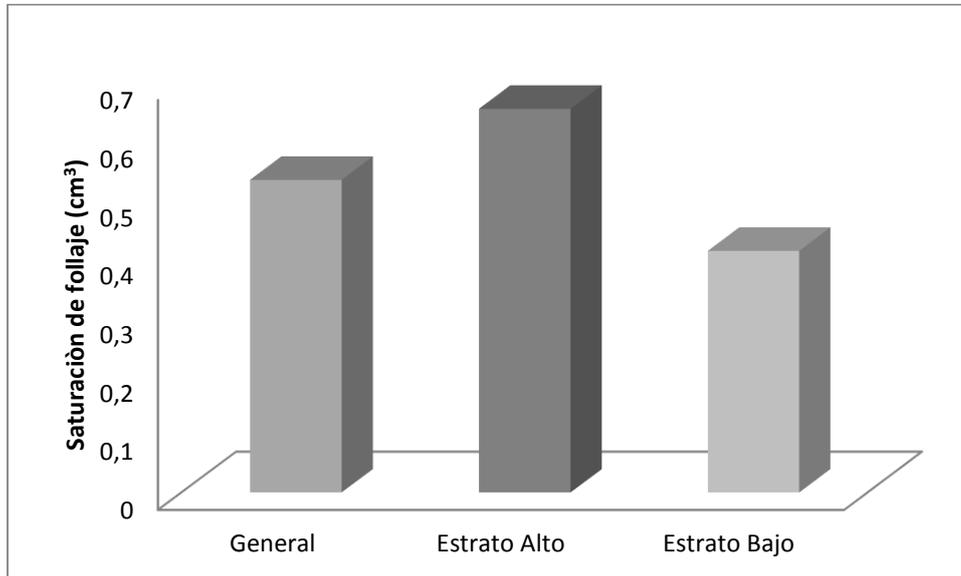


Figura 4. Promedio en mm/hora de agua de saturación.
Elaborado por: Jose David Reyes Bustamante

Ritter, Regalado, Aschan, y Gómez, (2005) determinaron 0,38 mm/hora de saturación de follaje y comparada con la presente investigación que fue de 0,53 mm/hora, valor superior al calculado en la investigación citada, debido a que *Myrica faya* tiene hojas más grandes pero sin pubescencia que implica una menor intercepción de agua de niebla.

4.2 Cantidad de agua de niebla que se incorpora al suelo.

Con base a los aspectos metodológicos se obtuvo los siguientes resultados.

4.2.1 Aporte de agua al suelo

Los valores obtenidos del aporte de agua al suelo determinan que en el mes de septiembre tuvo mayor cantidad de humedad con $0,62 \text{ cm}^3$, mientras que en los meses de julio y diciembre

hubo un aporte menor 0,23 y 0,24 cm³ respectivamente. Se evidencia mayor homogeneidad en el estrato alto en relación a los valores promedios mensuales (Ver figura 5).

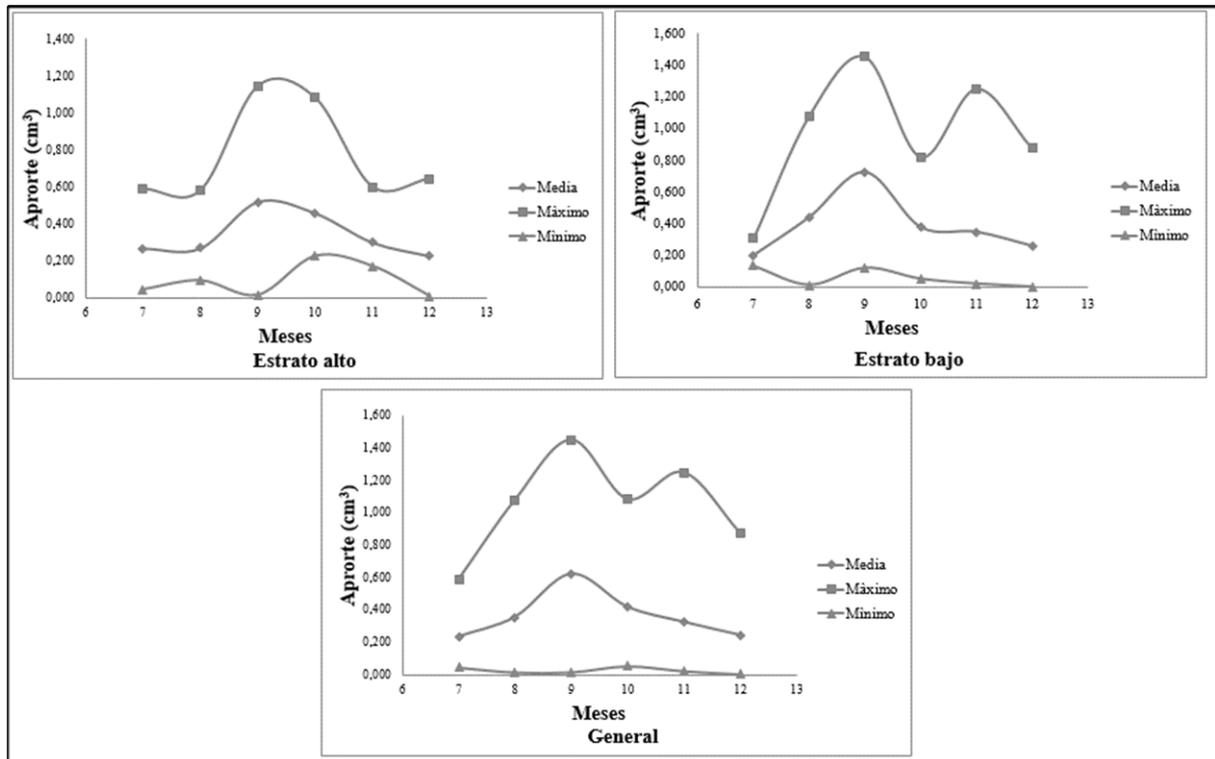


Figura 5. Aporte de agua al suelo.

Elaborado por: Jose David Reyes Bustamante.

Al realizar la prueba de “t” de Student se evidencia que el aporte de agua al suelo es estadísticamente similar al nivel del 5% de probabilidad estadística entre los estratos analizados, sin embargo matemáticamente se observa un aporte de agua al suelo de 0,37 cm³ y mayor en el estrato bajo con un 0,39 cm³ por plantación de *Polylepis racemosa* y el aporte de agua al suelo transformado a milímetros por hora se obtuvo una ganancia de peso general de 0,030 y de igual forma superior en el estrato bajo con 0,033mm/hora. (Ver tabla 5)

Tabla 5*Análisis del aporte de agua al suelo en cm³ y mm/hora*

Estadístico	Milímetros por Hora			Centímetros cúbicos		
	General	Estrato alto	Estrato bajo	General	Estrato alto	Estrato bajo
Media	0,030	0,028	0,033	0,37	0,34	0,39
Error estándar de la media	0,005	0,008	0,008	0,06	0,09	0,10
Desviación estándar	0,017	0,017	0,018	0,20	0,21	0,22
Varianza de la muestra	0,00029	0,00030	0,00034	0,04	0,04	0,05
Coefficiente de variación	55,936	61,573	56,303	55,86	61,47	56,25
Mínimo	0,006	0,014	0,006	0,08	0,16	0,08
Máximo	0,056	0,056	0,055	0,67	0,67	0,66
Suma	0,304	0,141	0,163	3,65	1,69	1,96
t de Student calculada		0,25			0,25	
Significancia		no significativo			no significativo	
t _{α0,05}		2,306			2,306	
t _{α0,01}		3,355			3,355	

Elaborado por: Jose David Reyes Bustamante

Del análisis de aporte de agua al suelo, si bien no existió diferencia estadística, matemáticamente se evidencia que el estrato bajo genera mayor aporte, debido a que en este existe la presencia de pajonal que también intercepta la precipitación horizontal e incrementa la cantidad de agua presente en el suelo, mientras que en el estrato alto la vegetación asociada a la plantación está compuesta principalmente de vestigios de pastizales (Ver figura 6)

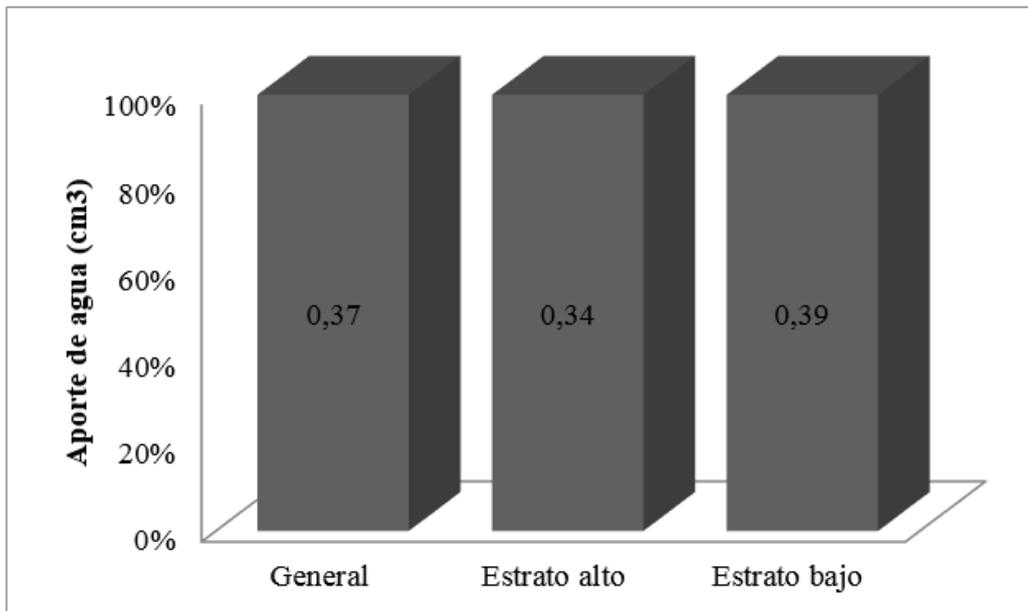


Figura 6. Aporte de agua entre estratos.
 Elaborado por: Jose David Reyes Bustamante.

En el estudio de Tobón y Gil, (2007) se logró una cantidad aportada al suelo por el bosque nativo de 0,129 mm/hora y en el presente estudio realizado en Zuleta es de 0,030 mm/hora, debido a que en el bosque nativo existe mayor diversidad de especies y por consecuencia existe más densidad que incrementa el aporte de agua al suelo.

4.2.3 Velocidad de infiltración

Se obtuvo una velocidad de infiltración promedio de 0,41 cm/s antes del evento de niebla y un 0,25 cm/s después del mismo, debido al incremento de humedad suscitado, (figura 7).

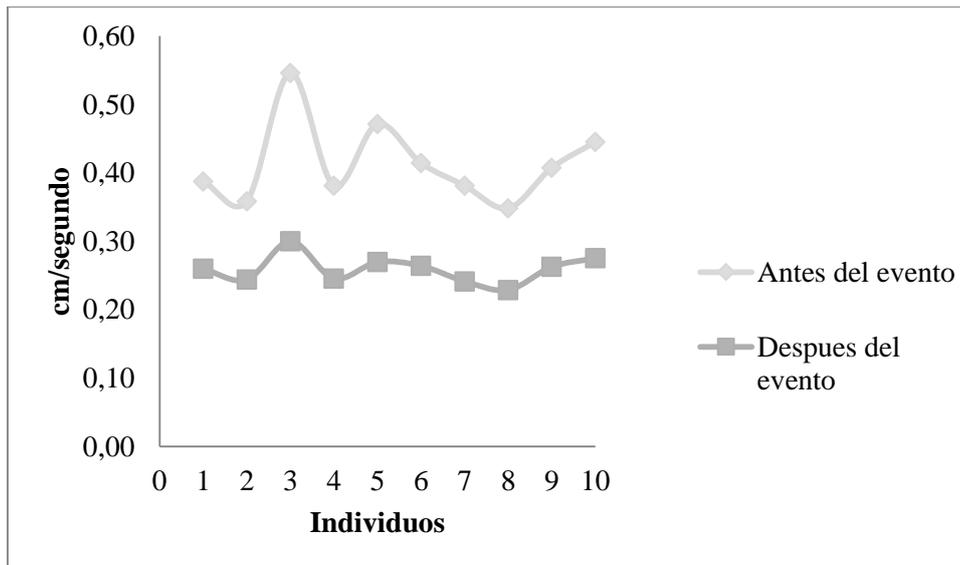


Figura 7. Velocidad de infiltración
Elaborado por: Jose David Reyes Bustamante

La prueba de t de Student muestra que la velocidad de infiltración del agua es estadísticamente muy diferente, siendo el tiempo después del evento mayor en 0,15 cm/s, esta diferencia se debe a la saturación de agua en el suelo resultante del evento de niebla, (tabla 6).

Tabla 6

Análisis estadístico de la velocidad de infiltración

Estadístico	Antes del evento	Después del evento
Media	0,41	0,25
Error estándar de la media	0,01	0,006
Desviación estándar	0,059	0,02
Varianza de la muestra	0,0035	0,0004
Coefficiente de variación	14,38	7,84
Mínimo	0,34	0,22
Máximo	0,54	0,30
Suma	4,14	2,59
t de Student calculada		15,572697
Significancia		Altamente significativo
ta0.05		2,101
ta0.01		2,878

Elaborado por: Jose David Reyes Bustamante

En la investigación del páramo de Paluguillo (Papallacta) Arcos, (2010), en el bosque de polylepis la tasa de infiltración fue de 0,95 cm/s. Por otro lado en la presente investigación la tasa de infiltración antes del evento de niebla fue de 0,41 cm/s y 0,26 cm/s después del evento de niebla, esta variación se debe a que en coberturas vegetales que tienen actividades de agricultura, pastoreo y quemas influyen directamente en la vegetación por ende la tasa de infiltración es más alta.

4.2.4 Análisis de suelos

Los resultados obtenidos sobre los análisis de suelo, se evidencia una variación en densidad aparente y arena son relativamente superiores en el estrato alto, las otras variables presentan valores más altos el estrato bajo. El estrato alto presenta una clase franco arenoso que difiere con el estrato bajo que presenta una clase franco, (anexos 9 y 10).

En la investigación de Carúa, Proaño, Suarez, y Podwojevski, (2008) sobre la sub cuenca de Mejía-Pichincha en páramos intervenidos, no intervenidos y alterados, en las variable de clase textural muestra un suelo franco arenoso en todos los tipos, en cambio en la investigación de Zuleta existe una leve diferencia en lo que respecta a los porcentajes de arena limo y arcilla del orden de 2-6% entre estratos, por este motivo el suelo de los mismos se ubica en clases texturales diferente, esto se debe a que en el estrato bajo tiene menor cantidad de arena, por lo tanto es un suelo franco.

En la porosidad existen variaciones en el suelo, no intervenido con 61%, alterado con *Pinus sp.* un 55% y llegando por debajo del 50% en los páramos muy alterados (Quichimbo, et al, 2012) en la investigación realizada en Zuleta con respecto al estrato alto existe una porosidad de 57% y en el estrato bajo un 62%, se presume que las actividades antrópicas en os suelos de páramo generan una compactación que a su vez disminuye la porosidad de los suelos.

4.2.5 Registro de los parámetros climatológicos

El registro climatológico donde se evidencia mayor presencia de pluviosidad es el día 19 de agosto con 55,9 mm, pero desde la tercera semana de septiembre hasta los últimos días de

diciembre hubo un incremento en los días de precipitación, durante el periodo de investigación se obtuvo una precipitación total de 373,1 mm, (figura 8)

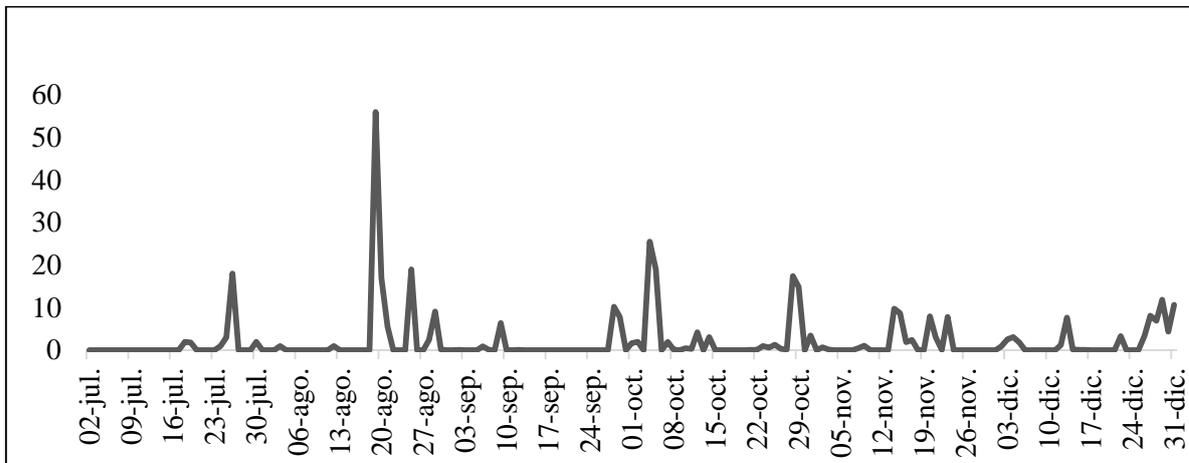


Figura 8. Registro de los parámetros climatológicos
Elaborado por: Jose David Reyes Bustamante

Se registró un 62,5% de días sin lluvia y el restante se subdivide en alta, mediana y baja precipitación con el 37,5%. Se evidencio presencia de nubosidad durante todo el periodo de evaluación; cabe recalcar que la densidad media fue la más frecuente, con un porcentaje del 67,4. En lo que respecta a la neblina esta se evidencio de manera constante durante el periodo evaluado a excepción de 12 días, equivalente al 6,5%, donde no se evidenció este fenómeno, (figura 9).

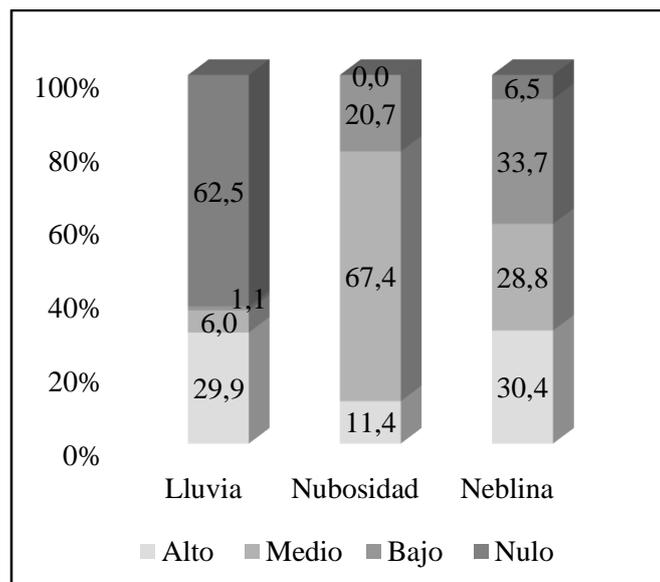


Figura 9. Fenómenos ocurridos en el registro climatológico.
Elaborado por: Jose David Reyes Bustamante

4.2.6 Captura de agua por Neblinómetro

El agua capturada a través del neblinómetro de 7,5 m² durante los seis meses de investigación tuvo como resultado un mayor incremento en el mes de agosto con 32 litros y el mes con menor cantidad de recolección fue el mes de septiembre con cuatro litros; es probable que esto se deba a la presencia de chubascos o lloviznas suscitadas en el área de estudio periódicamente debido a las características propias del ecosistema; cabe aclarar que, el neblinómetro, capto agua de las precipitaciones horizontal y vertical en total se logró capturar 97 litros desde el establecimiento del ensayo hasta que se terminó el ensayo (figura 10).

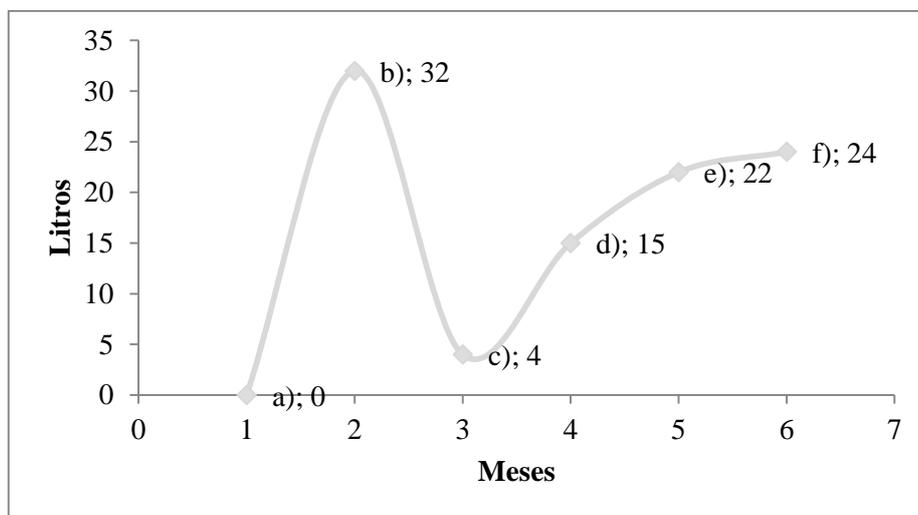


Figura 10. Captura de agua por neblinómetro
Elaborado por: Jose David Reyes Bustamante

Las tecnologías de captación del agua de niebla, conocida también como atrapaniebla o neblinómetros, permite la obtención de una fuente adicional de agua, cerca del volcán Pululagua están situados seis neblinómetros con una superficie de 18 m² cada uno los cuales atrapan 1,1 litros/m²/diario Arboleda, (2015), de igual manera en el presente estudio se elaboró un atrapaniebla de 7,5 m² donde se obtuvo 0,085 litros/m²/diario, cabe recalcar que el neblinómetro fue establecido en la zona de plantación la cual también intercepta la neblina, mientras que en Pululagua no existe vegetación que intercepte el agua de niebla.

4.2.7 Análisis de regresiones

Al realizar el análisis de regresión logarítmica entre la saturación de follaje y altura se evidencia que existe una relación directamente proporcional y mejor ajuste a la recta con un coeficiente de determinación (R²) de 0,90. En la relación entre las variables saturación de

follaje y diámetro basal con un análisis de regresión polinómica de segundo orden un (R^2) de 0,73. Mientras que el análisis de regresión polinómica de tercer orden entre saturación de follaje y área foliar presentó un coeficiente de determinación de regresión (R^2) de 0,67 (figura 11).

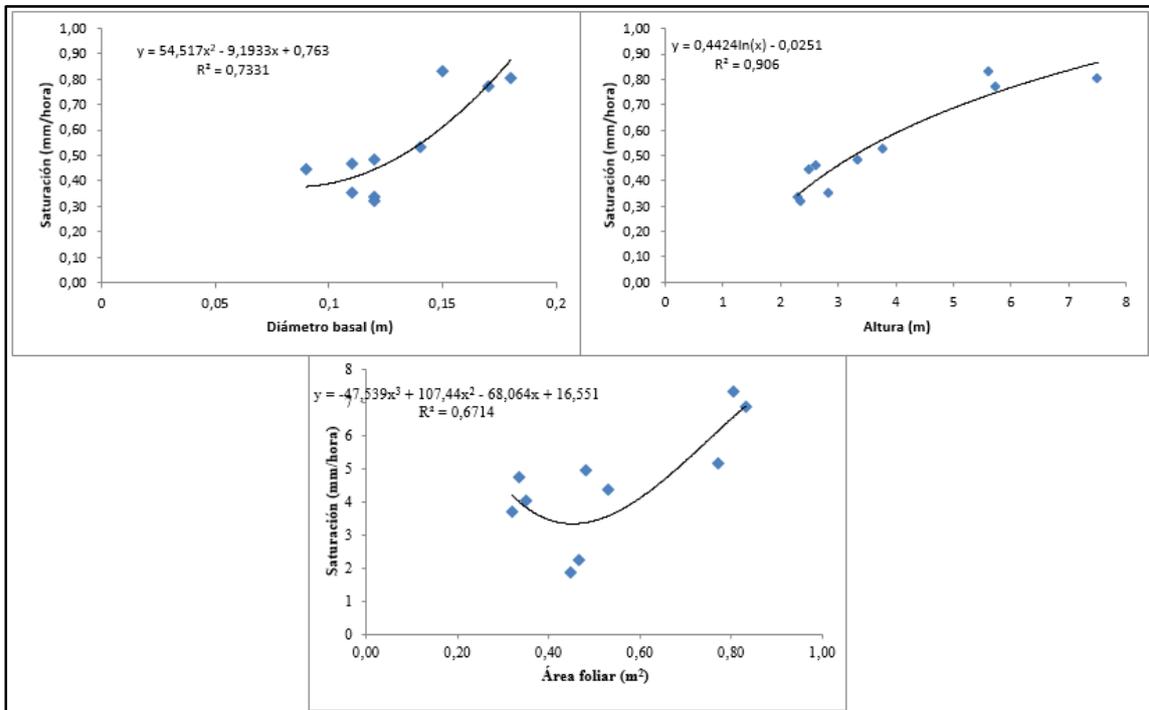


Figura 11. Análisis de regresión entre saturación de follaje altura y área foliar.

Elaborado por: Jose David Reyes Bustamante

A continuación se muestra la regresión polinómica de segundo orden entre el área foliar y el diámetro del árbol donde se un (R^2) de 0,73 sin embargo una regresión polinómica de tercer orden entre las variables área foliar y altura que donde se evidencia una relación de proporcionalidad (figura 12)

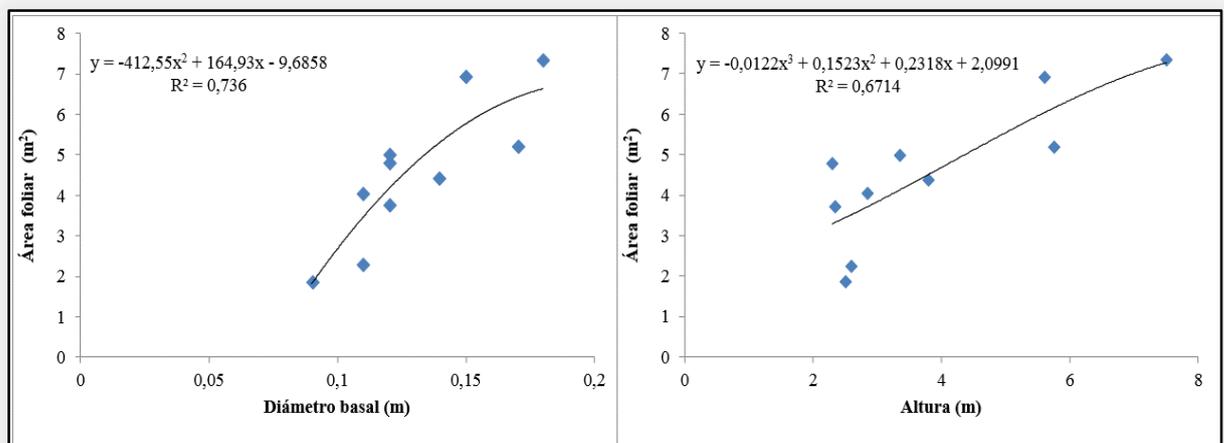


Figura 12. Regresión entre área foliar, diámetro basal y altura

Elaborado por: Jose David Reyes Bustamante

Se realizó la regresión polinómica entre las variables diámetro de copa y aporte de agua al suelo con un coeficiente de determinación (R^2) = 0,83 que demuestra la proporcionalidad existente entre las variables mencionadas y su vez, indica que la ecuación resultante permite hacer inferencias del aporte de agua al suelo en función del diámetro de copa de los árboles. Es preciso mencionar que entre más extensa sea la copa habrá un mayor porte de agua al suelo (ver figura 13)

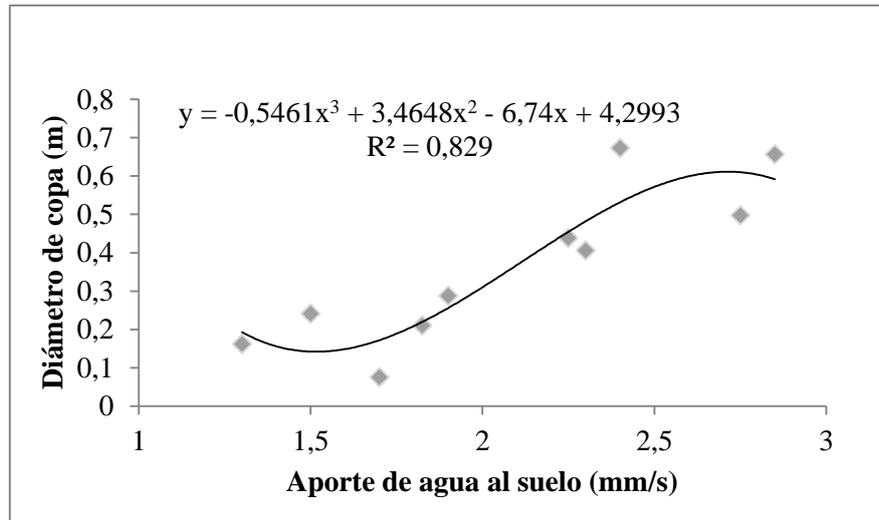


Figura 13. Regresión entre área diámetro de copa y aporte de agua al suelo
Elaborado por: Jose David Reyes Bustamante

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

La capacidad de intercepción del agua de niebla que presentan los árboles de *Polylepis racemosa* es de 0,53 mm/hora, siendo superior en el estrato alto con 0,65 mm/hora debido a que los árboles tenían una mayor altura y área de copa, esto se traduce en mayor área foliar.

El aporte de agua al suelo de la especie forestal fue mayor en el estrato bajo, debido a que si bien es cierto existe mayor área foliar en el estrato alto, el estrato bajo se encuentra asociado con (paja de páramos) que de igual forma intercepta el agua de niebla, aportando una cantidad de agua extra al suelo.

La velocidad de infiltración de agua incorporada al suelo en promedio antes del evento fue 0,41 cm/s, y 0,25 cm/s después del evento debido al incremento de humedad respectivamente, suscitado por el evento de niebla.

6.1 Recomendaciones

Se recomienda realizar estudios relacionados al tema de investigación, debido a que en el país no cuenta con análisis de la precipitación horizontal en su relación en coberturas vegetales.

Se recomienda valorar el servicio ambiental sobre la intercepción de precipitación horizontal, en vista de la importancia que genera la regulación hídrica para garantizar un abastecimiento permanente de agua en las comunidades.

CAPÍTULO VI

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguirre , C., & Vizcaíno, M. (2010). *Aplicación de estimadores estadísticos y diseños experimentales en investigaciones forestales* . Ibarra: Editorial Universitaria .
- Albir, M., Molina, O., Rovira, M., & Torres. (1989). *Superficie foliar*. Suma, 51,52,53,54.
- Añazco, M. (28 de Marzo de 2013). *Ecosistemas forestales y el Agua*. Obtenido de Foro de los Recursos Hídricos: <http://www.camaren.org/documents/ecosistemasyagua.pdf>
- Arboleda , S. (27 de julio de 2015). *Proyecto Integrador Saberes* . Obtenido de Atrapanieblas: <https://atrapanieblasanjuan.blogspot.com/>
- Arcos , M. (2010). *Influencia de la cobertura en la capacidad de infiltración de agua en el suelo de páramo*. Quito: Universidad San Francisco de Quito.
- Arica D. (2004). *Algunas especies forestales fativas para la zona Altoandina*. Lima: CONDESAN.
- Descentralizados, M. D. (2012). *Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización*. COOTAD. Quito, Ecuador.
- Asociación ZABALKETA. (2014). *Experiencias de captación de agua de niebla para reforestación*. Bolivia : Garcinuño S. L.
- Banco Mundial. (3 de Mayo de 2016). *Banco Mundial* . Obtenido de <http://www.bancomundial.org/es/news/press-release/2016/05/03/climate-driven-water-scarcity-could-hit-economic-growth-by-up-to-6-percent-in-some-regions-says-world-bank>
- BBC. (19 de Marzo de 2015). *Porqué se está acabando el Agua* . Obtenido de http://www.bbc.com/mundo/noticias/2014/08/140821_tierra_agua_escasez_finde_dv
- Beltrán, K., Salgado, S., Cuesta, F., León-Yáñez, S., Romoleroux, K., Ortiz, E., . y Velástegui, A. (2009). *Distribución espacial, sistemas ecológicos y caracterización florística de*

los páramos en el Ecuador. Quito: EcoCiencia, Proyecto Páramo Andino y Herbario QCA.

Cancino, J. (2012). *Dendrometría Basica*. Concepción: Universidad de Concepción .

Carúa, J., Proaño, M., Suarez, D., y Podwojevski, P. (2008). *Determinación de retención de agua en los suelos de los páramos: estudio de caso en la subcuenca del Río San Pedro, Cantón Mejía, Pichincha, Ecuador. La Forestación en el Páramo. Serie Páramo, 26, 27-39.*

Colmenares-Arteaga, M., Rada, F., y Luque, R. (2005). *Anatomía foliar de Polylepis sericea Wedd.(Rosaceae) a dos altitudes en los Altos andes venezolanos. Plantula, 3(3), 141-148.*

COMAFORS y ASOTECA. (2007). *Planeación estratégica del subsector de las plantaciones forestales en el Ecuador*. Quito.

Congreso Nacional. (2014). *Ley de aguas*. Quito: Editorial Nacional del Ecuador .

Constituyente, E. A. (2008). *Constitucion Nacional de la Republioca del Ecuador*. Montecristi: LEXIS.

Cruz, D. (2015). *Establecimiento y evaluación de parcelas permanentes en plantaciones protectoras de Yagual (Polylepis racemosa) en la zona de Angochagua*. Ibarra: UTN.

Ambiente , C. O. (2017). *Codigo Orgánico del Ambiente*. Quito: Editora nacional del Ecuador.

Espinosa Proaño, C. (2005). *Payment for Water-based Enviroment Services*. Ecuador: IUCN.

FLACSO. (2011). *Páramo*. Quito: Abya-Yala y EcoCiencia.

Holfer, T. (17 de Febrero de 2014). *La Hidrología Forestal y Gestión de Cuencas desde la FAO*. Obtenido de http://www.etsiamn.upv.es/Internacional/Actividades_archivos/140217%20Hofer%20Seminar%20Spain%20February%202014.pdf

Hofstede, R. G. (1995). *The effects of grazing and burning on soil and plant nutrient concentrations in Colombian páramo grasslands*. *Plant and Soil, 173(1), 111-132.*

- INEC, I. (2010). *Censo de población y vivienda*. Quito-Ecuador .
- Kammer, F. (1974). *Klima und Vegetation auf Tenerife besonders im Hinblick auf den Nebelniederschlag*. Gotinga, *Scripta Geobotanica*. Tenerife .
- Llambí, L. D., Soto, A., Célleri, R., Ochoa , B., Borja , P., & De Bievre, B. (2012). *Ecología, Hidrología y Suelos de Paramo*. Monsalve Moreno .
- Lojan , L. (1992). *Desarrollo Forestal Participativo El verdor de Los Andes*. Quito: Desarrollo Forestal Participativo.
- Luteyn, J. L., y Balslev, H. (Eds.). (1992). *Páramo: an Andean ecosystem under human influence* (pp. 1-14). London, UK: Academic Press.
- MAE. (2012). *Sistema de clasificación de los Ecosistemas del Ecuador Continental*. Quito: Ministerio del Ambiente.
- MAE. (2015). *Estadísticas del Patrimonio Natural: Datos de bosques, ecosistemas, especies, carbono y deforestación del Ecuador continental*.
- Marín, J. A., & Garcia, J. J. (2016). *Calculo de indicadores productivos*. Valencia, España.: Universidad Politécnica de Valencia. *Recuperado de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/16050/indicadores.pdf>*.
- ONU. (24 de Noviembre de 2014). *El agua fuente de vida* . Obtenido de <http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/scarcity.shtml>
- Palacios , W. (20011). *Arboles del Ecuador* . Quito: MInisterio del Ambiente.
- Quichimbo, P., Tenorio, G., Borja, P., Cárdenas , I., Crespo, P., y Celleri, R. (2012). *Efectos sobre las propiedades físicas y químicas de los suelos por el cambio de la cobertura vegetal y uso del suelo: páramo de quimsacocha al sur del ecuador*. *Suelos Ecuatoriales*, 138-153.
- Ritter, Regalado, Aschan, & Gómez. (2005). *Contribución hídrica de la captación de niebla al balance de un bosque de Laurisilva en el parque nacional de Garajonay*. Laurisilva: University of Duisburg-Essen.
- Santana, L. (1987). *Precipitación de nieblas en Tenerife*. Puerto de La Cruz. Tenerife.

Schemenauer, R. S., y Cereceda, P. (1994, May). *Fog collection's role in water planning for developing countries*. In *Natural Resources Forum* (Vol. 18, No. 2, pp. 91-100). Oxford, UK: Blackwell Publishing Ltd.

SENPLADES. (2017). *Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021. Toda una Vida*. Quito: Semplades.

Tobón , y Gil Morales, E. G. (2007). *Capacidad de interceptación de la niebla por la vegetación* . Medellín: ISSN 0121 5701.

Universidad de Basilea. (5 de Noviembre de 2018). *Meteoblue*. Obtenido de https://www.meteoblue.com/es/tiempo/pronostico/semana/hacienda-zuleta_ecuador_3655828

VLIR. (2004). Hidrología del paramo Andino . *Propiedades, Importancia y Bulnerabilidad*, 1-20.

CAPÍTULO VII

ANEXOS

Anexo 1.

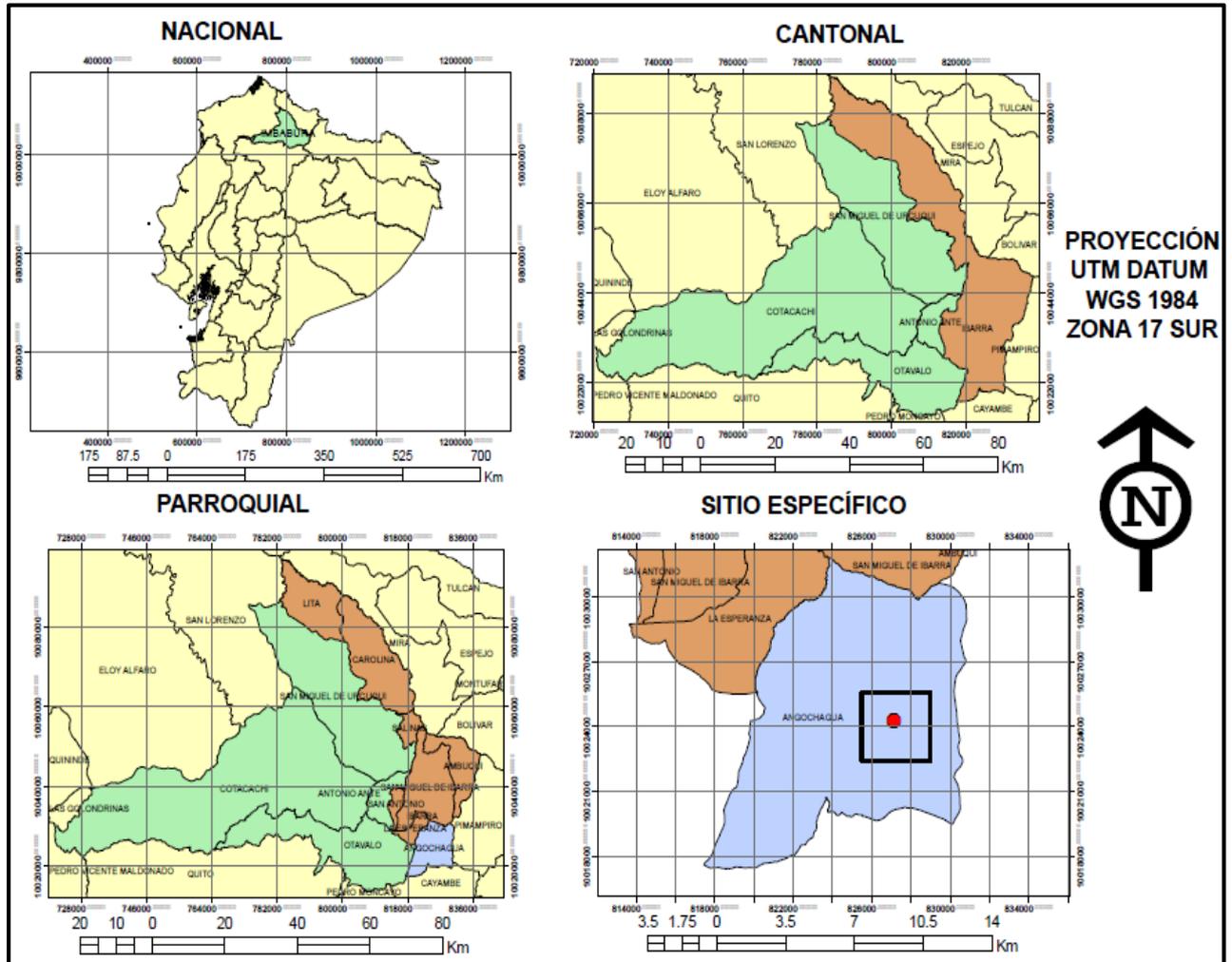


Figura 14. Mapa de ubicación del sitio de estudio
Elaborado por: Jose David Reyes Bustamante

Anexo 2

Ubicación de los estratos

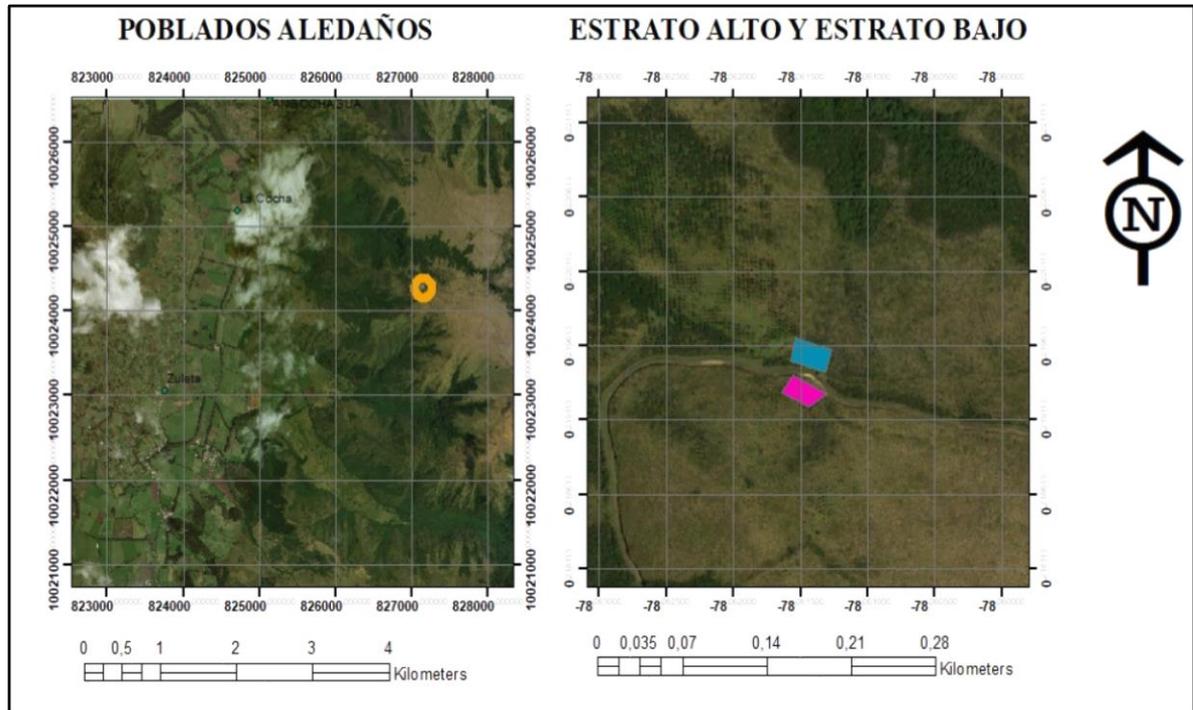


Figura 15. Mapa de ubicación de los estratos.
Elaborado por: Jose David Reyes Bustamante

Anexo 3

Hoja de registro de los parámetros climatológicos



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
CARRERA DE INGENIERÍA FORESTAL



DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE INTERCEPCIÓN DEL AGUA DE NIEBLA Y LA CANTIDAD APORTADA AL SUELO EN PLANTACIONES FORESTALES DE *Polylepis racemosa* Ruiz y Pavón EN LA COMUNIDAD DE ZULETA

HOJA DE REGISTRO DE LOS PARÁMETROS CLIMÁTICOS

Responsable/s: _____

Mes: _____

Instrucciones: En los casilleros de lluvia, nubosidad y neblina seleccione uno de los rangos. Coloque el dato precipitación registrado por pluviómetro

Variable	Lluvia	Nubosidad	Neblina	Pluviómetro	Lluvia	Nubosidad	Neblina	Pluviómetro	Lluvia	Nubosidad	Neblina	Pluviómetro	Lluvia	Nubosidad	Neblina	Pluviómetro	Lluvia	Nubosidad	Neblina	Pluviómetro	Lluvia	Nubosidad	Neblina	Pluviómetro	Lluvia	Nubosidad	Neblina	Pluviómetro				
Día	1				2				3				4				5				6				7							
Alto																																
Medio																																
Bajo																																
Nulo																																
Día	8				9				10				11				12				13				14							
Alto																																
Medio																																
Bajo																																
Nulo																																
Día	15				16				17				18				19				20				21							
Alto																																
Medio																																
Bajo																																
Nulo																																
Día	22				23				24				25				26				27				28							
Alto																																
Medio																																
Bajo																																
Nulo																																
Día	29				30				31				OBSERVACIONES Y FIRMA DEL RESPONSABLE																			
Alto																																
Medio																																
Nulo																																

Elaborado por: Jose David Reyes Bustamante

Anexo 4

Árboles a medir

ÁRBOLES A MEDIR			
	Árbol	Latitud	Longitud
Estrato alto	1	82701	24346
	2	827047	24351
	3	827061	24360
	4	827080	24344
	5	827100	24343
Estrato bajo	6	827097	24268
	7	827106	24267
	8	827106	24267
	9	827112	24273
	10	827103	24273

Elaborado por: Jose David Reyes Bustamante

Anexo 5

Índice mínimo, máximo y medio de la saturación de follaje.

Saturación de follaje			
	General	Menor	Mayor
Mínimo	2869,28135	2990,391387	2869,28135
Media	4773,78978	5854,250899	3693,32866
Máximo	7436,60164	7436,601641	4297,96149

Elaborado por: Jose David Reyes Bustamante

Anexo 6

Aporte de agua al suelo

		Aporte de agua al suelo (cm³)						
		Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Promedio
General	Promedio	0,234	0,354	0,621	0,417	0,324	0,243	0,365
	Mínimo	0,043	0,013	0,013	0,052	0,021	0,001	0,076
	Máximo	0,588	1,080	1,453	1,085	1,251	0,876	0,674
Estrato alto	Promedio	0,267	0,268	0,517	0,456	0,299	0,226	0,339
	Mínimo	0,043	0,092	0,013	0,225	0,171	0,007	0,092
	Máximo	0,588	0,579	1,147	1,085	0,599	0,643	0,774
Estrato bajo	Promedio	0,200	0,440	0,725	0,377	0,348	0,259	0,392
	Mínimo	0,133	0,013	0,122	0,052	0,021	0,001	0,057
	Máximo	0,306	1,080	1,453	0,820	1,251	0,876	0,964

Elaborado por: Jose David Reyes Bustamante

Anexo 7

Análisis estadístico de los parámetros climatológicos

	Lluvia	Nubosidad	Neblina	Pluviómetro
Media	1,214	2,092	2,035	5,33
Error típico	0,057	0,041	0,063	1,003
Desviación estándar	0,478	0,561	0,832	8,391
Varianza de la muestra	0,228	0,315	0,692	70,425
Rango	2	2	2	55,8
Mínimo	1	1	1	0,1
Máximo	3	3	3	55,9
Suma	85	383	348	373,1
Cuenta	70	183	171	70

Elaborado por: Jose David Reyes Bustamante

Anexo 8

Presencia de neblina sobre el registro

FENOMENO	Lluvia		Nubosidad		Neblina	
MESES	Con	Sin	Con	Sin	Con	Sin
JULIO	6	25	30	1	23	8
AGOSTO	9	21	30	0	29	1
SEPTIEMBRE	7	24	31	0	29	2
OCTUBRE	20	11	31	0	30	1
NOVIEMBRE	12	18	30	0	29	1
DICIEMBRE	16	15	31	0	31	0
TOTAL	70	114	183	1	171	13

Elaborado por: Jose David Reyes Bustamante

Anexo 9

Muestras de suelo

Estrato alto

 AGROCALIDAD AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL FITO Y ZOOSANITARIO	LABORATORIO DE SUELOS, FOLIARES Y AGUAS Vía Interoceánica Km. 14% y Eloy Alfaro, Granja del MAGAP, Tumbaco - Quito Teléf.: 02-2372-844/2372-845	PGT/SFA/09-FO01
		Rev. 3
	INFORME DE ANÁLISIS DE SUELO	Hoja 1 de 1

Informe N°: LN-SFA-E18-0020
 Fecha emisión Informe: 22/01/2018

DATOS DEL CLIENTE

Persona o Empresa solicitante: José David Reyes Bustamante / Agrocalidad Imbabura

Teléfono: ----

Dirección: ----

Correo Electrónico:

davidsebastian92@hotmail.com

Provincia: Imbabura

Cantón: Ibarra

N° Orden de Trabajo: 10-2018-001

N° Factura/Documento: 3080

DATOS DE LA MUESTRA:

Tipo de muestra: Suelo Conservación de la muestra: Lugar fresco y seco

Cultivo: Bosque protector

Provincia: Imbabura

X: 827051

Cantón: Ibarra

Coordenadas: Y: 24348

Parroquia: Angochagua

Altitud: ----

Muestreado por: José David Reyes Bustamante

Fecha de muestreo: 11-01-2018

Fecha de inicio de análisis: 12-01-2018

Fecha de recepción de la muestra: 12-01-2018

Fecha de finalización de análisis: 22-01-2018

RESULTADOS DEL ANÁLISIS

CÓDIGO DE MUESTRA LABORATORIO	IDENTIFICACIÓN DE CAMPO DE LA MUESTRA	PARÁMETRO ANALIZADO	MÉTODO	UNIDAD	RESULTADO
SFA-18-0021	M1 Abajo	Densidad Aparente	Gravimétrico PEE/SFA/23	g/ml	0,88
		Densidad Real	Picnómetro PEE/SFA/25	g/ml	2,08
		Porosidad	Cálculo PEE/SFA/25	%	57,60
		Humedad Equivalente	Centrífuga PEE/SFA/21	%	44,14
		Capacidad de Campo	Centrífuga PEE/SFA/21	%	40,80
		Punto de Marchitez	Centrífuga PEE/SFA/21	%	22,17
		Agua Aprovechable	Centrífuga PEE/SFA/21	%	18,63
		Arena	Bouyoucos PEE/SFA/20	%	56
		Limo	Bouyoucos PEE/SFA/20	%	36
		Arcilla	Bouyoucos PEE/SFA/20	%	8
		Clase Textural	Cálculo PEE/SFA/20		

Analizado por: Daniel Bedoya, Luis Cacuango, Lucía Quishpe

Observaciones:



AGROCALIDAD
 AGENCIA ECUATORIANA DE ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD DEL AGRO
 LABORATORIO DE SUELOS, FOLIARES Y AGUAS
 TUMBACO - ECUADOR

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

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

Anexo 10

Estrato bajo

 AGROCALIDAD AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL FITO Y ZOOSANITARIO	LABORATORIO DE SUELOS, FOLIARES Y AGUAS Vía Interoceánica Km. 14½ y Eloy Alfaro, Granja del MAGAP, Tumbaco - Quito Telef.: 02-2372 844/2372-845	PGT/SFA/09-FO01
		Rev. 3
	INFORME DE ANÁLISIS DE SUELO	Hoja 1 de 1

Informe N°: LN-SFA-E18-0021
 Fecha emisión Informe: 22/01/2018

DATOS DEL CLIENTE

Persona o Empresa solicitante: José David Reyes Bustamante / Agrocalidad Imbabura

Dirección: ----
 Provincia: Imbabura Cantón: Ibarra
 Teléfono: ----
 Correo Electrónico: davidsebastian92@hotmail.com
 N° Orden de Trabajo: 10-2018-001
 N° Factura/Documento: 3080

DATOS DE LA MUESTRA:

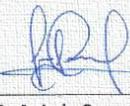
Tipo de muestra: Suelo Conservación de la muestra: Lugar fresco y seco
 Cultivo: Bosque protector
 Provincia: Imbabura X: 827102
 Cantón: Ibarra Coordenadas: Y: 24274
 Parroquia: Angochagua Altitud: ----
 Muestreado por: José David Reyes Bustamante
 Fecha de muestreo: 11-01-2018 Fecha de inicio de análisis: 12-01-2018
 Fecha de recepción de la muestra: 12-01-2018 Fecha de finalización de análisis: 22-01-2018

RESULTADOS DEL ANÁLISIS

CÓDIGO DE MUESTRA LABORATORIO	IDENTIFICACIÓN DE CAMPO DE LA MUESTRA	PARÁMETRO ANALIZADO	MÉTODO	UNIDAD	RESULTADO
SFA-18-0022	M2 Arriba	Densidad Aparente	Gravimétrico PEE/SFA/23	g/ml	0,81
		Densidad Real	Picnómetro PEE/SFA/25	g/ml	2,14
		Porosidad	Cálculo PEE/SFA/25	%	62,03
		Humedad Equivalente	Centrifuga PEE/SFA/21	%	49,58
		Capacidad de Campo	Centrifuga PEE/SFA/21	%	45,51
		Punto de Marchitez	Centrifuga PEE/SFA/21	%	24,73
		Agua Aprovechable	Centrifuga PEE/SFA/21	%	20,78
		Arena	Bouyoucos PEE/SFA/20	%	50
		Limo	Bouyoucos PEE/SFA/20	%	40
		Arcilla	Bouyoucos PEE/SFA/20	%	10
		Clase Textural	Cálculo PEE/SFA/20		Franco

Analizado por: Daniel Bedoya, Luis Cacuangó, Lucía Quishpe

Observaciones:



AGROCALIDAD
 AGENCIA ECUATORIANA DE ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD DEL AGRO
 LABORATORIO DE SUELOS, FOLIARES Y AGUAS
 TUMBACO - ECUADOR
Q. A. Luis Cacuangó
 Responsable de Laboratorio
 Suelos, Foliar y Aguas

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

Anexo 11



a) Medición y dimensionado de las ramas para la saturación de follaje

b) Ramas expuestas al evento de niebla

Anexo 12

Fotografías



a) Descripción del área de estudio



b) Estrato alto



c) Estrato bajo



d) Hoyado para el neblinómetro



e) Ajuste de malla neblinera



f) Neblinómetro establecido



g) Toma de datos con el infiltrómetro



h) Agua en el infiltrómetro



i) Evento de niebla



j) Muestra de suelo después del evento de niebla



k) Muestras de suelo en la estufa



l) Toma de datos de las muestras de suelo



m) Determinación del área foliar



n) Calibración de las ramas utilizadas