



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

ÁREA AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

INGENIERÍA EN MANEJO Y CONSERVACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE

**DETERMINACIÓN DEL RENDIMIENTO HÍDRICO EN
CUATRO ECOSISTEMAS DE LA REGIÓN SUR DEL
ECUADOR**



**Tesis de grado previa a
la obtención de título
de Ingenieros en
Manejo y Conservación
del Medio Ambiente**

AUTORES: Alexander Amable Ayora Loaiza

Álvaro René Carpio Paute

DIRECTORA: Ing. Natalia Samaniego Rojas Mg.Sc

LOJA – ECUADOR

2015

CERTIFICACIÓN

En calidad de Directora de la tesis titulada “DETERMINACIÓN DEL RENDIMIENTO HÍDRICO EN CUATRO ECOSISTEMAS DE LA REGIÓN SUR DEL ECUADOR”, de autoría de los señores Alexander Amable Ayora Loaiza, Álvaro René Carpio Paute, egresados de la Carrera de Ingeniería en Manejo y Conservación del Medio Ambiente; certifico que se ha realizado dentro del cronograma aprobado por lo que autorizo su presentación y publicación.

Loja, 3 de Junio de 2015

Atentamente,



DIRECTORA DE TESIS

Ing. Natalia Samaniego Rojas, Mg. SC.

CERTIFICACIÓN

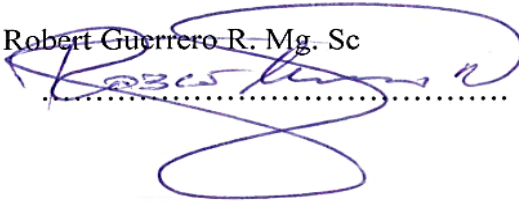
En calidad de Tribunal Calificador de la Tesis titulada “DETERMINACIÓN DEL RENDIMIENTO HÍDRICO EN CUATRO ECOSISTEMAS DEL SUR DEL ECUADOR”, de autoría de los señores egresados de la carrera de Ingeniería en Manejo y Conservación del Medio Ambiente Alexander Amable Ayora Loaiza y Álvaro René Carpio Paute, certifica que se ha incorporado todas las sugerencias efectuadas por sus miembros.

Por lo tanto autorizamos a los señores egresados, su publicación y difusión.

Loja, 24 de Junio de 2015

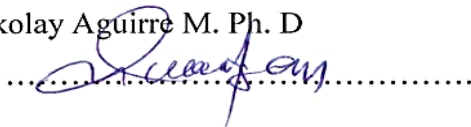
Presidente del Tribunal

Ing. Robert Guerrero R. Mg. Sc



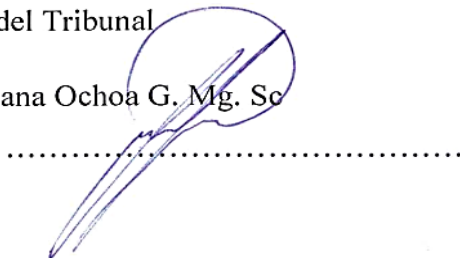
Vocal del Tribunal

Dr. Nikolay Aguirre M. Ph. D



Vocal del Tribunal

Ing. Diana Ochoa G. Mg. Sc



AUTORIA

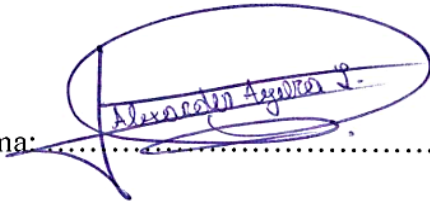
Yo Alexander Amable Ayora Loaiza y Álvaro René Carpio Paute, declaramos ser autores del presente trabajo de tesis y eximimos expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representates jurídicos, de posibles reclamos o acciones legales, por el contenido de la misma.

Adicionalmente aceptamos y autorizamos a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de nuestra Tesis en el repositorio institucional-biblioteca virtual.

Autor: Alexander Amable Ayora Loaiza

Autor: Álvaro René Carpio Paute

Firma:



Firma:



Cédula: 1900577733

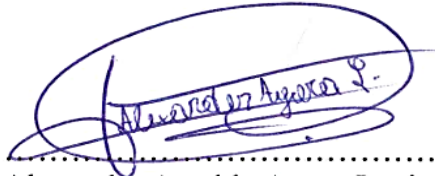
Cédula: 1105075046

Loja, 24 de Junio de 2015

**CARTA DE AUTORIZACIÓN DE TESIS POR PARTE DE LOS AUTORES PARA
LA CONSULTA, REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL Y PUBLICACIÓN
ELECTRÓNICA DEL TEXTO COMPLETO**

Yo Alexander Amable Ayora Loaiza y Álvaro René Carpio Paute, declaramos ser autores de la tesis titulada “DETERMINACIÓN DEL RENDIMIENTO HÍDRICO EN CUATRO ECOSISTEMAS DE LA REGIÓN SUR DEL ECUADOR”, como requisito para optar al grado de: Ingeniero en Manejo y Conservación del Medio Ambiente, autorizamos al sistema bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que con fines académicos, muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de este trabajo en el Repositorio Digital Institucional, en las redes de información del país y del exterior, con las cuales tenga convenio la Universidad. La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia de la Tesis que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los 24 días del mes de Junio de dos mil quince, firman los autores.



.....
Alexander Amable Ayora Loaiza
1900577733

Dirección: Cdla. La Pradera, Loja, Ecuador
Correo Electrónico: alex2007_rayito@hotmail.com
Teléfono: 0987455718



.....
Álvaro René Carpio Paute
1105075046

Dirección: El Tambo, Catamayo, Ecuador
Correo Electrónico: alvaro.rcarpio.p@hotmail.com
Teléfono: 0968185616

Directora de Tesis: Ing. Natalia Samaniego Rojas. Mg.Sc

Tribunal de Grado: Ing. Robert Guerrero R. Mg.Sc (**Presidente**)
Dr. Nikolay Aguirre M. Ph.D
Ing. Diana Ochoa G. Mg.Sc

AGRADECIMIENTOS

Queremos expresar nuestro más profundo agradecimiento a todos quienes hicieron posible el desarrollo del presente trabajo de investigación.

Agradecer a la Ing. Natalia Samaniego Rojas Mg. Sc, directora de la tesis, por su apoyo y orientación en el trabajo, por sus consejos y recomendaciones como docente y amiga, también agradecemos a la Universidad Nacional de Loja, a Leire Ruiz, Ing. Nikolay Aguirre Mendoza Ph. D, Ing. José Merino, por su respaldo técnico y apoyo constante en el presente trabajo de investigación; a la Carrera de Ingeniería en Manejo y Conservación del Medio Ambiente y docentes que inculcaron sus conocimientos para formar excelentes profesionales.

Igualmente agradecer a los miembros del Tribunal Calificador de la Tesis: Ing. Robert Guerrero R. Mg. Sc., Dr. Nikolay Aguirre M. Ph. D, e Ing. Diana Ochoa Mg. Sc., por sus recomendaciones, comentarios y sugerencias, que sirvieron para mejorar el presente trabajo de investigación.

Al Laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional de Loja, especialmente al Ing. Max González Fuertes, Ing. Galo Ojeda por brindarnos su apoyo en el análisis de las muestras de suelo de los sectores de estudio.

A nuestros familiares y amigos por su constante motivación y apoyo emocional para el desarrollo del presente trabajo de investigación, especialmente agradecemos a Julissa Aleaga y Alejandra Castro, por su apoyo y compañerismo demostrado en la fase de campo.

Los Autores

DEDICATORIA

A Dios por darme la Fe y fortaleza espiritual de seguir adelante.

A mis admirables padres Amable Ayora Fernández y Nancy Loaiza Mosquera por ser mi mayor inspiración de realización profesional, por su innegable confianza y apoyo constante en cada etapa de mi vida.

A mis queridas hermanas Ana Sofía, María Cristina y Cintya Alexandra por sus consejos y buenos deseos, a mis sobrinos Manuel Martín y Sebastián Alejandro por llenar de alegría y felicidad nuestro hogar.

A María Merchán, por todas las atenciones prestadas.

A mis familiares y amigos.

ALEXANDER

A Dios, por ser mi guía, y mi fuente de confianza en mi vida estudiantil y personal.

A mis queridos padres Gloria y Augusto, por ser mis pilares de apoyo incondicional y por su amor al educarme, y el gran sacrificio que han hecho para poder cumplir mis metas.

A mis hermanos, Cesar y Robert, por sus consejos y apoyo brindado y los momentos compartidos juntos, en familia.

A mis abuelos, Tíos y Primos por sus sabios consejos y apoyo en el transcurso de mi vida, y de formación profesional.

A mi compañeros y amigos de aula que siempre estuvieron en la buenas y en las malas poyándome. A mis familiares y amigos.

ÁLVARO

TABLA DE CONTENIDOS

| | | |
|--------|---|----|
| 1. | INTRODUCCIÓN | 1 |
| 2. | REVISIÓN DE LITERATURA | 3 |
| 2.1. | Contenido de Agua en el Suelo | 3 |
| 2.1.1. | Importancia del agua en el suelo y rango de contenido..... | 3 |
| 2.1.2. | Influencia de la vegetación sobre la humedad del suelo | 4 |
| 2.1.3. | Hidrología y degradación física de suelos..... | 4 |
| 2.2. | Curva de Retención de Humedad..... | 5 |
| 2.2.1. | Puntos importantes de la curva de retención de agua en el suelo..... | 7 |
| 2.3. | Relación de la Cobertura Vegetal, Capacidad de Almacenamiento y Rendimiento Hídrico | 8 |
| 2.4. | Estado del Arte de la Hidrología de Bosques Naturales..... | 10 |
| 3. | METODOLOGÍA | 12 |
| 3.1. | Descripción del Área de Estudio | 12 |
| 3.2. | Caracterización de las propiedades hidrofísicas del suelo, en ecosistemas prioritarios de las provincias de Loja y Zamora Chinchipe. | 15 |
| 3.3. | Evaluación de la influencia de la vegetación en las propiedades hidrofísicas del suelo, en ecosistemas prioritarios de las provincias de Loja y Zamora Chinchipe..... | 22 |
| 3.4. | Determinación de factores ambientales asociados a las propiedades hidrofísicas del suelo, en ecosistemas prioritarios de las provincias de Loja y Zamora Chinchipe..... | 23 |
| 3.5. | Difusión de la Información Generada en el Estudio, a los Sectores Interesados | 25 |
| 4. | RESULTADOS | 26 |
| 4.1. | Caracterización de las propiedades hidrofísicas del suelo, en ecosistemas prioritarios de las provincias de Loja y Zamora Chinchipe. | 26 |
| 4.1.1. | Profundidad | 26 |
| 4.1.2. | Sector..... | 27 |
| 4.2. | Evaluación de la influencia de la vegetación en las propiedades hidrofísicas del suelo, en ecosistemas prioritarios de las provincias de Loja y Zamora Chinchipe..... | 29 |
| 4.3. | Determinación de factores ambientales asociados a las propiedades hidrofísicas del suelo, en ecosistemas prioritarios de las provincias de Loja y Zamora Chinchipe..... | 29 |
| 4.3.1. | Precipitación..... | 30 |
| 4.3.2. | Temperatura..... | 31 |
| 4.3.3. | Geología | 32 |
| 4.3.4. | Suelos | 33 |

| | | |
|--------|---|----|
| 4.3.5. | Pendiente | 35 |
| 4.3.6. | Cobertura vegetal | 36 |
| 5. | DISCUSIÓN | 38 |
| 5.1. | Caracterización de las propiedades hidrofísicas del suelo, en ecosistemas prioritarios de las provincias de Loja y Zamora Chinchipe. | 39 |
| 5.2. | Evaluación de la influencia de la vegetación en las propiedades hidrofísicas del suelo, en ecosistemas prioritarios de las provincias de Loja y Zamora Chinchipe..... | 43 |
| 5.3. | Factores ambientales asociados a las propiedades hidrofísicas en ecosistemas prioritarios de las Provincias de Loja y Zamora Chinchipe. | 44 |
| 6. | CONCLUSIONES | 48 |
| 7. | RECOMENDACIONES | 49 |
| 8. | BIBLIOGRAFÍA | 50 |
| 9. | ANEXOS | 68 |

ÍNDICE DE CUADROS

| | |
|---|----|
| Cuadro 1. Valores de pF, su equivalente en atmósferas y sus puntos más importantes..... | 7 |
| Cuadro 2. Características de los ecosistemas de estudio..... | 12 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Curva de retención de agua del suelo | 6 |
| Figura 2. Ubicación espacial de los sitios de estudio en la Región Sur del Ecuador. | 13 |
| Figura 3. Ubicación espacial de las parcelas de muestreo, en ecosistemas prioritarios de las provincias de Loja y Zamora Chinchipe. | 16 |
| Figura 4. Toma de muestras no disturbadas, en el sector de Cajanuma. | 16 |
| Figura 5. Determinación de textura..... | 17 |
| Figura 6. Triángulo de Texturas..... | 18 |
| Figura 7. Determinación de materia orgánica. | 19 |
| Figura 8. Determinación de propiedades hidrofísicas | 21 |
| Figura 9. Flujograma del proceso de realización del mapa de precipitación y temperatura. | 24 |
| Figura 10. Flujograma del proceso de realización del mapa de pendientes. | 25 |
| Figura 11. Valores de densidad aparente del suelo a nivel de tres profundidades, en ecosistemas prioritarios de las provincias de Loja y Zamora Chinchipe. | 26 |
| Figura 12. Valores de lámina de agua del suelo a nivel de tres profundidades, en ecosistemas prioritarios de las provincias de Loja y Zamora Chinchipe. | 27 |
| Figura 13. Valores de densidad aparente del suelo, en ecosistemas prioritarios de las provincias de Loja y Zamora Chinchipe. | 27 |
| Figura 14. Valores de lámina de agua en ecosistemas prioritarios de las provincias de Loja y Zamora Chinchipe. | 28 |
| Figura 15. Porcentaje de arena, limo y arcilla en suelos de ecosistemas prioritarios de las provincias de Loja y Zamora Chinchipe..... | 28 |
| Figura 16. Valores de materia orgánica del suelo, en ecosistemas prioritarios de las provincias de Loja y Zamora Chinchipe. | 29 |
| Figura 17. Valores de densidad absoluta de plantas leñosas en ecosistemas prioritarios de las provincias de Loja y Zamora Chinchipe. | 29 |
| Figura 18. Mapa de precipitación de las provincias de Loja y Zamora Chinchipe | 30 |
| Figura 19. Mapa de temperatura de las provincias de Loja y Zamora Chinchipe..... | 31 |
| Figura 20. Mapa de la geología de las provincias de Loja y Zamora Chinchipe. | 32 |
| Figura 21. Mapa de Suelos de las provincias de Loja y Zamora Chinchipe. | 33 |
| Figura 22. Mapa de pendientes de las provincias de Loja y Zamora Chinchipe. | 35 |
| Figura 23. Mapa de cobertura vegetal de las provincias de Loja y Zamora Chinchipe. | 36 |

ÍNDICE DE ECUACIONES

| | | |
|-------------|---|----|
| Ecuación 1. | Densidad aparente del suelo | 20 |
| Ecuación 2. | Capacidad de campo del suelo..... | 20 |
| Ecuación 3. | Punto de marchitez permanente del suelo | 20 |
| Ecuación 4. | Lámina de agua del suelo | 22 |

ÍNDICE DE ANEXOS

| | | |
|----------|---|----|
| Anexo 1. | Base de datos de las propiedades hidrofísicas del suelo en ecosistemas prioritarios de la Región Sur del Ecuador..... | 68 |
| Anexo 2. | Registro fotográfico de las salidas de campo. | 71 |
| Anexo 3. | Registro fotográfico de los análisis de laboratorio. | 72 |

**“DETERMINACIÓN DEL RENDIMIENTO HÍDRICO EN
CUATRO ECOSISTEMAS DE LA REGIÓN SUR DEL
ECUADOR”**

RESUMEN

La presente investigación evalúa la influencia de las propiedades hidrofísicas en el proceso de retención hídrica en ecosistemas prioritarios de las provincias de Loja y Zamora Chinchipe, donde se establecieron unidades de muestreo representados por parcelas permanentes de una hectárea c/u. A la unidad de muestreo se la dividió en 25 subparcelas de 20 m x 20 m, seleccionándose al azar tres subparcelas, en las que se excavó una calicata de 1,5 m x 0,5 m y 1,5 m de profundidad, tomando muestras no disturbadas a nivel de tres profundidades (25 cm, 45 cm y 65 cm respectivamente) para la caracterización de algunas propiedades hidrofísicas del suelo (densidad aparente, capacidad de campo, punto de marchitez). Además se colectó datos de textura y materia orgánica, en las que se barreno y tomó una muestra de suelo por cada calicata.

Así mismo se evaluó la influencia de la vegetación en las propiedades hidrofísicas del suelo, a través de la caracterización de la cubierta vegetal (estrato arbóreo), seleccionando como variable de interés la densidad absoluta de plantas leñosas. Igualmente se determinó los factores ambientales asociados a las propiedades hidrofísicas del suelo, de los cuales se procedió a realizar mapas temáticos de cada una de las variables (precipitación, temperatura, geología, suelos, pendiente).

En la presente investigación se reporta, que a nivel de los 65 cm de profundidad el suelo presenta un mayor valor de densidad aparente y lámina de agua, y a 25 cm el menor valor de estos parámetros. En el sector “El Madrigal”, se presentan los valores más altos de densidad aparente, arena, materia orgánica y densidad de árboles, mientras que la lámina de agua se encuentra en un valor intermedio. El sector Cajanuma muestra el mayor valor de lámina de agua y limo, con valores medios de materia orgánica y un valor bajo de arena y arcilla, con una densidad de árboles similar a la de “El Madrigal”. Finalmente el Padmi posee el valor más alto de arcilla, valores medios de arena y los valores más bajos de limo, materia orgánica, densidad de árboles y lámina de agua.

En conclusión la capacidad de almacenamiento hídrico, expresada en términos de lámina de agua se incrementa a medida que aumenta la altitud, debido a las bajas temperaturas existe una baja evapotranspiración, además el contacto entre la niebla y el bosque hacen que se produzca

un aporte de agua por la intercepción, adicional al de la lluvia y en consecuencia la cantidad de agua que ingresa al suelo es superior.

Palabras claves: hidrofísicas, lámina de agua, retención hídrica, suelo.

SUMMARY

The following research evaluates the influence of hydro physical properties in the process of water retention in priority with the ecosystems from the provinces of Loja and Zamora Chinchipe where sampling units were presented by permanent “ha” plots they were also established. Each sampling unit was divided it into 25 subplots of 20 m x 20 m three subplots were randomly selected, In which a pit and a dug of 1.5 m x 0.5 m and 1.5 m deep , taking undisturbed samples with three depth levels (25 cm, 45 cm and 65 cm) for the characterization of some hydro soil properties (density dug apparent , field capacity , wilting point). Besides texture data and organic matter were collected, which was whole and took a soil sample was collected for each test pit.

Also the influence of vegetation on hydro physical soil properties was evaluated through characterization of vegetation cover (arboreal stratum) Spanish words (estrato arbóreo) as variable of interest by selecting the density of woody plants. Also the environmental factors associated with hydro soil properties, which we proceeded to make thematic maps of each of the variables such as (precipitation, temperature, geology, soils, slope) were determined.

In this research it is reported that at the level of 65 cm deep, the soil has a higher bulk density and also the value of water depth, about 25 cm being the lowest value of these parameters. In the sector or hood "El Madrigal" we managed to obtain a higher value of bulk density, sand, organic matter and tree density are presented, while the water level is at an intermediate value. In the “Cajanuma” industry they have the highest value of water surface and silt, with mean values of organic matter and a low of sand and clay, with a density similar to that “El Madrigal” trees. Finally Padmi has the highest value of clay, sand average values and lower values with silt, organic matter, density of trees and water surface. In conclusion, the water storage capacity, expressed in terms of water depth increases as you move up in altitude, due to the low temperatures which means that there is a low evapotranspiration, besides the contact between the fog and the forest make it produce by water supply for the interception, additional rain and therefore the amount of water entering the soil is totally higher.

Key Words: hydro physical, water surface, water retention, soil.

1. INTRODUCCIÓN

El suelo es considerado como regulador de los recursos hídricos y de la calidad ambiental, constituyéndose en uno de los principales reservorios de agua dulce (UNESCO, 2005). Los suelos de los bosques montano tropicales, especialmente de los bosques alto-andinos presentan una gruesa capa de musgos y materia orgánica que ejerce un efecto importante en la hidrología de estos ecosistemas, tal como lo afirma Avendaño (2007), son capaces de almacenar grandes cantidades de agua, hasta seis veces su peso seco.

Este alto contenido de materia orgánica, otorga a los suelos de los bosques alto-andinos propiedades físicas e hidráulicas especiales, como son baja densidad aparente, alta porosidad, alta capacidad de infiltración, alta capacidad de retención de humedad y alta conductividad hidráulica (Tobón *et al.*, 2009a; Osorio y Bahamon, 2008; Díaz *et al.*, 2005; Buytaert *et al.*, 2004; Poulénard *et al.*, 2003; Luteyn, 1992). Estas propiedades hidrofísicas del suelo confieren a estos ecosistemas una elevada capacidad de regulación hídrica en la cuenca donde se encuentran (Tobón *et al.*, 2009a; Jaramillo, 2002).

Es por ello, que la pérdida de materia orgánica, trae consigo la disminución de la capacidad de almacenamiento de agua en el suelo y de su capacidad de retención de la humedad, lo que afecta la disponibilidad de agua para las plantas. Además deja el suelo expuesto a los agentes evaporativos (De Noni *et al.*, 1990), de igual modo, parece producirse una disminución en la infiltración (Tobón *et al.*, 2009a; Osorio y Bahamon, 2008; Bonell, 1993, 1998, 2005; Bonell y Balek, 1993), por lo que los suelos no se recargan completamente de agua durante los períodos de lluvias, perdiendo rápidamente su agua durante los períodos secos.

Este problema se agrava aún más por efecto del cambio climático, puesto que ejerce un efecto negativo sobre los bosques de montaña tropicales (Föster, 2001), al elevar el nivel base de las nubes (Lawton *et al.*, 2001), disminuyendo drásticamente la humedad por incremento en las horas de radiación solar. Aquello provocaría un aumento de la evapotranspiración y así, una variabilidad en las precipitaciones, y por ende una disminución del rendimiento hídrico de las cuencas hidrográficas (Frumau *et al.*, 2009; Lawton *et al.*, 2001).

Sin embargo, evaluar los potenciales cambios en las propiedades hidrofísicas del suelo de los bosques de montaña tropicales es complicado, especialmente en zonas con una alta variabilidad climática, donde los procesos de predicción están dificultados por modelos inapropiados, la falta de datos para el ingreso y calibración de dichos modelos, la ausencia de recursos para correr los modelos a escalas apropiadas (Buytaert *et al.*, 2011; Anderson *et al.*, 2009), a esto se suma que en Ecuador y en especial en la Región Sur, existen pocos estudios relacionados con la hidrología de los bosques de montaña tropicales, por lo cual se desconoce que procesos hidrológicos se llevan a cabo al interno de estos ecosistemas, ni los parámetros que controlan dichos procesos (Ilstedt *et al.*, 2007; Bubb *et al.*, 2004; Llerena, 2003).

Por lo tanto el presente trabajo, corresponde a un estudio piloto, direccionado en contribuir, conocer y explicar una parte de esos vacíos científicos existentes, y en la necesidad de generar información base para estudios hidrológicos en la Región Sur del país. Por lo que se pretende evaluar la influencia de las propiedades hidrofísicas en el proceso de retención hídrica de ecosistemas prioritarios en las provincias de Loja y Zamora Chinchipe, lo que permitirá tomar decisiones correctas, comprender y garantizar un manejo integral del funcionamiento de estos ecosistemas y su fragilidad ante cambios en el clima y/o en el uso del suelo. Para lo cual se plantearon los siguientes objetivos:

- Caracterizar las propiedades hidrofísicas del suelo, en ecosistemas prioritarios de las provincias de Loja y Zamora Chinchipe.
- Evaluar la influencia de la vegetación en las propiedades hidrofísicas del suelo, en ecosistemas prioritarios de las provincias de Loja y Zamora Chinchipe.
- Determinar factores ambientales asociados a las propiedades hidrofísicas del suelo, en ecosistemas prioritarios de las provincias de Loja y Zamora Chinchipe.
- Difundir la información generada en el estudio, a los sectores interesados.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Contenido de Agua en el Suelo

El suelo es capaz de almacenar una cantidad limitada de agua, y de ésta, solo una parte es utilizada por las plantas que a su vez requieren una cantidad adecuada de humedad, la cual varía de acuerdo con la especie y con su estado de crecimiento o desarrollo. De allí que el conocimiento de la humedad por unidad de masa o de volumen de suelo, su estado energético o disponibilidad y su estimación es esencial en la agricultura, la hidrología y la ecología, a escalas regional y local (Stephenson, 1990).

Como lo manifiesta Artieda (2008), el suelo no actúa como un hospedador inerte, sino que interactúa con el agua e interviene de manera decisiva en los procesos biogeoquímicos del suelo, suministrando materiales solubles o en suspensión, que pueden ser arrastrados por el agua. Así mismo, el agua es el vehículo de entrada de materiales al interior del suelo a través del proceso de infiltración, participando en el transporte y en la acumulación de materiales de origen natural o antrópico.

Por estas razones, la caracterización espacial de agua en el suelo es crucial para entender las actuales condiciones ecológicas y predecir las condiciones futuras utilizando escenarios de cambio climático (Pastor y Post, 1988). La humedad del suelo es muy variable en el tiempo y en el espacio y sobre ella influyen diferentes condiciones dependiendo de la escala espacial: cómo la temperatura y la precipitación influyen sobre ella a escala regional, mientras que la topografía y el almacenamiento son importantes a escala local.

2.1.1. Importancia del agua en el suelo y rango de contenido

El suelo retiene agua en dos formas, como agua libre en los poros que se encuentran entre las partículas sólidas, y como agua adherida o retenida por absorción sobre las superficies sólidas de las partículas coloidales orgánicas y de arcilla (Prieto *et al.*, 2006). El segundo tipo de agua no es aprovechable para las plantas.

El crecimiento de las plantas es dependiente del contenido de agua del suelo, de igual forma algunas propiedades del suelo están directamente relacionadas con esta variable:

consistencia, plasticidad, compactibilidad, adherencia y trabajabilidad, así como, los procesos de hinchamiento y contracción de los suelos arcillosos. Adicionalmente, el contenido de agua es determinante del contenido de aire y del intercambio gaseoso en el suelo, lo cual tiene directa relación con la respiración de las raíces, la actividad de los microorganismos y el potencial de óxido reducción del suelo.

El máximo contenido de agua del suelo corresponde a la condición de saturación, que es aquella en la cual todos los poros están llenos de agua; en tanto que, el mínimo contenido de agua corresponde a la condición variable de suelo seco a la estufa (105 °C x 24 horas) (Valarezo *et al.*, 1998).

2.1.2. Influencia de la vegetación sobre la humedad del suelo

El conocimiento de la influencia de los bosques sobre los diferentes aspectos del agua del suelo ha sido de importancia significativa en la evaluación del papel del bosque sobre el ciclo hidrológico. Diversos estudios como los realizados por Blackie *et al.*, (1981), no han encontrado diferencias significativas en el contenido de humedad del suelo bajo diferentes tipos de coberturas vegetales, en cambio Lima (1983) encontró diferencia significativa entre la vegetación natural y las plantaciones en la capa superficial del suelo, o sea que el suelo bajo bosques se mostró más húmedo en la capa superficial que el de plantación.

En las demás profundidades los contenidos de humedad fueron similares. Moreno (1987) en un estudio realizado en bosque natural, plantaciones y potreros, encontró que el contenido de humedad del suelo en plantaciones, no presentó diferencia significativa con el bosque natural o con el pasto, la humedad del suelo aumentó con la profundidad para todas las coberturas (Giraldo, 2002).

2.1.3. Hidrología y degradación física de suelos

La degradación de suelos depende en parte de sus características y el clima, pero se debe fundamentalmente al uso y manejo inadecuado de los recursos suelo y agua. El agua es el principal causante de la degradación de suelos, cuyos efectos conllevan a la pérdida de capacidad de los suelos para regular el régimen hídrico tanto a nivel local como de cuencas

hidrográficas, lo cual afecta negativamente el aporte regular de agua, en cantidades adecuadas y para los diferentes usos.

El mal manejo de los recursos suelo y agua puede conducir a una fuerte degradación de suelos, lo cual genera un descenso en la habilidad del suelo para cumplir sus funciones como medio para el crecimiento de las plantas, como regulador del régimen hídrico, y como filtro ambiental, debido a causas naturales o antropogénicas. Los procesos de degradación de suelos y recursos hídricos están fuertemente ligados a través de las alteraciones desfavorables en los procesos hidrológicos determinantes del balance de agua en el suelo y del régimen de humedad del mismo.

Sin embargo, pese a la relación existente entre estos dos recursos (suelo y agua) la mayoría los evalúa en forma separada, y consecuentemente la predicción y prevención de los efectos derivados de su degradación resultan inadecuados en muchos casos. Esto toma mayor importancia, vaticinando que el cambio climático global afectaría principalmente los procesos hidrológicos en la superficie de la tierra (Lujan *et al.*, 2003).

2.2. Curva de Retención de Humedad

La curva de retención de humedad muestra la relación entre la fracción de volumen de agua y la carga de presión en el suelo, particularidad para cada tipo de suelo y por lo tanto, se la denomina característica hídrica del suelo. El almacenamiento o retención del agua, es el resultado de fuerzas de atracción entre la fase sólida y líquida que ocurre en los poros del suelo y depende de la textura del suelo (Valarezo *et al.*, 1998).

Cuando el trabajo necesario para extraer una unidad de agua se expresa en términos de trabajo por volumen de agua, se obtiene unidades de presión, y a este trabajo se lo conoce con el nombre de humedad del suelo o tensión de humedad del suelo, que es igual al potencial de agua volumétrico pero con signo contrario.

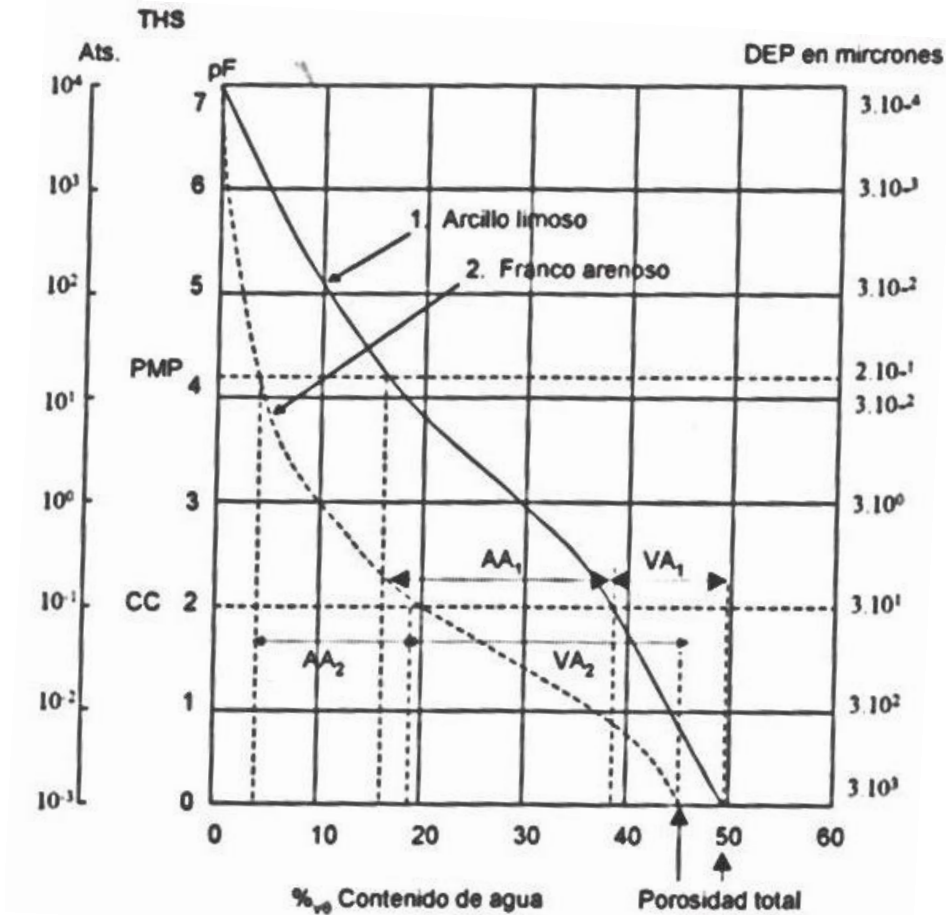


Figura 1. Curva de retención de agua del suelo. Fuente: Valarezo *et al.*, 1998

Debido a que la energía (trabajo) necesaria para extraer el agua del suelo aumenta exponencialmente, mientras que el contenido del agua disminuye linealmente, para facilidad en la graficación e interpretación se prefiere utilizar el logaritmo de la tensión de humedad del suelo, expresado en función de cm de columna de agua, que se conoce como pF (ver Figura 1), (p = potencial, F = energía libre), así: $1 \text{ atm} \approx 1 \text{ bar} \approx 1000 \text{ cm de agua}$; $pF \approx 3 = 738 \text{ mm de mercurio}$ (Valarezo *et al.*, 1998).

Cuadro 1. Valores de pF, su equivalente en atmósferas y sus puntos más importantes. (Valarezo *et al*, 1998).

| pF | Atm | Puntos |
|------|------------|-------------------------------------|
| 4,40 | $\pm 28,8$ | Agua higroscópica |
| 4,20 | 15,0 | Punto de marchitez permanente (PMP) |
| 2,52 | 0,3 | Capacidad de campo (CC) |
| 2,00 | 0,1 | _____ |
| 0,00 | 0,001 | Saturación |

2.2.1. Puntos importantes de la curva de retención de agua en el suelo

2.2.1.1. Saturación

El punto de intersección de la curva con el eje de las abscisas corresponde a un valor de tensión de 1 cm ($pF = 0$), que equivale al contenido de agua del suelo en la condición de saturación, lo cual significa que este valor es prácticamente similar a la porosidad total.

2.2.1.2. Coeficiente higroscópico

El coeficiente higroscópico es la cantidad de agua que el suelo contiene cuando ha alcanzado el equilibrio bajo las siguientes condiciones: 98 % de humedad relativa, 1 atm estándar de presión, y la temperatura ambiente. Se estima que el valor del potencial mátrico para tales condiciones es de -2780 julio/Kg, o 27,8 bar ($pF 4,4$).

2.2.1.3. Capacidad de campo y capacidad de aireación (CC)

La CC se define como la cantidad de agua que un suelo retiene contra la gravedad cuando se deja drenar libremente. En un suelo bien drenado, por lo general, se llega a este valor a los dos días de saturar el mismo.

Tradicionalmente ha sido considerado como el límite superior del agua aprovechable para las plantas; sin embargo, por no representar un valor de contenido de agua exacto para una succión dada, se prefiere remplazarlo con otros más precisos.

Así la CC para el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA), corresponde al contenido de agua que el suelo retiene en una sección de 1/3 de atm (333,3 cm de columna de agua, o pF 2, 52). En cambio para la Sociedad Internacional de la Ciencia del Suelo (SICS), corresponde al contenido de agua que el suelo retiene cuando ha sido sometido a una succión de 1/10 de atm (100 cm de columna de agua, o pF 2).

Los poros de suelo están ocupados por aire a capacidad de campo, constituyen la porosidad de aireación que es importante para la difusión del oxígeno hacia las raíces. En general, si la porosidad de aireación es mayor a 10 – 15 % es satisfactoria para el crecimiento de las plantas. Desde el punto de vista del drenaje, esta porosidad corresponde al espacio poroso drenable, también llamada porosidad efectiva. En todo caso, representa a los poros del suelo que tienen un diámetro equivalente mayor a 30 micras. Punto de marchitez permanente (PMP).

Es el contenido de humedad retenido por las partículas de suelo que las plantas no pueden utilizar para satisfacer sus necesidades y recuperar la turgencia, lo que provoca una marchitez irreversible, pues no puede recuperarse aunque se someta a un ambiente húmedo (Villón, 2007; Valarezo *et al.*, 1998; Valverde, 1998).

2.3. Relación de la Cobertura Vegetal, Capacidad de Almacenamiento y Rendimiento Hídrico

En la actualidad ha sido reconocido el importante papel que cumplen las coberturas boscosas en la regulación de caudales en las cuencas hidrográficas (Zhang *et al.*, 1999). Sin embargo, la capacidad de regulación del agua dependerá a su vez de los tipos y características de cada cobertura vegetal presentes en aquellas. El popular concepto del bosque y sus suelos como esponjas, gracias a su gran capacidad para retener el agua, estaría opacado por la cantidad de agua que mueve el bosque desde el suelo hacia la atmósfera (Bruijnzeel, 2004; Brooks *et al.*, 1997; Hamilton y King, 1983). En los bosques de neblina, parece ser que la presencia frecuente de la niebla que cubre estos bosques disminuye la evapotranspiración. Esto produce un mayor caudal en proporción a las entradas por precipitación. Adicionalmente, estos bosques mejoran la capacidad de infiltración, lo que permite una recarga adecuada de la humedad del suelo y de los acuíferos para mantener estables los caudales en verano.

El alto rendimiento hídrico de los bosques de montaña, como los andinos, está relacionado con varios procesos cuya combinación produce una mayor proporción de caudal en una cuenca con respecto a las entradas por precipitación. Entre estos procesos se encuentran: baja temperatura, alta humedad relativa en forma permanente (Odum *et al.*, 1970), dosel permanentemente húmedo (Frumau *et al.*, 2006), presencia de epífitas y capa gruesa de briofitas en la superficie del suelo u horizonte orgánico bien desarrollado (Tobón y Arroyave, 2008; Tobón *et al.*, 2009b), suelos que permanecen durante gran parte del año con una humedad cercana a la capacidad de campo o generalmente saturados (Tobón *et al.*, 2009b; Osorio y Bahamon, 2008); por lo tanto, gran porcentaje del agua que ingresa a ellos sale como drenaje subsuperficial, en lapsos de tiempo que dependen de la conductividad hidráulica, la cual es generalmente alta (Tobón *et al.*, 2009b), y una evapotranspiración baja debida a la permanencia de nubes y niebla y, por ende, a una baja demanda de humedad desde la atmósfera (Frumau *et al.*, 2009).

Existe una gran variabilidad en los valores presentados en la literatura en cuanto al rendimiento hídrico de los bosques andinos (Sanabria, 2001). Esto se relaciona, en parte, con las diferencias en las metodologías utilizadas, pero igualmente parece existir otras variables del bosque y de los suelos que conjuntamente pueden explicar mejor los cambios en el rendimiento hídrico: tamaño del área basal, índice del área foliar y fisiología de las especies. Estas variables están directamente relacionadas con la interceptación y transpiración del bosque. Igualmente, la clase y la profundidad del suelo, y la infiltración y la conductividad hidráulica son variables que, junto a la cantidad de precipitación, determinan el potencial de la cuenca para almacenar agua en el suelo y el subsuelo. En un estudio llevado a cabo en un bosque altoandino en Colombia, se encontró que el rendimiento hídrico de la cuenca fue del 55% de las entradas (Tobón y Arroyave, 2007); lo que ubica a estos bosques en el rango superior de valores de rendimiento hídrico en comparación con otros.

Por otro lado, los bosques tropicales son principalmente los reguladores del cambio climático y sus impactos, debido al gran tamaño de sus árboles y a la proporción de la superficie del planeta que ocupan, constituyen el 60% de los almacenes aéreos de carbono y 30% de almacenes de carbono en el suelo (Dixon *et al.*, 1994). Cuando se quema la biomasa

se libera CO₂, contribuyendo con el cambio climático; en cambio, cuando se recuperan los bosques tropicales estos contribuyen a la captura de carbono (Kauffman *et al.*, 2009).

Además regulan los efectos de la temperatura y la humedad relativa, ya que los árboles absorben una proporción importante de la energía proveniente de la radiación solar, que incide sobre su dosel puesto que la transforma a través del proceso de la fotosíntesis, también, los bosques liberan agua cuando los estomas de las hojas se abren para el intercambio gaseoso al realizar dicho proceso (Balvanera, 2012).

En estos bosques, la retención de humedad en el suelo, depende de algunas propiedades como la textura y estructura y representa la reserva de donde las plantas absorben las cantidades necesarias para sus ciclos energéticos y de los nutrimentos; una parte del agua almacenada en los tejidos vegetales se difunde a través de las membranas celulares y pasa a la atmósfera por transpiración (Jaramillo y Cháves, 1999). Es por ello que la cobertura de este tipo de ecosistemas juega un papel importante en la regulación de los flujos hidráulicos de las cuencas hidrográficas, por lo que el agua desciende más lentamente y puede ser aprovechada de mejor manera por los seres vivos. Asimismo, la cubierta vegetal tiene un rol preponderante en la mitigación de inundaciones, lo que resulta muy importante ante el efecto desastroso que las intensas precipitaciones provocan, especialmente en los últimos años, que estos fenómenos han sido más frecuentes, como consecuencia del cambio climático global (Comité Técnico Interagencial del Foro de Ministros de Medio Ambiente de América Latina y el Caribe, 2000).

En promedio, los bosques alto-andinos presentan un rendimiento hídrico (caudal/precipitación total) del 57% (Tobón y Arroyave, 2008). Este valor es muy superior al promedio del 19% que presenta el bosque seco tropical (Martínez *et al.*, 2005; IAVH, 1997; Torres y Patiño, 1997; Murphy y Lugo, 1986) y del 42% del bosque húmedo tropical (Tobón, 1999). Sin embargo, esta cifra parece ser superada ligeramente por los ecosistemas de páramo, que presentan un valor promedio del 63% (Arroyave, 2007).

2.4. Estado del Arte de la Hidrología de Bosques Naturales

Tobón (2008), señala que existen muy pocos estudios sobre la hidrología de los bosques andinos, la mayoría de ellos centrados en bosques alto-andinos o nublados y montano

altos. Sin embargo, existe un consenso que los principales servicios hidrológicos que proporcionan estos ecosistemas son la regulación de caudales y un alto rendimiento hídrico.

Debido a la presencia permanente de neblina, los componentes del ciclo hidrológico de bosques nublados son diferentes de aquellos de bosques montano altos. Esta presencia de neblina produce una reducción en la radiación solar y un aumento de la humedad relativa, que en conjunto ocasionan que se produzcan menores pérdidas de agua por evaporación y transpiración. Adicionalmente, el contacto entre la neblina y el bosque hace que se produzca un aporte de agua por interceptación, adicional al de la lluvia y en consecuencia la cantidad de agua que ingresa al sistema hidrológico es superior (Bruijnzeel, 2004).

En micro-cuencas de bosque montano bajo, se ha demostrado su capacidad de regular el caudal, porque favorecen la infiltración, gracias a la producción de una capa de hojarasca sobre el suelo mineral y a la disposición de su sistema radicular. Estas propiedades normalizan el nivel freático, permiten la recarga de acuíferos alimentadores del flujo base de las corrientes, disminuyen también la cantidad de pérdidas por escorrentía directa y retrasan la evacuación instantánea de las lluvias (Villegas, 2004). De acuerdo a Fleischbein *et al.*, (2005), se reporta que de un promedio anual de 2500 mm de precipitación, las pérdidas por interceptación alcanzan el 40%, mientras que el 60% restante corresponde a la precipitación neta que llega al suelo. Descontando las pérdidas por transpiración, se calcula que el 41% de la precipitación se convierte en escorrentía.

Sobre la calidad del agua en cuencas de bosques montanos, uno de los estudios más completos es el realizado por Valarezo y Wilcke (2008), en microcuencas de la Estación Científica San Francisco al Sur del Ecuador. Se midieron la concentración de nutrientes en los diferentes flujos de agua dentro del bosque (lluvia, agua que atraviesa el dosel, flujo por el tronco, suelo, solución mineral) y agua en el cauce generada del bosque. El estudio analiza los efectos de las tormentas en la exportación de nutrientes y los mecanismos hidrológicos que movilizan los principales nutrientes.

3. METODOLOGÍA

3.1. Descripción del Área de Estudio

La investigación se desarrolló en ecosistemas prioritarios de la Región Sur del Ecuador, en las provincias de Loja y Zamora Chinchipe (Figura 2), los cuales se encuentran entre rangos altitudinales que van desde los 800 m.s.n.m. hasta los 2800 m.s.n.m. (Cuadro 2). Cabe resaltar que se relegó a un sector de estudio (páramo del Parque Nacional Podocarpus), para poder proseguir con el resto de la investigación, debido a eventualidades producidas (ruptura de placa de cerámica de olla de presión) durante los análisis en el laboratorio de suelos de la Universidad Nacional de Loja, ocasionando la paralización del proyecto durante un periodo prolongado de tiempo, evitando que se continuara con el mismo, ya que los resultados no podían ser analizados por separado. Las principales características de los ecosistemas que fueron estudiados se presentan en el siguiente cuadro:

Cuadro 2. Características de los ecosistemas de estudio.

| Tipo de ecosistema | Ubicación del Ecosistemas | Altitud | Precipitación media anual | Temperatura media anual | Suelos |
|---|-----------------------------|-----------|---------------------------|-------------------------|--------------------------|
| Bosque siempreverde piemontano de las cordilleras del Cóndor-Kutukú | El Padmi | 800 msnm | 2000 | 23°C | Entisoles e Inceptisoles |
| Bosque siempreverde montano del Sur de la Cordillera Oriental de los Andes | El Madrigal (Zamora Huayco) | 2400 msnm | 1200 - 1500 | 15,6 °C | Entisoles |
| Bosque siempreverde montano alto del Sur de la Cordillera Oriental de los Andes | Cajanuma | 2800 msnm | 3000 | 7 °C | Inceptisoles |

Fuente: Aguirre, 2004; Lozano *et al.*, 20003; MAE, 2012; Naranjo y Ramírez 2009; Peña y San Martín, 2011.

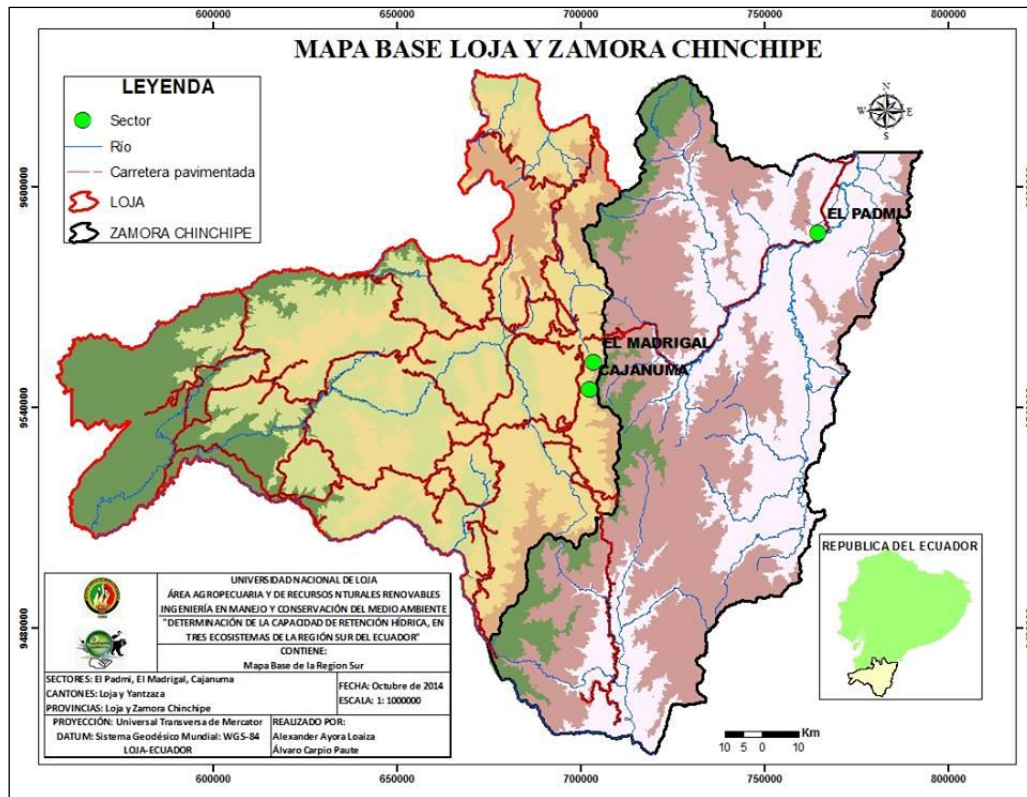


Figura 2. Ubicación espacial de los sitios de estudio en la Región Sur del Ecuador.

A continuación se presenta una breve descripción de los sitios en los que se llevó a cabo la presente investigación:

- **Quinta Experimental El Padmi**

Se ubica en la parroquia Los Encuentros, cantón Yantzaza en la Provincia de Zamora Chinchipe, geográficamente ubicado a 9587586 N y 764815 E. El ecosistema según MAE (2012 b) es Bosque siempreverde piemontano de las cordilleras del Cóndor-Kutukú (BsPa02), perteneciente a la cordillera oriental del Pacífico, caracterizado por ser un bosque que se desarrolla sobre terrenos colinados y hondonadas.

El clima es cálido húmedo con una temperatura media anual de 23°C, presenta una precipitación media anual de 2000 mm, el mes más lluvioso es marzo con 2260 mm, el mes de menor precipitación es octubre con 1320 mm (Naranjo y Ramírez, 2009). La fisiografía y suelos en el sitio de estudio, son altamente representativos del corredor fluvial Zamora-Nangaritza, conformado por valles estrechos, colinas y montañas de

fuertes pendientes; por lo que se distinguen tres grandes formas del terreno: la primera corresponde a la parte plana aluvial reciente, con pendiente del 5 %; la segunda es la parte media ondulada e inclinada, con pendientes del 15 %; y, la tercera es la parte de laderas escarpadas y muy escarpadas, con pendientes mayores al 30 % (Valarezo, 2004).

Los suelos son de dos tipos: entisoles que son suelos jóvenes presentes en las partes planas y bajas del área de estudio; y los suelos de meteorización intermedia o inceptisoles que corresponden a las áreas inclinadas y moderadamente escarpadas (Cerón, 2003).

- **Sitio el Madrigal**

El Madrigal se encuentra ubicado dentro de la Microcuenca San Simón al sureste de la ciudad de Loja, en la zona de amortiguamiento del Parque Nacional Podocarpus, geográficamente ubicado en las coordenadas: 9552357 N y 703585 E. Según (MAE, 2012 b), el ecosistema corresponde a la denominación de Bosque siempreverde montano del Sur de la Cordillera Oriental de los Andes (BsMn02), presenta pendientes que van desde 11 hasta el 26 %, caracterizado por ser un bosque alto siempreverde y por poseer una alta abundancia y diversidad de especies epífitas.

Los suelos pertenecen a la serie Zamora (rocas metamórficas del Paleozoico), al orden de los entisoles, gran grupo de los Troporthents, suborden Orthents Tiene una profundidad efectiva de 45 cm pues hasta ese punto llegan las raíces. Existen tres horizontes bien diferenciados: el horizonte superficial, que presenta una textura franca, predominando la estructura del bloque subangular; y, dos horizontes inferiores de textura franca y estructura subangular y angular respectivamente (Aguirre, 2004).

Con un clima temperado lluvioso, con temperaturas que fluctúan de 12 a 18°C y una precipitación media anual que va de 1000 a 1500 mm, donde los meses de diciembre, enero, febrero, marzo y abril poseen los mayores datos de precipitación excedente. En

consecuencia hay una mayor ganancia de agua en el suelo a diferencia de los meses de mayo, junio, agosto, septiembre y noviembre en donde existe déficit de humedad en el suelo, en los meses de julio y octubre se observa una mínima variación por lo que existe más o menos un equilibrio entre precipitación y evapotranspiración potencial (Aguirre, 2004).

- **Sitio Cajanuma**

El sitio Cajanuma se encuentra dentro del Parque Nacional Podocarpus, al sur de la ciudad de Loja, geográficamente ubicado a 9544905 N y 702586 E, este ecosistema recibe la denominación de Bosque siempreverde montano alto del Sur de la Cordillera Oriental de los Andes (MAE, 2012 b), generalmente es denso y con abundante presencia de epífitas y musgos.

Este sector receipta entre 2000 - 4000 mm de precipitación anual. El clima en la zona de alta montaña está caracterizado por un viento intenso, desde el Este y por una neblina persistente, la temperatura oscila diariamente entre 10° C como máxima y mínima 0° a 3° C (Herbario Loja, 2001). La zona es muy propensa a derrumbes naturales debido a fuertes pendientes (entre 22 y 27 %), donde los suelos se caracterizan por ser una mezcla de entisoles con rocas (Lozano *et al.*, 2007).

3.2. Caracterización de las propiedades hidrofísicas del suelo, en ecosistemas prioritarios de las provincias de Loja y Zamora Chinchipe.

En cada ecosistema de estudio, se establecieron unidades de muestreo representadas por parcelas permanentes de una hectárea (100 m x 100 m), de estudios anteriores como el de Naranjo y Ramírez (2009). A cada unidad de muestreo, se la dividió en 25 sub-parcelas de 20 m x 20 m, las cuales fueron codificadas del 1 al 25. Posteriormente se seleccionaron al azar tres sub-parcelas de 20 m x 20 m (Figura 3), en la cuales se recaudó información para este estudio, con su correspondiente georeferenciación.

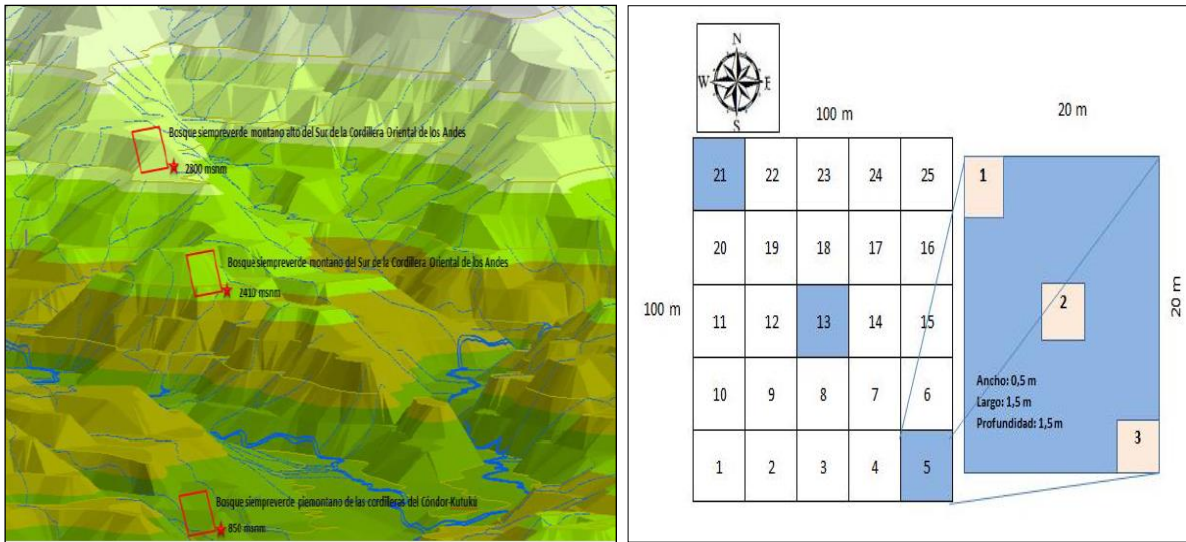


Figura 3. Ubicación espacial de las parcelas de muestreo, en ecosistemas prioritarios de las provincias de Loja y Zamora Chinchipe.

En los sitios de estudio (subparcela de 20 m x 20 m), se excavó una calicata de 1,5 m x 0,5 m y 1,5 m de profundidad, en las que se tomaron muestras no disturbadas a nivel de tres profundidades (25 cm, 45 cm y 65 cm) tal como se muestra en la Figura 4, para la caracterización de algunas propiedades hidrofísicas, como son: densidad aparente (D_a), capacidad de campo ($P_f 2,52$) y punto de marchitez permanente ($P_f 4,2$).



Figura 4. Toma de muestras no disturbadas, en el sector de Cajanuma.

Para los estudios de textura y materia orgánica, se barrenó y tomó una muestra de suelo (500 g, aproximadamente) por cada calicata con su respectivo etiquetado, posterior fueron trasladadas al laboratorio de suelos de la Universidad Nacional de Loja, para su correspondiente análisis. A continuación se presenta los procedimientos para el análisis de cada una de las propiedades consideradas en el presente estudio:

Para determinar la textura de cada muestra, se realizó un análisis por densimetría con hidrómetro de Bouyoucos, tal procedimiento lo describen Hernández (2007) y Jaramillo (2002), cuyo procedimiento se muestra en la Figura 5.

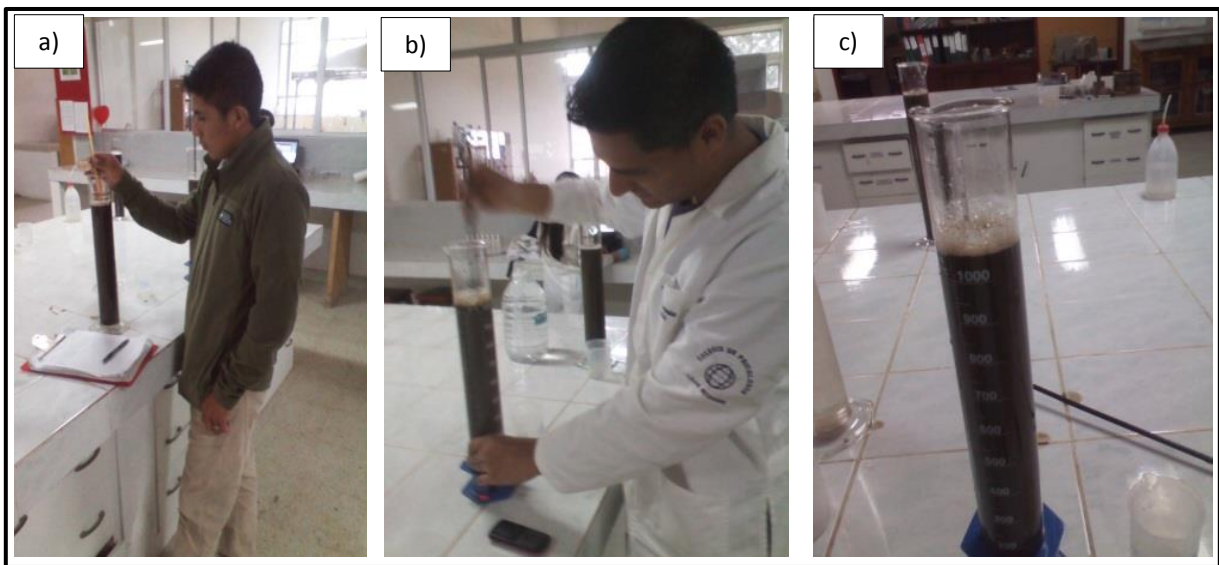


Figura 5. a) Toma de temperatura. b) Agitación c) Lectura con densiómetro.

Con los datos obtenidos del porcentaje de arena, limo y arcilla se interpola en el triángulo de texturas (Figura 6) y se caracteriza el suelo.

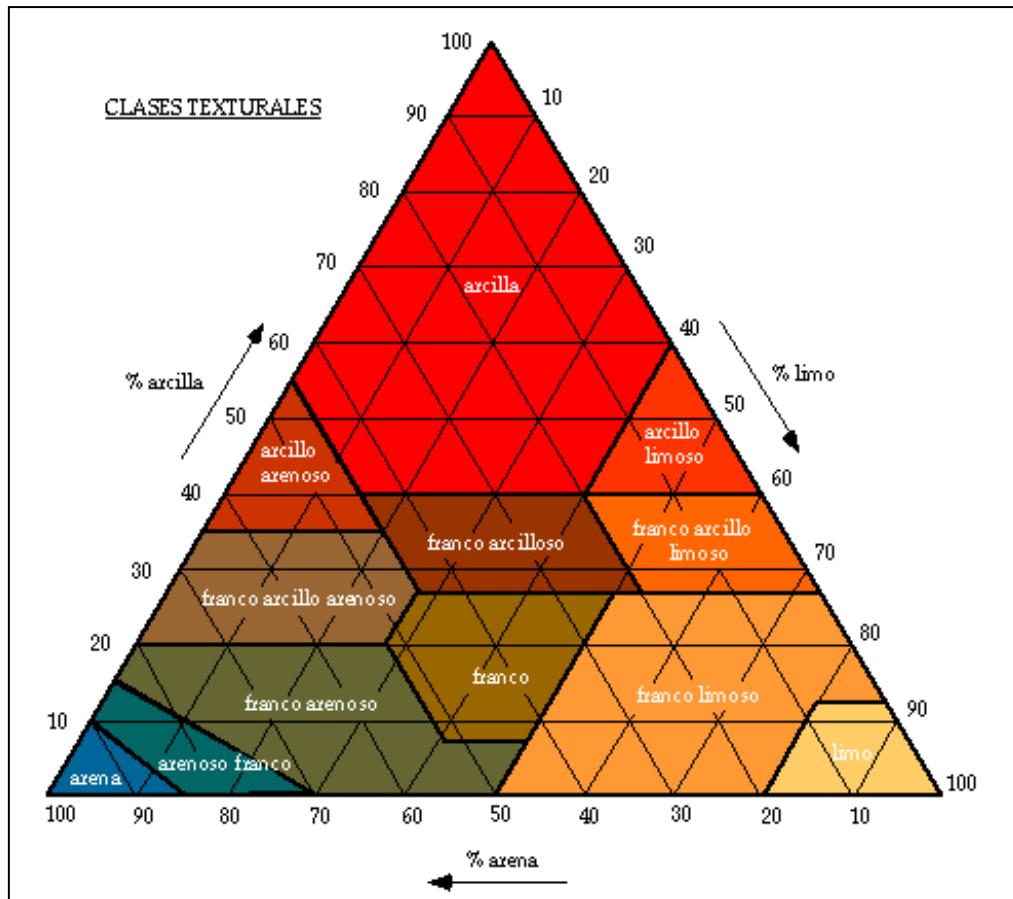


Figura 6. Triángulo de Textura. Salazar *et al.*, 2000 (Tomado de USDA¹, 1993).

En referencia a la materia orgánica, se utilizó el método de Walkley y Black que determina la concentración de carbón orgánico presente en el suelo, tal como lo describen Sánchez *et al.*, (2012) y Mivazawa *et al.*, (2000), y que a continuación se muestra en la Figura 7:

¹ USDA: Departamento de Agricultura de los Estados Unidos

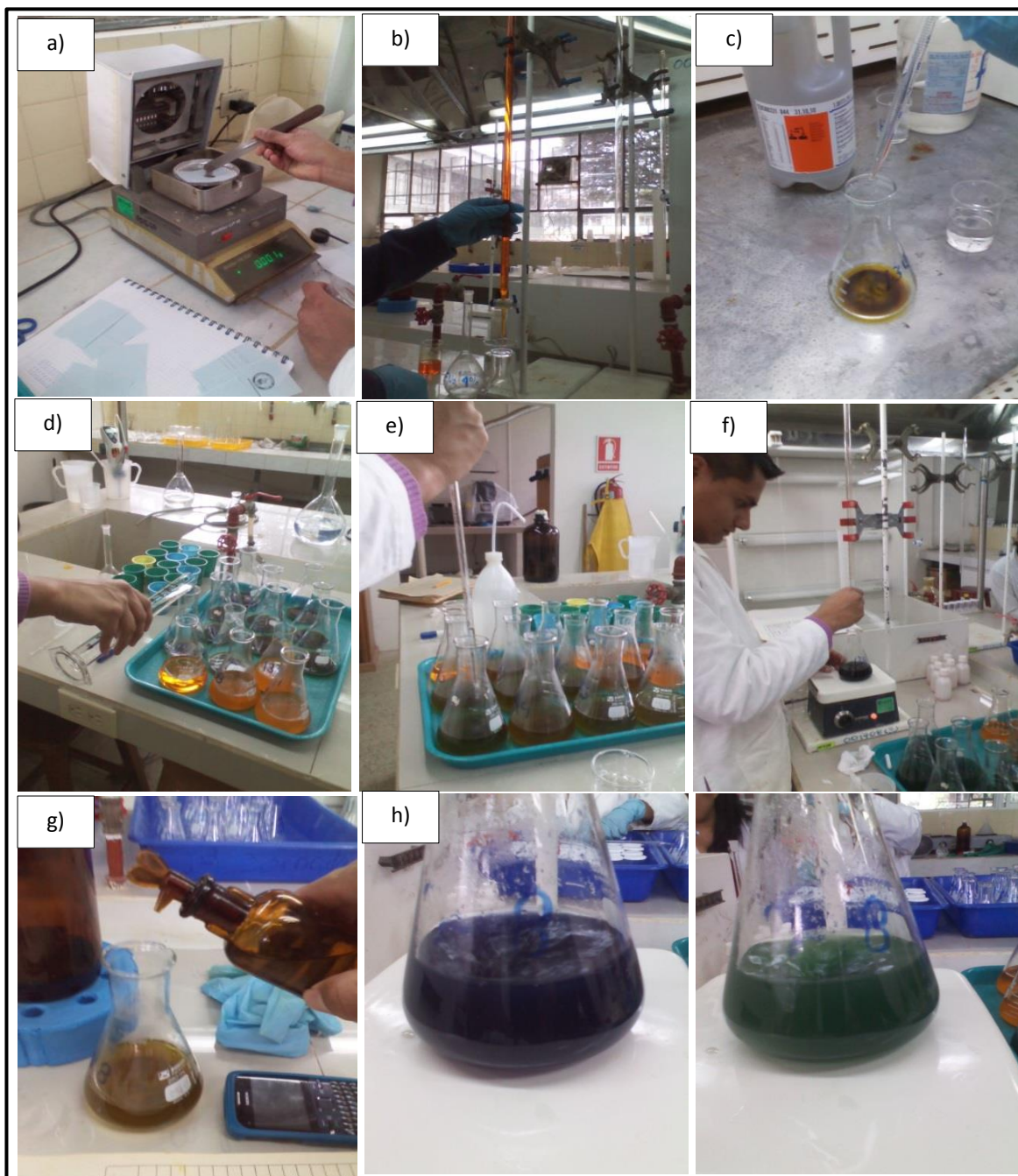


Figura 7. a) Pesado de la muestra. b) Aditamento de dicromato de potasio c) Incorporación de ácido sulfúrico d) Adición de agua destilada e) Adición del ácido fosfórico f) Titulación del exceso de dicromato g) Adición de difenilamina h) Viraje del color de azul a verde.

Para la densidad aparente, se recurrió al método del cilindro (Forsythe, 1975; Porta *et al.*, 1999; García, 2011.), una vez obtenidas las muestras se sometieron a saturación durante 24 horas o más, se determinó su peso húmedo y seco en una balanza de precisión, se

colocó las muestras al horno graduado a 105 °C durante 24 horas. La densidad aparente se la obtuvo de acuerdo a la ecuación:

Ecuación 1.

$$DA = \frac{P_{ss}}{V}$$

Donde:

DA = Densidad Aparente (g/cm³)

P_{ss} = Peso del suelo seco (g)

V = Volumen del Cilindro (cm³)

La capacidad de campo (Pf 2,52), se obtuvo, sometiendo las muestras saturadas a las ollas de presión aplicando una tensión de 1/3 atmósferas, luego se pesó y se secó la muestra en una estufa a 110 °C por 24 horas, para posteriormente volverlas a pesar y obtener su peso seco (método gravimétrico), finalmente el cálculo se realizó mediante la ecuación presentada en los estudios de Valverde (1989) y Valarezo *et al.*, (1998).

Ecuación 2.

$$CC = \frac{PSH - PSS}{PSS} \times 100$$

Donde:

CC : capacidad de campo en porcentaje

PSH : peso de suelo húmedo en gramos

PSS : peso de suelo seco en gramos

De igual manera, para obtener el punto de marchitez permanente (Pf 4,2), se sometieron las muestras húmedas a presión, con una tensión de 15 atmósferas utilizando la olla de presión, después se determinó la humedad por el método gravimétrico ya descrito. A continuación se aplicó la ecuación propuesta en las publicaciones de Valverde (1989) y Valarezo *et al.*, (1998).

Ecuación 3.

$$PMP = \frac{PSH - PSS}{PSS} \times 100$$

Donde:

PMP : punto de marchitez permanente en porcentaje

PSH : peso de suelo húmedo en gramos

PSS: peso de suelo seco en gramos

Además, se calculó el agua aprovechable, cuyo procedimiento se resume en la Figura 8, que resulta ser la cantidad de agua retenida en el suelo entre la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente, que por lo general forma la solución del suelo y es la principal forma de agua para el desarrollo de las plantas y el diseño de sistemas de riego (Valverde, 1989 y Valarezo *et al.*, 1998).



Figura 8. a) Equipo para determinar la capacidad de retención del agua. b) Enrozado y Saturación de las muestras c) Pesado de las muestras d) Muestras sometidas a una presión de 3 atm e) Secado de muestras en la estufa f) Muestras sometidas a una presión de 15 atm.

Finalmente se procedió a calcular la disponibilidad total de agua almacenada en el suelo, es decir la cantidad de agua que el suelo puede almacenar por determinado tiempo. Se puede expresar en lámina de agua por profundidad del suelo, generalmente en mm de agua por m de profundidad de suelo:

Ecuación 4.

$$LA = \frac{Px da x Hg}{100}$$

Donde:

LA: lámina de agua en mm

P: profundidad en cm

da: densidad aparente en g/cm³

Hg: % de humedad gravimétrica

3.3. Evaluación de la influencia de la vegetación en las propiedades hidrofísicas del suelo, en ecosistemas prioritarios de las provincias de Loja y Zamora Chinchipe.

Primeramente se realizó la caracterización de la cobertura vegetal (**estrato arbóreo**) de cada uno de los sitios de interés (Padmi, El Madrigal, Cajanuma,). La información fue recabada del estudio realizado por Aleaga (2014), y por medio de un análisis de expertos e indagación de información pertinente, se seleccionó densidad absoluta de plantas leñosas como variable de interés.

Posterior se procedió a realizar el análisis estadístico correspondiente, aplicando un modelo mixto con un diseño anidado, para inferir en la influencia de la vegetación sobre las propiedades hidrofísicas del suelo, por medio del paquete estadístico R, el cual es un software libre para el análisis estadístico de datos.

3.4. Determinación de factores ambientales asociados a las propiedades hidrofísicas del suelo, en ecosistemas prioritarios de las provincias de Loja y Zamora Chinchipe.

Para dar cumplimiento a este objetivo se seleccionó las variables ambientales a estudiar como: el clima (precipitación, temperatura), geología, suelos, pendiente y cobertura vegetal, que pueden tener incidencia en las propiedades hidrofísicas del suelo. Posteriormente se procedió a realizar los mapas temáticos de cada una de las variables:

En lo referente a la precipitación y temperatura, se extrajo información a través de la base de datos climática WORLDCLIM, que es una red global de clima con una resolución espacial de aproximadamente 1 Km², que utiliza los datos registrados en las estaciones meteorológicas mundiales, correspondiente al período comprendido entre 1950-2000. En la Figura 9 se presenta el proceso para realizar los mapas temáticos de estas variables.

Para la realización del mapa de pendientes, se manejó la base de datos del Instituto Geográfico Militar (IGM), utilizando el modelo de elevación digital (DEM30), escala 1:250000. En la figura 10 se presenta el proceso para realizar el mapa temático de esta variable.

Finalmente en la elaboración de los mapas geológicos (escala 1:100000), de suelos (escala 1:250000) y cobertura vegetal (escala 1:250000) se utilizó la base de datos del Sistema Nacional de Información (SIN), realizando a cada uno de ellos la edición temática respectiva.

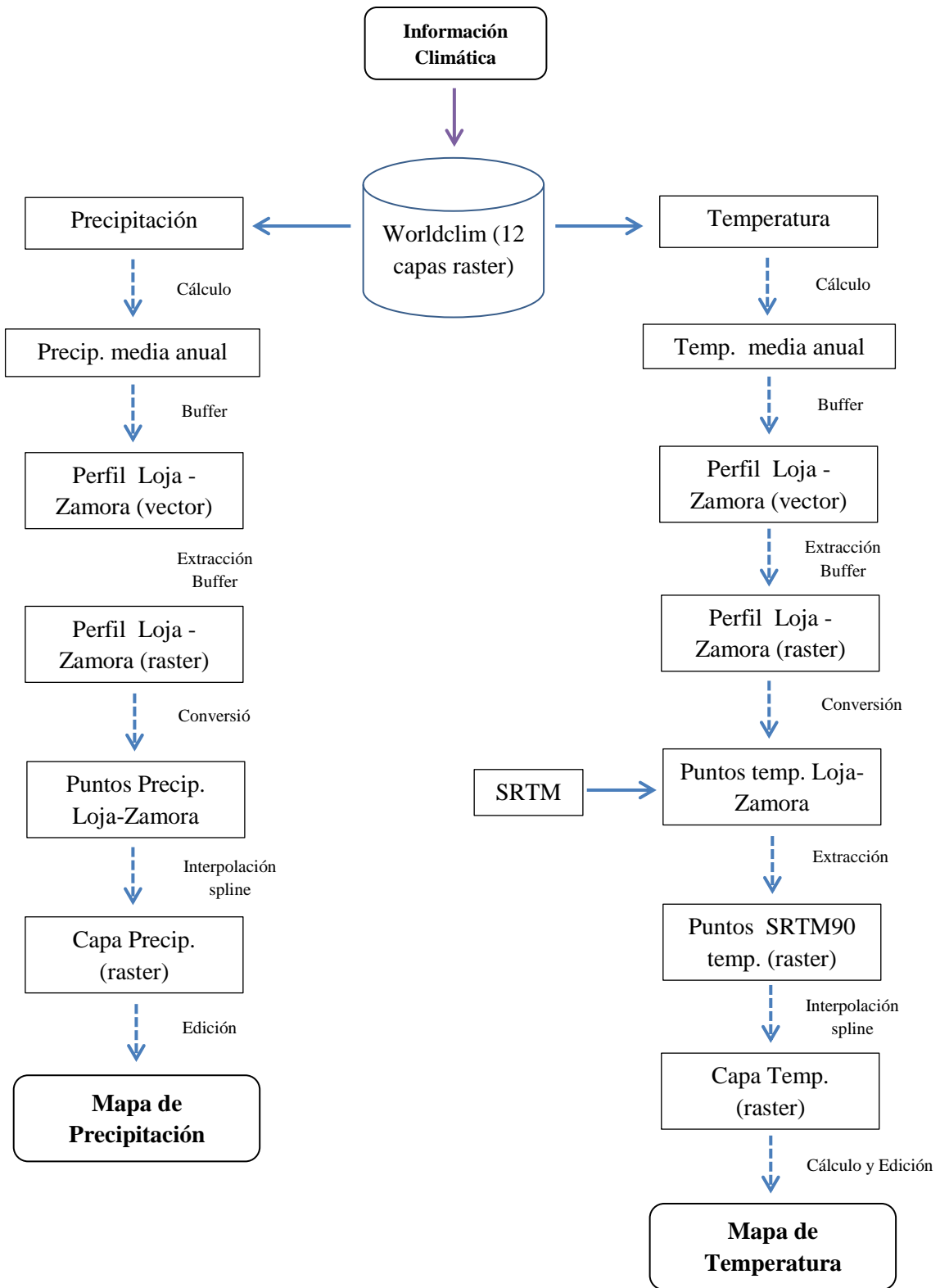


Figura 9. Flujograma del proceso de realización del mapa de precipitación y temperatura.

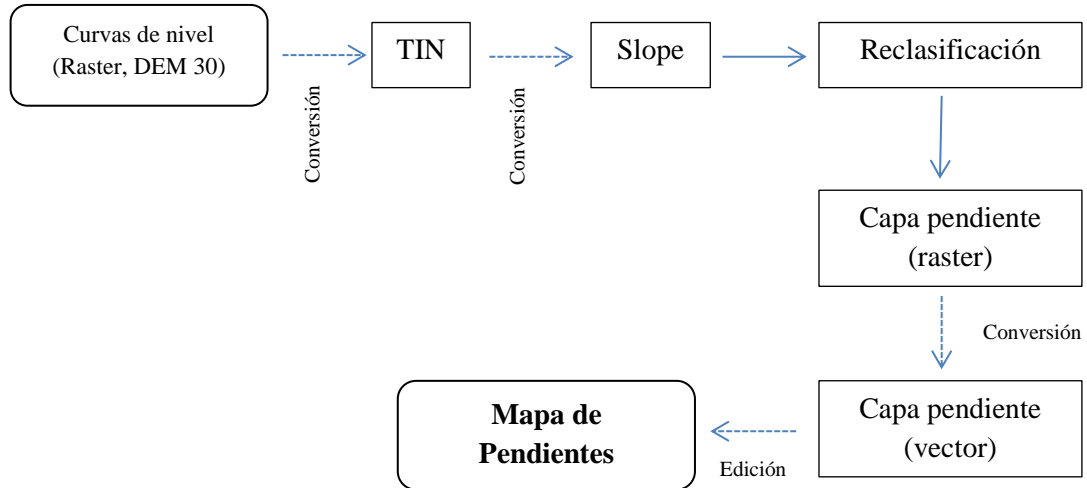


Figura 10. Flujograma del proceso de realización del mapa de pendientes.

3.5. Difusión de la Información Generada en el Estudio, a los Sectores Interesados

A continuación se mencionan las estrategias de difusión de la información que se realiza al culminar la investigación:

- Elaboración de un artículo científico, que será presentado a una de las revistas científicas existentes en la Universidad Nacional de Loja.
- Preparación de una nota informativa, que será publicada en la página web de la Dirección de Investigaciones de la Universidad Nacional de Loja.
- Realización de un poster descriptivo del proyecto para la difusión sintetizada de los resultados de la investigación.

4. RESULTADOS

4.1. Caracterización de las propiedades hidrofísicas del suelo, en ecosistemas prioritarios de las provincias de Loja y Zamora Chinchipe.

Los datos obtenidos de la caracterización de las propiedades hidrofísicas del suelo de los sitios de estudio, se presentan en el Anexo 1. A continuación se muestra los resultados del análisis estadístico, relacionados con la capacidad de almacenamiento de agua en el suelo a nivel de tres profundidades, en ecosistemas prioritarios de la Región Sur del Ecuador.

4.1.1. Profundidad

Como se muestra en la Figura 11, a 65 cm de profundidad, el suelo presenta mayor valor de densidad aparente y a 25 cm menor valor de densidad aparente. Sin embargo de acuerdo al modelo, se evidencia que la densidad aparente a nivel de tres profundidades no presenta diferencias significativas ($p = 0.1071$).

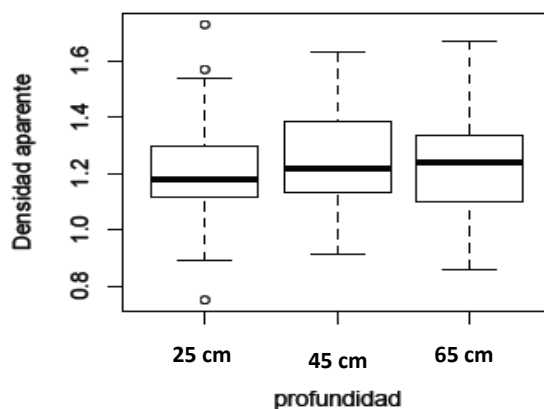


Figura 11. Valores de densidad aparente del suelo a nivel de tres profundidades, en ecosistemas prioritarios de las provincias de Loja y Zamora Chinchipe.

El valor de lámina de agua se incrementa con la profundidad, tal como se muestra en la Figura 12, el mayor valor de lámina de agua se encuentra a 65 cm de profundidad. No obstante las diferencias que el modelo arroja, no son significativas a nivel de tres profundidades ($p = 0,7567$).

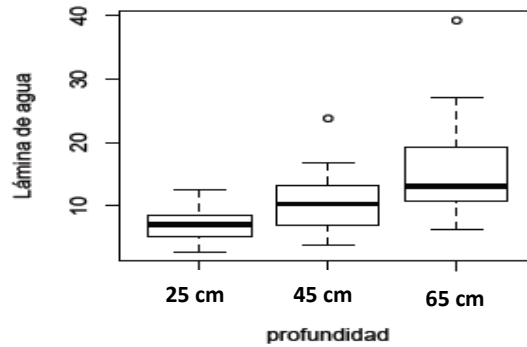


Figura 12. Valores de lámina de agua del suelo a nivel de tres profundidades, en ecosistemas prioritarios de las provincias de Loja y Zamora Chinchipe.

4.1.2. Sector

En la Figura 13, se observa que el sector “El Madrigal” presenta valores más altos de densidad aparente en relación con los sectores Padmi y Cajanuma, sin embargo el modelo indica que no existen diferencias significativas ($p = 0.1273$) entre los sitios.

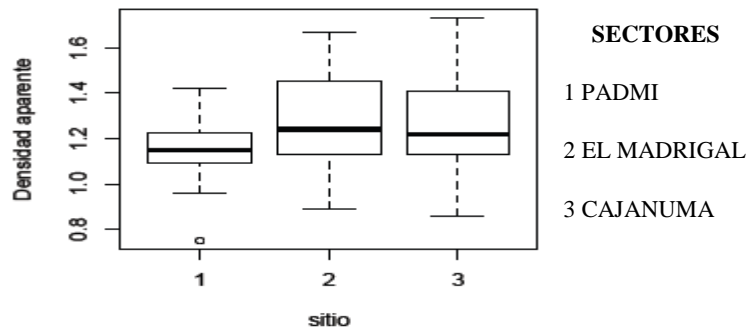


Figura 13. Valores de densidad aparente del suelo, en ecosistemas prioritarios de las provincias de Loja y Zamora Chinchipe.

Como se observa en la Figura 14, el valor más alto de lámina de agua ocurre en el sector Cajanuma, seguido del sitio “El Madrigal”, y con menor valor el sector Padmi. El modelo indica que no existe diferencia significativas entre sitios ($p = 0.4778$).

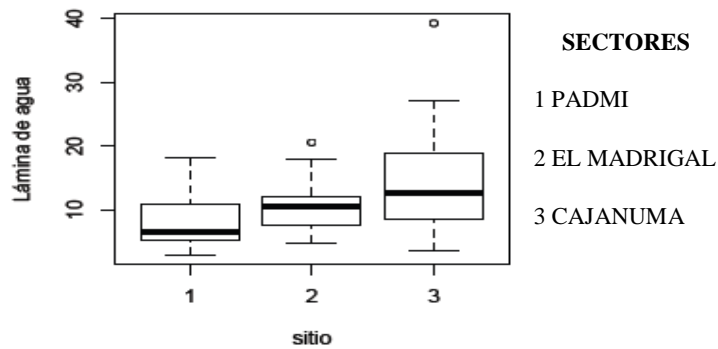


Figura 14. Valores de lámina de agua en ecosistemas prioritarios de las provincias de Loja y Zamora Chinchipe.

Además de los parámetros hidrofísicos como es la densidad aparente y lámina de agua, se analizó parámetros como textura y materia orgánica respectivamente, puesto que estos valores están ligados con las variables de estudio.

En la Figura 15 se observa que el porcentaje de arena es mayor en el sitio 2 (“El Madrigal), seguido del sitio 1 (Padmi) y menor en el sitio 3 (Cajanuma). De acuerdo al modelo ($p = 0.5487$) no se muestran resultados significativos entre sitios. Respecto al porcentaje de limo, este presenta un valor mayor en el sitio 3 (Cajanuma), seguido del sitio 2 (“El Madrigal) y con un valor menor en el sitio 1 (Padmi). De acuerdo al modelo los valores de ($p = 0.0004$), muestran diferencias significativos entre sitios. En cuanto al porcentaje de arcilla, éste presenta un valor mayor en el sitio 1 (Padmi), seguido del sitio 2 (“El Madrigal) y con un valor menor en el sitio 3 (Cajanuma). De acuerdo al modelo ($p = 0.0264$) muestran diferencias significativos entre sitios.

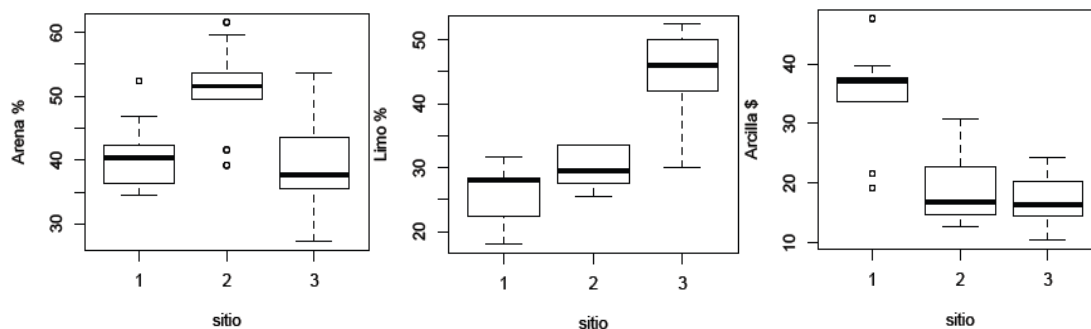


Figura 15. Porcentaje de arena, limo y arcilla en suelos de ecosistemas prioritarios de las provincias de Loja y Zamora Chinchipe.

Como se aprecia en la Figura 16, el sector El Madrigal presenta un mayor valor de materia orgánica, seguido del sector Cajanuma, y con menor valor el sector Padmi. De acuerdo al modelo ($p = 0.0692$) no presenta diferencia significativa entre sitios.

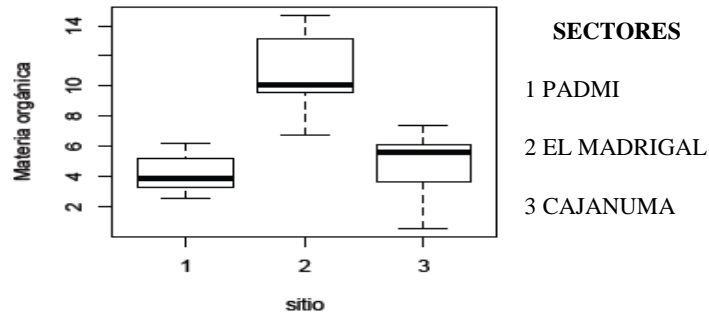


Figura 16. Valores de materia orgánica del suelo, en ecosistemas prioritarios de las provincias de Loja y Zamora Chinchipe.

4.2. Evaluación de la influencia de la vegetación en las propiedades hidrofísicas del suelo, en ecosistemas prioritarios de las provincias de Loja y Zamora Chinchipe.

En la Figura 17, se puede apreciar que el sector “Cajanuma” presenta mayor valor de densidad arbórea seguido del sector “El Madrigal”, mientras que el sector Padmi ostenta el menor valor de densidad absoluta de plantas leñosas. De acuerdo al modelo ($p = <2e^{-16}$) se muestra una diferencia significativa entre sitios.

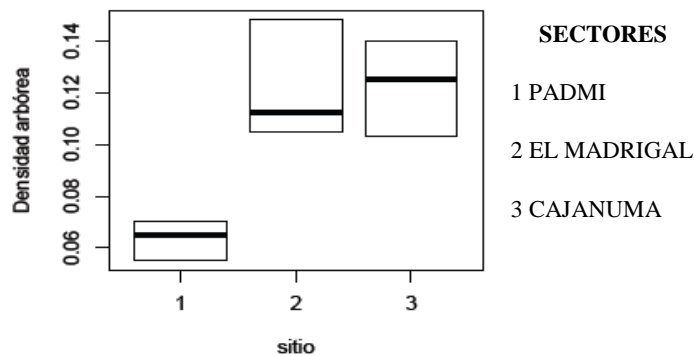


Figura 17. Valores de densidad absoluta de plantas leñosas en ecosistemas prioritarios de las provincias de Loja y Zamora Chinchipe.

4.3. Determinación de factores ambientales asociados a las propiedades hidrofísicas del suelo, en ecosistemas prioritarios de las provincias de Loja y Zamora Chinchipe.

A continuación se presenta los resultados de los factores ambientales asociados a las propiedades hidrofísicas del suelo:

4.3.1. Precipitación

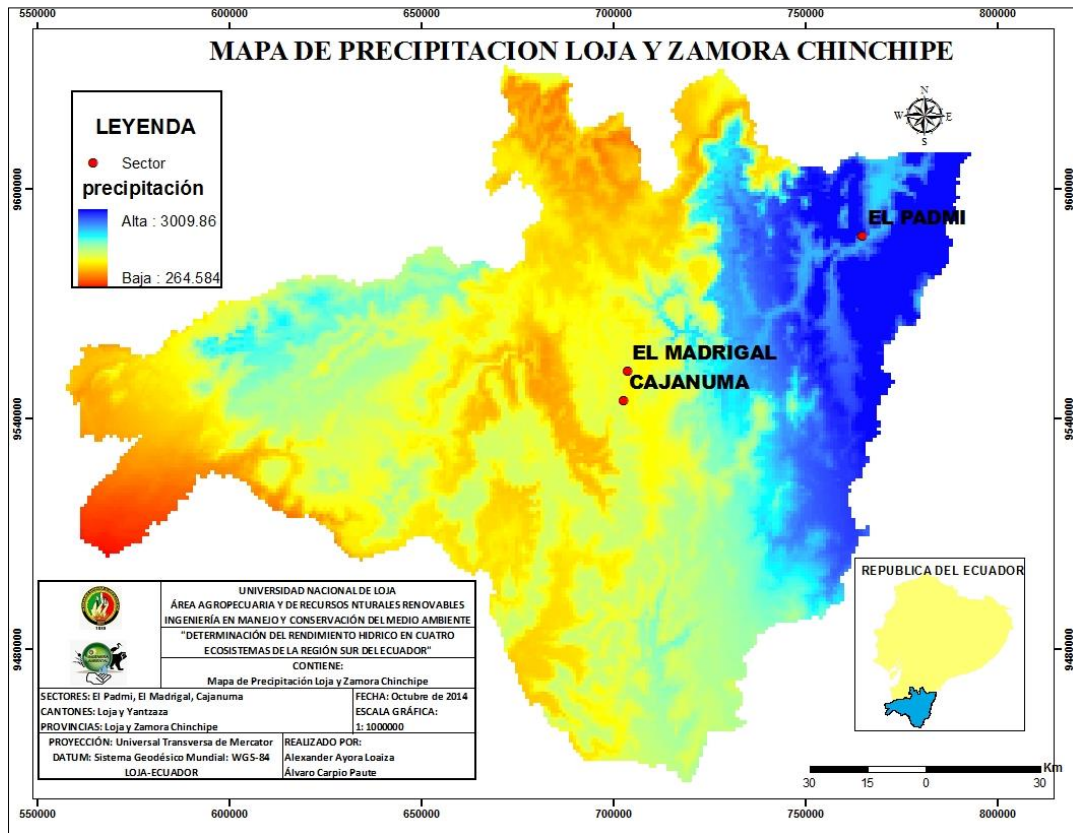


Figura 18. Mapa de precipitación de las provincias de Loja y Zamora Chinchipe

La cantidad de lluvia disponible es un factor clave para el crecimiento y la diversidad de las plantas, no solamente por el agua misma, sino porque los nutrientes que ésta contiene, y que son transportados con ella a través de la atmósfera, juegan un papel muy importante en el ecosistema del bosque húmedo de montaña. De acuerdo a la base de datos mundial Worldclim (global climate date), los resultados demuestran que en el sector el “Padmi” presenta una mayor precipitación media anual de 2100 mm, mientras que los sectores “EL Madrigal y “Cajanuma” ostentan una precipitación media anual de 1063 y 1010 mm respectivamente, tal como se muestra en la Figura 18.

4.3.2. Temperatura

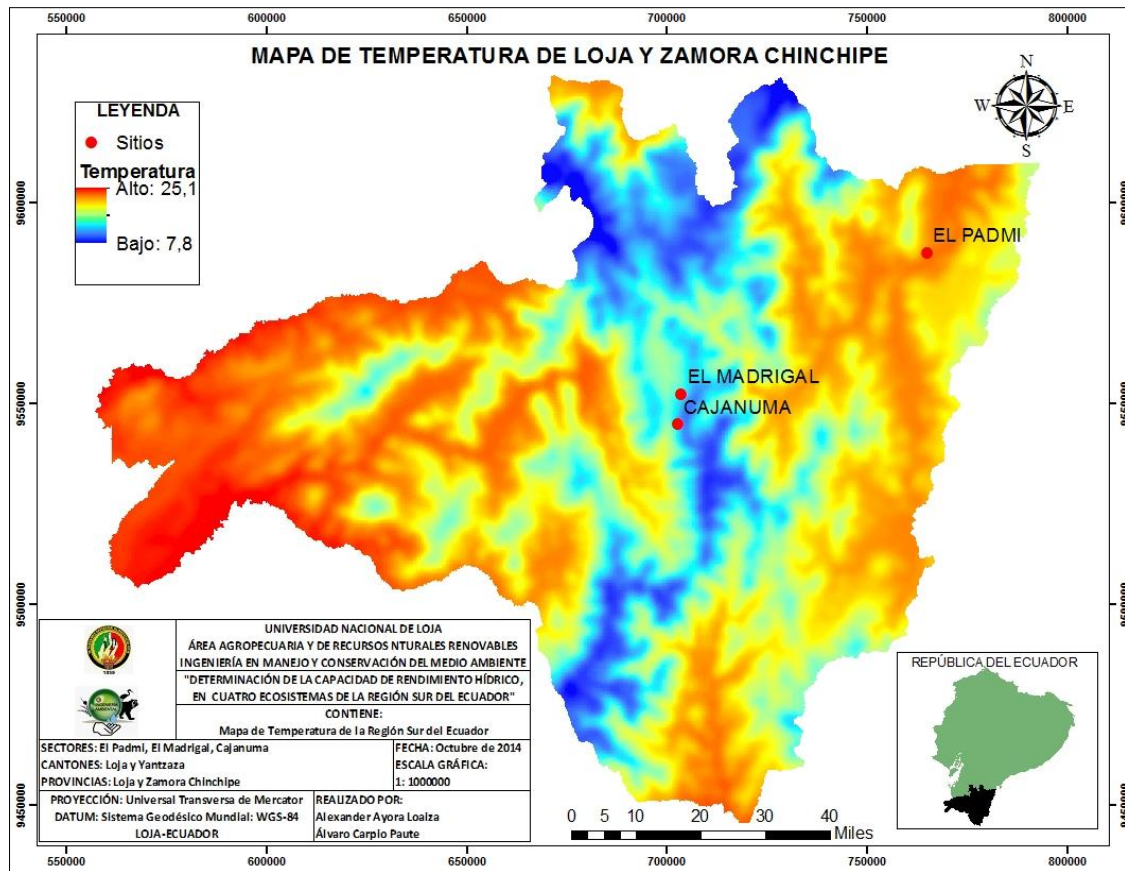


Figura 19. Mapa de temperatura de las provincias de Loja y Zamora Chinchipe.

De acuerdo a la Figura 19, el sector el “Padmi” presenta una mayor temperatura media anual de 22 °C, mientras que los sectores “EL Madrigal y “Cajanuma” ostentan una temperatura media anual de 14 y 13 °C respectivamente. Dichos valores son representativos del típico clima tropical, característico en el Sur del Ecuador, tal como lo afirma Kiss y Bräuning (2008); Jarvis y Mulligan (2011); Cuesta *et al.*, (2012) en cuyo flanco oriental de la cordillera de los Andes, se registran temperaturas medias anuales de alrededor de 10 °C en las partes más altas, y de entre 15 y 21 °C en los valles de Loja, Vilcabamba y Zamora (Aguirre, 2007; Valarezo *et al.*, 1998)

4.3.3. Geología

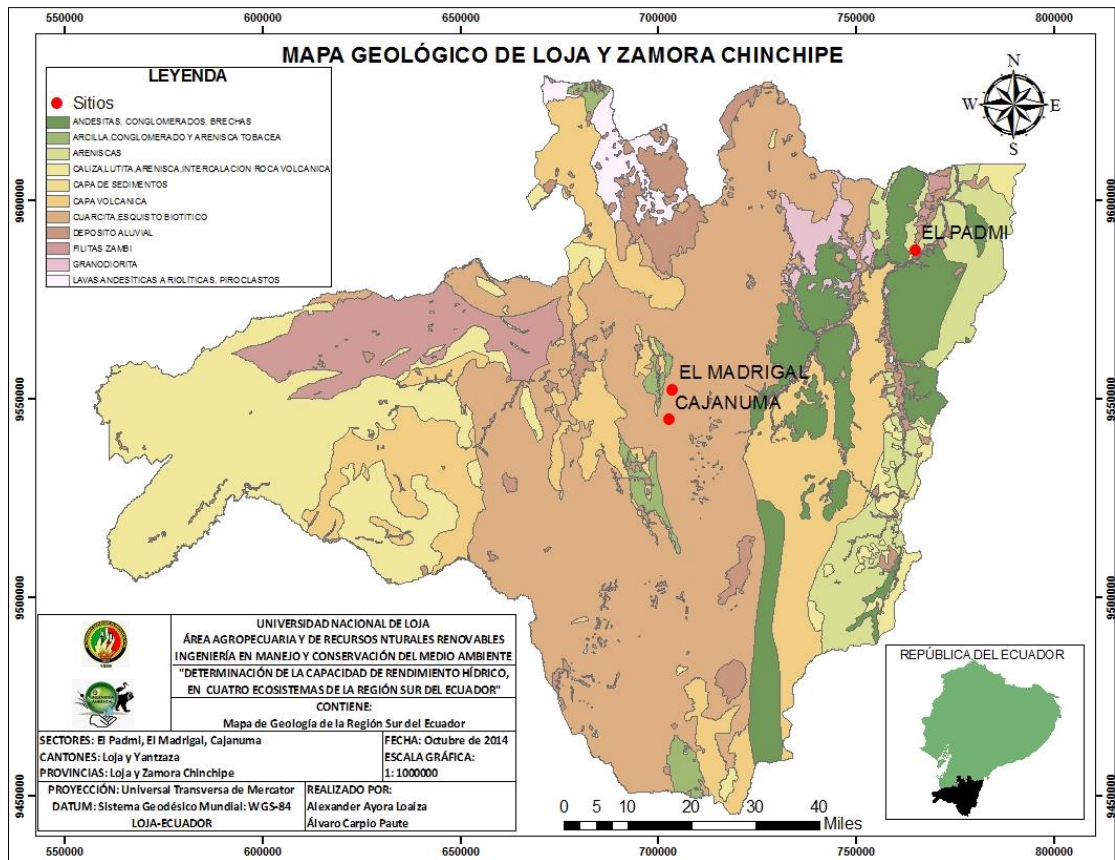


Figura 20. Mapa de la geología de las provincias de Loja y Zamora Chinchipe.

El Ecuador está dividido en tres zonas geológicas que corresponden aproximadamente a las tres regiones fisiográficas: Costa, Sierra dividida en dos cordilleras separadas por el Valle Interandino en el Norte del país y Oriente separado en dos regiones: la zona subandina y la Cuenca Oriental (INEMIN, 1987).

Como se aprecia en la Figura 20, el sector el “Padmi” corresponde al dominio Cratón Guayanes-Cuenca Oriental, perteneciente a la formación Hollín, su litología típica predominante son las areniscas, su edad paleontológica pertenece al Aptiense, y su edad relativa al Cretácico inferior. El período Cretácico está constituido principalmente por rocas sedimentarias, las cuales incluyen estratos de Areniscas Cuarzosas en la base, sobreyacidas discordantemente por estratos de Lutitas Calcáreas, Areniscas y Calizas (Pilatasig *et al.*, 2005). En cambio, los sectores el “Madrigal” y “Cajanuma”, corresponde al dominio Loja-

Olmos, pertenece a la formación Chiguinda, su litología típica predominante son la Cuarcita, Esquistos Biotíticos, su edad paleontológica pertenece al Paleozoico, se encuentran formados principalmente por rocas metamórficas. Se presume que deriva de una cuenca intracratónica y se la considera similar a rocas carboníferas y devónicas de la depresión Perú-Bolivia (Guartán, 2010).

4.3.4. Suelos

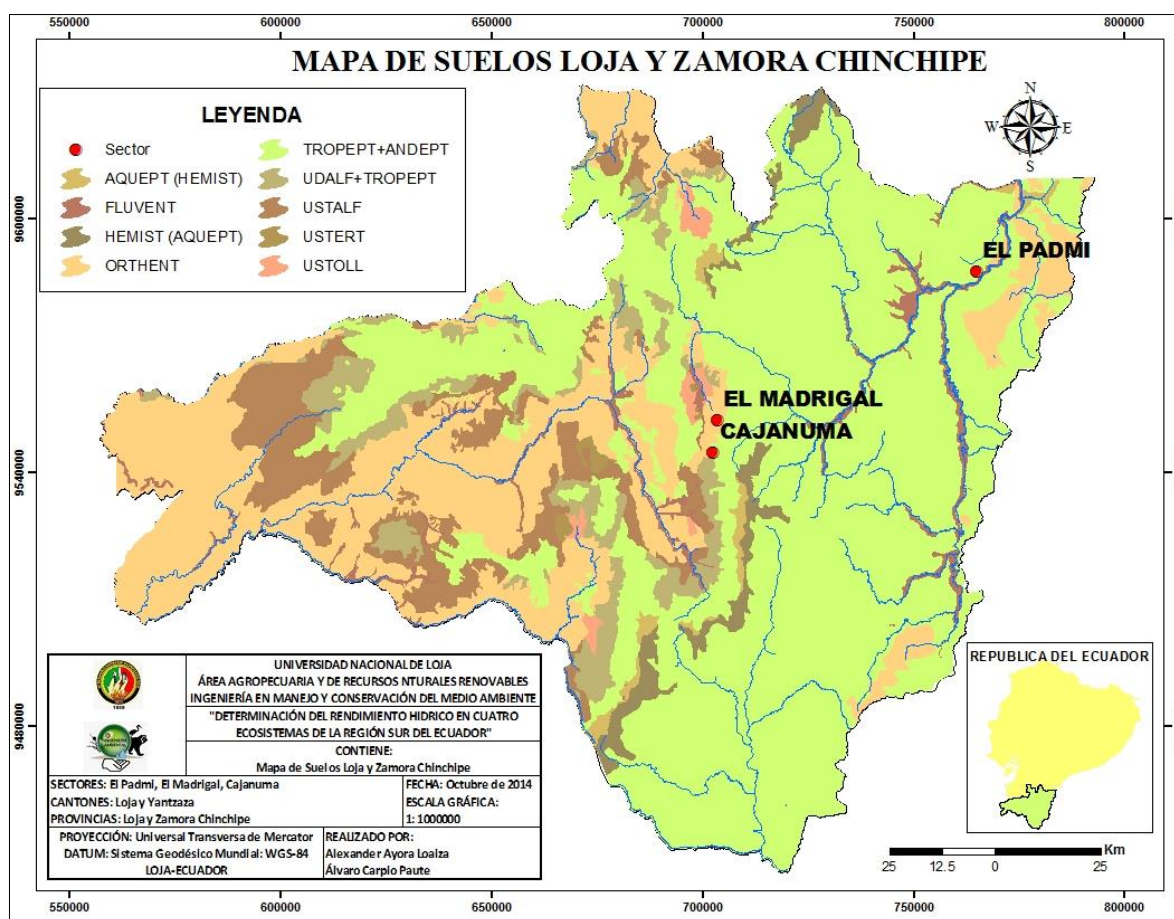


Figura 21. Mapa de Suelos de las provincias de Loja y Zamora Chinchipe.

En la Región Sur del Ecuador, en respuesta a la multiplicidad de: microclimas, materiales de origen y relieves, se encuentra una diversidad de suelos, con diferencias significativas en cuanto al grado de desarrollo, propiedades físico-químicas, estado de fertilidad y capacidad de uso. En todo caso, el factor orográfico-altitudinal para un mismo material parental determina una zonificación vertical de los suelos (Valarezo *et al.*, 1998).

Como se puede apreciar en la Figura 21, el sector el “Padmi” presenta suelos combinados entre los subórdenes trocept+andept, pertenecientes al orden de los inceptisoles de bajas latitudes, caracterizados por presentar un horizonte pardo-oscuro formado por material alterado en la superficie. Este tipo de suelos empiezan a mostrar un desarrollo de los horizontes, porque su tiempo de desarrollo es bastante joven. Además se desarrollan en terrenos de depresión o en la parte baja de un valle, muy mal drenados, donde los sedimentos fueron y son depositados (Ibañez *et al.*, 2010; Espinosa, 2008).

Los suelos de los sectores “El Madrigal” y “Cajanuma” comparten las mismas características, pertenecen al orden de los entisoles, del suborden Orthents, mismos que se han formado sobre superficies erosionadas recientemente y que no han evolucionado, pudiéndose encontrar por lo general en cualquier clima y bajo cualquier vegetación (Espinosa, 2008). Estos suelos son típicos de laderas donde la escorrentía no permite la evolución de los suelos en profundidad a causa de la erosión hídrica, por lo que se encuentran principalmente en zonas forestales (DAE, 2006).

4.3.5. Pendiente

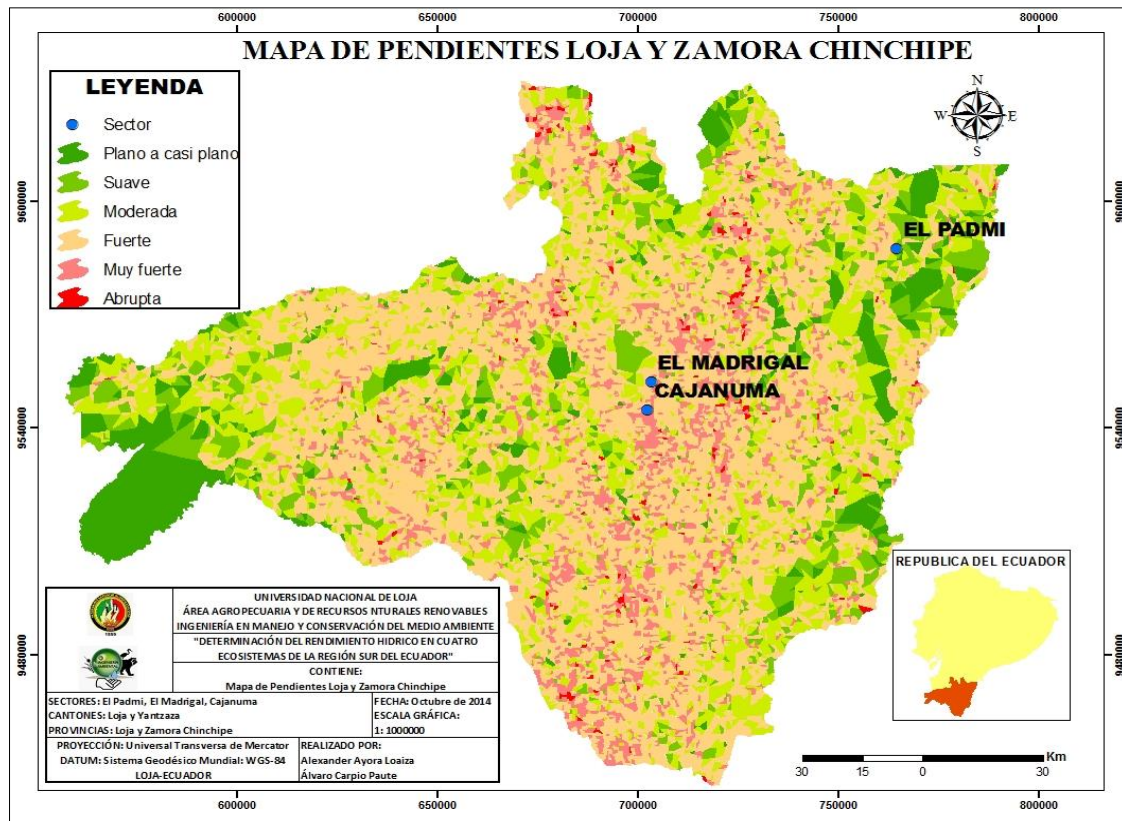


Figura 22. Mapa de pendientes de las provincias de Loja y Zamora Chinchipe.

Según la clasificación de pendientes adoptada por el programa MAG-PRONAREG-ORSTOM (1983), y como se muestra en la Figura 22, el sector el “Padmi”, pertenece a la clase de pendiente 2, con un rango comprendido entre 5-12 %, correspondiente a una pendiente suave. Por las características del terreno, a este sector se lo vincula con actividades agropecuarias, como son la agricultura y ganadería, sin embargo el sitio de estudio corresponde a un bosque natural y de acuerdo a la clase de aptitud del terreno, tienen un uso asociado a actividades de preservación de flora y fauna, protección de áreas de recarga acuífera, reserva genética y belleza escénica (MAGAP, 2011).

El sector “El Madrigal”, pertenece a la clase de pendiente 4, cuya gradiente del terreno es considerada en el rango porcentual entre 25-50 %, caracterizada por una pendiente fuerte. Este sector requiere de acuerdo a la clase de aptitud del terreno, prácticas de manejo y conservación más rigurosos, ya que presentan un desgaste acelerado del recurso suelo, puesto que, las pendientes empinadas, frecuentemente humedecidas por la lluvia y la neblina,

incrementan la inestabilidad del suelo superficial y, así, los deslizamientos naturales son frecuentes (Kiss y Bräuning, 2008).

El sector “Cajanuma”, pertenece a la clase de pendiente 5, cuya inclinación del terreno con respecto a la horizontal, es considerada en el rango porcentual entre 50-70 %, calificándola de Muy Fuerte. De acuerdo a la clase de aptitud del terreno, este sector se localiza en aquellas tierras que por sus condiciones climáticas, deberán ser dedicadas al desarrollo de la silvicultura o tener un doble propósito (protector-productor) con especies nativas y exóticas adaptadas a la zona de rápido crecimiento (MAGAP, 2011).

4.3.6. Cobertura vegetal

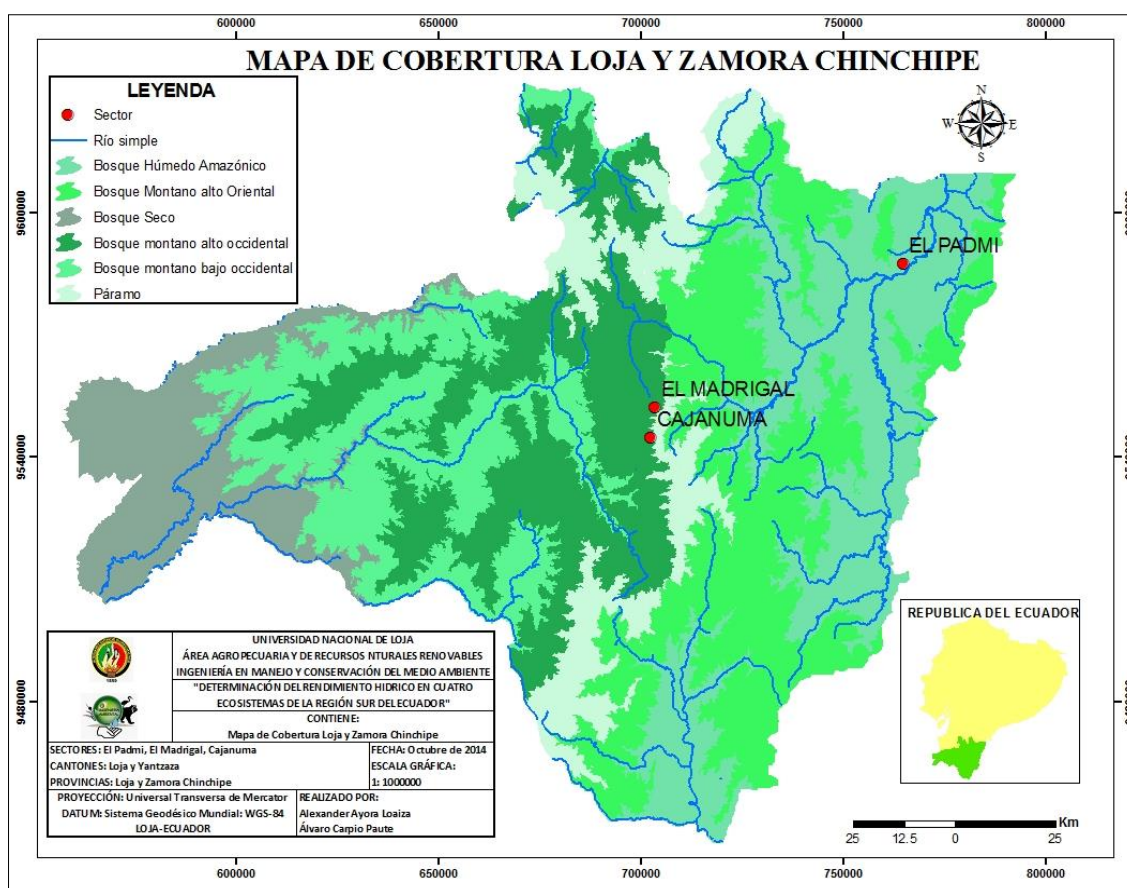


Figura 23. Mapa de cobertura vegetal de las provincias de Loja y Zamora Chinchipe.

En las zonas de estudio se consideran dos tipos de cobertura vegetal. Como se observa en la Figura 23, el sector el “Padmi” según la clasificación establecida por el MAE (2012 b), se encuentra caracterizado por una cobertura de Bosque Siempreverde Piemontano de las

cordilleras del Cóndor-Kutukú, este tipo de vegetación incluye los bosques sobre colinas, bosques sobre tierra plana bien drenadas y en tierras planas pobremente drenados. Los bosques amazónicos son altamente heterogéneos y diversos, con un dosel que alcanza los 30 m de altura y árboles emergentes que superan los 40 m o más de altura y son los llamados bosques de tierra firme que cubren la mayor parte de las tierras bajas amazónicas.

Mientras que los sectores “El Madrigal y Cajanuma” se definen por ser Bosque Montano Alto Occidental y se la conoce como vegetación de transición entre el bosque de neblina y el páramo (MAE, 2012 b). Según Suarez, (2008) lo denomina “Ceja Andina” debido a que presenta una gran cantidad de musgos y plantas epífitas (densidad, abundancia y riqueza), tal como lo demuestra Castro, (2014) a medida que asciende la gradiente altitudinal aumenta la abundancia y riqueza de especies epífitas.

5. DISCUSIÓN

ASPECTOS METODOLÓGICOS

Para entender la importancia hídrica dentro de un ecosistema, es necesario realizar estudios sobre las propiedades hidrofísicas de los suelos ya que según Buytaert *et al.*, (2005); Bievre *et al.*, (2006); Borja *et al.*, (2008) y Hofstede (1997) estas son las responsables de la regulación y el almacenamiento del agua en los suelos de ecosistemas naturales. Sin embargo es importante tomar en cuenta la posición fisiográfica puesto que esta afecta las condiciones hidrológicas de los suelos, actuando como almacenadores o transportadores de agua (FAO, 2009).

Respecto al proceso metodológico, fue necesario identificar el tipo de ecosistema natural y caracterizar las propiedades hidrofísicas del suelo, además de determinar la clase textural y el contenido de materia orgánica, para de esta manera lograr entender los efectos de la gradiente altitudinal en dichas propiedades, y comprender la relación de estas con la capacidad de almacenamiento y rendimiento hídrico de ecosistemas prioritarios de las provincias de Loja y Zamora Chinchipe, catalogados de esta manera por estar localizados geográficamente en áreas altamente expuestas, sensibles y vulnerables a potenciales impactos del cambio climático, así como áreas de mayor capacidad adaptativa en la Región (Aguirre *et al.*, 2015, en preparación).

Como lo afirman Cervera y Jiménez (2007) y Carua *et al.*, (2004), para estudios de este tipo la metodología difiere mucho a la zona de estudio y al objetivo que se pretenda llegar. Para la caracterización de estas propiedades, se utilizó la metodología establecida en el Manual de Edafología de Echeverría *et al.*, (2014), empleando el Método del Cilindro, el cuál es el más utilizado y el más simple de usar (Orellana, 2010; Hernández, 2007; Porta *et al.*, 1999; Guitián y Carballas, 1976), con algunas modificaciones que corresponde a referencias y sugerencias hechas por expertos, puesto que este trabajo corresponde a un estudio piloto, que tiene la finalidad de establecer lineamientos metodológicos para futuras investigaciones y generar información base que permita evidenciar a largo plazo una respuesta estratégica a los desafíos del cambio climático y disponer de espacios fijos para futuros estudios (Lozano *et al.*, 2003).

5.1. Caracterización de las propiedades hidrofísicas del suelo, en ecosistemas prioritarios de las provincias de Loja y Zamora Chinchipe.

La heterogeneidad de las propiedades del suelo afecta a la distribución del contenido de humedad mediante las variaciones en la textura, materia orgánica y estructura, propiedades que controlan el movimiento del flujo de agua.

De acuerdo a los resultados obtenidos, como se puede apreciar en la Figura 11, los valores de densidad aparente del suelo son superiores a medida que se incrementa la profundidad. Similares resultados describen autores como: Aguilera y Cevallos (1980); Arshad *et al.*, (1996); Sigcha (2003), quienes atribuyen este efecto, al movimiento descendente de las arcillas, lo que ocasiona una reducción en la densidad aparente de las primeras capas de suelo (horizonte superficial), rellenando los espacios porosos y por ende que haya un incremento de esta propiedad en horizontes inferiores. Otro factor que contribuye a una disminución de esta propiedad, es la actividad biológica cercana a la superficie, tal como lo afirma Alvarado y Forysthe (2005), por lo general esto ocurre en los primeros centímetros de suelo, debido al alto porcentaje de raíces, un mayor número de microfauna del suelo y una adición de residuos (hojarasca) superior al que ocurre en intervalos de mayor profundidad. Estudios como Daza *et al.*, (2014); Alvarado y Forysthe (2005); Salamanca y Sadeghian (2005), revelan además, que si existe un aumento en la densidad aparente del suelo, la compactación se incrementará y con ello afectará las condiciones de retención de humedad.

Wolf y Snyder (2003), aseguran que la densidad aparente del suelo, se encuentra relacionada con la materia orgánica y la textura del suelo, inclusive está asociada con las prácticas de manejo al que se sometan los suelos. Según Kooijman *et al.*, (2005), la variación en la textura del suelo y por ende de la densidad aparente derivadas del material parental, determinan la retención de agua. A medida que aumentan los contenidos de materia orgánica, mejora la retención de humedad del suelo y disminuyen los valores de resistencia a la penetración y densidad. La interacción de estas tres propiedades es la que mayor implicación tiene sobre las condiciones que determinan la disponibilidad de agua.

A nivel de ecosistemas, los valores de densidad aparente presentan una variabilidad bien marcada. Tal como se observa en la Figura 13, el sector “El Madrigal” presenta los valores mayores de densidad aparente. Aguilera y Cevallos (1980), señalan que

densidades bajas significan suelos con buena porosidad, estructura y grado de agregación, en contraste Legía *et al.*, (2004) afirma que densidades altas significan suelos con menor porosidad, mayor compactación y menor capacidad de infiltración y almacenamiento hídrico; por lo tanto esta disminución de los valores de densidad aparente, permiten que exista una mayor capacidad de almacenamiento de agua en el suelo, y en consecuencia mayor rendimiento hídrico por un tiempo prolongado, luego de haberse producido una lluvia.

En resumen, a medida que la densidad aparente del suelo aumenta, también hay un incremento en la compactación, limitando las condiciones de retención de humedad y a su vez el crecimiento de las raíces (Sigcha, 2003). Sin embargo esta propiedad se ve perturbada además, por las partículas sólidas y por el espacio poroso, el cual a su vez está determinado principalmente por la materia orgánica, pues al haber un incremento en la materia orgánica del suelo y el espacio poroso, la densidad aparente disminuye, y viceversa.

En cuanto a la lámina de agua a nivel de tres profundidades pese a no mostrar diferencias estadísticamente significativas, en la Figura 12, se puede apreciar que los valores de lámina de agua son mayores a medida que aumenta la profundidad. Este resultado es similar a lo reportado por Aguirre *et al.*, (2010), donde compara siete tipos de usos de suelo y el bosque natural presenta una mayor lámina de agua a medida que se incrementa la profundidad, mientras que la capa superficial presentó un menor valor de dicho parámetro. Esto se atribuye a que la cobertura de los bosques tienen gran capacidad de retención de lluvia vertical y horizontal, la cual se transmite al suelo por medio de sus troncos y manteniéndose en él porque la gran cantidad de cubierta vegetal evita la evaporación.

A nivel de ecosistemas, la cantidad de agua expresada en lámina de agua presenta un mayor valor a medida que aumenta la altitud, es así que en el sector “El Padmi”, la cantidad de lámina de agua es menor. Mientras que en los sectores “El Madrigal” y “Cajanuma” presentan valores más altos de lámina de agua (Véase Figura 14), debido a que estos, reciben regularmente entradas adicionales de agua por la intercepción de la niebla y de la lluvia transportada por el viento (Tobón *et al.*, 2008; Rollenbeck *et al.*, 2008; Tobón y Arroyave, 2007; González, 2000; Hamilton *et al.*, 1995b; Zadroga, 1981), características principales de los bosques alto-andinos, que confieren a los suelos una mayor capacidad de regulación

hídrica y sostenibilidad en la provisión de agua limpia, recargándose completamente de agua durante los períodos de lluvias, perdiendo poca agua durante los períodos secos.

En resumen cuando los suelos no tienen una buena capacidad de almacenamiento de agua expresado en lámina, y al existir un aporte superior de agua por ejemplo cuando las lluvias son intensas, esta capacidad puede ser superada y por lo tanto grandes cantidades de agua se pueden perder por escorrentía superficial o por percolación profunda (Pacheco y Ataroff, 2002; Lloret, 2000).

En lo referente a la textura, de acuerdo con algunos autores: Crave y Gascuel-Odoux (1997); Vachaud *et al.*, (1985); Henninger *et al.*, (1976); Reynolds (1970b), este es uno de los factores que mayor control ejerce sobre la humedad del suelo. Según Molfino y Califra (2011) e Ibañez (2006), los suelos con mayor porcentaje de limo y arcilla son los que mayor cantidad de agua retienen, aunque una gran parte de ella es retenida con mucha fuerza y no está disponible para las plantas, pero presentan una gran cantidad de agua disponible o agua útil. Como se puede apreciar en la Figura 14, los resultados son diferentes a lo expuesto por los autores antes mencionados, puesto que la cantidad de agua retenida es mayor en los sectores “El Madrigal” y “Cajanuma”, mismos que presentan suelos de clase textural franco. No obstante el sector “Padmi” ostenta suelos franco arcillosos, es decir una clase textural con una presencia mayor de cantidad de agua, expresada en términos de lámina. Esto podría corresponder a que los suelos francos, al momento de presentarse una precipitación y a través de la infiltración se va transmitiendo hacia abajo, inmediatamente una cantidad de agua equivalente a la que recibe (Ibañez, 2006), y como la colección de datos se la realizó en condiciones distintas; ya que por ejemplo en el sector “El Padmi” las muestras se tomaron en ausencia de precipitación, mientras que en el sitio “El Madrigal” y Cajanuma los datos fueron compilados con presencia de precipitaciones.

En resumen, la cantidad de agua retenida a capacidad de campo y punto de marchitez es siempre mayor para las texturas finas, en comparación con las gruesas (Chapin *et al.*, 2002). Cabe mencionar, por ejemplo que los suelos arenosos, retienen a capacidad de campo 130 litros por m³ de agua (13 % en volumen) de los cuales 100 litros son de agua disponible, los arcillosos retienen a capacidad de campo 400 litros por m³ de agua (40 % en volumen), de los cuales 220 litros son de agua disponible y finalmente los francos que a

capacidad de campo retienen 280 litros por m³ de agua (28 % en volumen), de los cuales 190 son de agua disponible (Ibañez, 2006).

En cuanto a la materia orgánica, por lo general esta propiedad tiene un efecto significativo sobre la capacidad de retención de agua en el suelo (Haynes y Naidu, 1998; De Jong, 1993). Así, por ejemplo, mientras más alto sea el contenido de materia orgánica en un suelo, con un sistema radicular denso y profundo, mayor será la capacidad de infiltración y almacenamiento del agua (Bonell, 1993, 2005; Bonell y Balek, 1993). Este enunciado corresponde con los resultados obtenidos en el presente estudio, tal como se aprecia en las Figuras 14 y 16, existe una relación entre la materia orgánica y lámina de agua, puesto que en el sector “Cajanuma”, los valores de materia orgánica y lámina de agua del suelo, representan los valores más altos. Es por ello que cabe resaltar el papel que juegan los bosques alto-andinos presentes en estos sectores (“El Madrigal y Cajanuma”), para mantener un aporte continuo de materia orgánica en los suelos, cuyo factor determina parcialmente su capacidad para almacenar y retener agua (Bonell, 2005; Fleishbein *et al.*, 2005; Goller, 2004; Bonell y Balek, 1993).

En resumen, los suelos del bosque alto-andino, con un alto contenido de materia orgánica, son en parte los responsables de su alta capacidad de almacenamiento de agua; esta capacidad es mayor cuanto más materia orgánica tengan. Por lo tanto al desaparecer la vegetación, esta materia orgánica desaparece rápidamente, debido a que se acelera su descomposición y a que no hay nueva adición de hojarasca. La desaparición del horizonte orgánico trae como una de sus principales consecuencias, la disminución de la capacidad de almacenamiento de agua en el suelo y de su capacidad de retención de la humedad, lo que afecta la disponibilidad de agua para las plantas y, por ende, la evapotranspiración y bajo rendimiento hídrico (Jaramillo, 2002).

5.2. Evaluación de la influencia de la vegetación en las propiedades hidrofísicas del suelo, en ecosistemas prioritarios de las provincias de Loja y Zamora Chinchipe.

En la actualidad ha sido reconocido el importante papel que cumplen las coberturas boscosas en la regulación de caudales en las cuencas hidrográficas (Zhang *et al.*, 1999). Como lo menciona Oyarzum, *et al.*, (2005) la cobertura vegetal es uno de los principales participantes junto con las propiedades de los suelos, precipitación, la topografía, etc., en la formación de escorrentía, tanto por su intervención directa en la dinámica del agua como por sus propias necesidades de consumos, adicional interviene en otros procesos como en la capacidad de almacenamiento hídrico de los suelos. De hecho la vegetación produce un aumento de la permeabilidad y la capacidad de infiltración de los suelos por la presencia de raíces y un aumento de la macro porosidad, estas propiedades están muy relacionadas con el tipo, estructura, y densidad de la cubierta vegetal.

Conforme se asciende en altitud, desde las zonas bajas de la Amazonia hasta la sierra del sur ecuatoriano, aproximadamente a los 1000 m.s.n.m., se evidencia un cambio en la vegetación, además el tamaño de los árboles se reduce, las hojas se hacen más pequeñas, y un vasto número de epifitas cubren las ramas (Kiss y Brauning, 2008). Dicho enunciado corresponde con los resultados obtenidos en el presente objetivo, pues como se puede observar en la Figura 17, a medida que aumenta la altitud se evidencia un aumento en la densidad de árboles.

En la zona húmeda de montaña, no solamente cambia la vegetación; esta zona se caracteriza por presentar mayor humedad, tal como se muestra en la Figura 14, donde los mayores valores de lámina de agua se dan en la parte más alta, debido al aporte de lluvia horizontal producido por efecto de la niebla (Kiss y Brauning, 2008). Este aspecto es bien conocido, el contacto entre la niebla y la vegetación hace que esta última atrape parte del agua (Frumau *et al.*, 2009; Villegas *et al.*, 2008); de tal manera que entre mayor densidad de niebla y mayor sea la densidad de árboles, mayor será el agua depositada.

Por lo tanto, se resume que la capacidad de almacenamiento hídrico dependerá a su vez de los tipos y características de cada cobertura forestal presentes y de las

transformaciones ocurridas en la cubierta vegetal (agricultura, urbanizaciones, incendios) que inclinan a un distinto enfoque en el estudio de la dinámica hídrica de los sistemas, teniendo en cuenta tanto la combinación de sus componentes como su comportamiento ante los distintos elementos de cambio ocurridos en la vegetación (Patiño *et al.*, 2007).

5.3. Factores ambientales asociados a las propiedades hidrofísicas en ecosistemas prioritarios de las Provincias de Loja y Zamora Chinchipe.

La precipitación en el sector “Padmi”, es mayor con respecto a los sectores “El Madrigal” y “Cajanuma”; debido a la influencia de la llanura amazónica, la cual recibe cantidades extremas de precipitación durante todo el año, a causa de la presencia de vientos alisos, por lo que sobrepasan los 2000 mm anuales. Hay que acotar que en nuestro país, las cadenas montañosas que se extiende de norte a sur, presenta comportamientos climáticos muy diferentes entre los flancos occidentales y orientales, debido a la influencia de la depresión biogeográfica Huancambamba, cuyo clima se encuentra definido por las corrientes frías de Humboldt y cálida de El Niño. La diferencia radica principalmente por la intensidad y distribución de las precipitaciones durante el año, tal como lo afirman Kiss y Bräuning (2008), ya que en ciertos lugares del flanco occidental llueve menos de 1000 mm anuales, originando condiciones áridas durante épocas de estiaje, sin embargo los suelos en estos ecosistemas, cumplen funciones de absorber, retener y suministrar agua.

El agua del suelo es un factor ecológico trascendental, por lo que resulta fundamental determinar los volúmenes que el suelo puede contener, así como la proporción de esta agua que se encuentra disponible para las plantas (Espinosa, 2008). Además la presencia de lluvia continua hace que el suelo permanezca húmedo durante casi todo el año, ayudando a controlar y mantener los flujos de agua durante los períodos secos, lo que los hace de una singular importancia hidrológica (Bruijnzeel *et al.*, 2006). Aunque el tiempo de un suelo para mantenerse húmedo, depende de las propiedades del mismo y de las aportaciones que éste tenga, la principal entrada de agua en estos ecosistemas es la lluvia neta, misma que dependerá de la duración, intensidad y que se produzca en un periodo determinado (González, 2000 y Gómez, 2002). Es por ello que los bosques de montaña andinos reciben normalmente entradas adicionales de agua por la interceptación de la niebla y de la lluvia transportada por el

viento. Mientras mayor tiempo de contacto de la niebla con la vegetación, mayor será el agua depositada, además, intervienen otros factores, como la velocidad del viento, que harán que varíe la cantidad de agua interceptada (Villegas *et al.*, 2008).

Respecto a la temperatura, se evidencia una variabilidad en este factor puesto que esta disminuye con la altitud. Esto se corrobora con el trabajo realizado por Kiss y Bräuning (2008), quienes manifiestan que la temperatura generalmente desciende a mayor altitud, dichos valores son representativos del típico clima tropical, característico en el Sur del Ecuador, en cuyo flanco oriental de la cordillera de los Andes, se registran temperaturas medias anuales de alrededor de 10 °C en las partes más altas, y de entre 15 y 21 °C en los valles de Loja, Vilcabamba y Zamora. Por lo tanto, se considera a la temperatura un factor importante en el alto rendimiento hídrico de los bosques de montaña, pues permite que exista una evapotranspiración baja debida a la permanencia de nubes y niebla y, por ende, una baja demanda de humedad desde la atmósfera (Frumau *et al.*, 2009).

En cuanto a la geología, los resultados develan igualmente que las formaciones litológicas de los tres sectores difieren, ya que en el sitio el “Padmi”, predomina las Areniscas, la cuales corresponden a formaciones sedimentarias antiguas que fueron sometidas a un metamorfismo regional, que transformó las rocas sedimentarias en Pizarras Esquistos, Cuarцитas, Mica Esquistos y Gneis (Valarezo *et al.*, 1998). En los sectores el “Madrigal” y “Cajanuma”, su litología típica predominante son la Cuarцитa, Esquistos Biotíticos. Como lo señala Bravo (2012), se encuentran formados principalmente por rocas metamórficas, pertenecientes a la formación Chiguinda, que afloran hacia el borde de las dos cordilleras que limitan la Hoya de Loja, caracterizado por un relieve alto cubierto de vegetación. Al interior del valle existen afloramientos de poca magnitud de estas rocas, representados por Cuarцитas y Esquistos de tipo cloríticos, arcillosos, micáceos y grafitosos.

Debido a las propiedades geológicas de las rocas, no todas las formaciones litológicas poseen la misma permeabilidad o facilidad de transportar agua. Por ejemplo la porosidad de las rocas sedimentarias, controla su permeabilidad y se relaciona con la textura y tamaño de los granos. No obstante, una roca puede ser porosa, pero relativamente impermeable porque los poros no son demasiado pequeños. En esta litología el volumen total

de agua almacenada es elevado, pero el volumen extraíble es escaso. Las granulometrías medias (arenas) y, particularmente, las gruesas (gravas) son lo suficientemente porosas y permeables para permitir que el agua fluya a través de ellas en cantidades importantes y de calidad deseable para su aprovechamiento, por lo cual se consideran de mayor interés hidrogeológico (ICGM, 2004).

En cuanto a los suelos, como se puede apreciar en la Figura 21, los sitios de estudio se encuentran conformados por dos grandes grupos: inceptisoles y entisoles; y varios sub grupos de suelo. Como lo afirma Proaño (2007), esta variable no siempre es igual, sus características cambian de un lugar a otro, lo que da lugar al apareamiento de varios tipos de suelo de formación joven que difieren en su uso.

Poulenard *et al.*, (2001) y Tobón *et al.*, (2009a), destacan la alta capacidad de almacenamiento de agua que tienen los suelos en estos ecosistemas, puesto que alcanzan valores de hasta el 80% del volumen de agua en capacidad de campo, lo cual, unido a la baja evapotranspiración de 300 a 450 mm anuales (Bruijnzeel y Proctor, 1995), generan un gran excedente de agua que alimenta los ríos que descienden hacia los valles (Luteyn, 1992; Hofstede, 1995; Medina y Mena, 2001; Harden, 2001; Podwojewski *et al.*, 2002).

Respecto a las pendientes, el sector “Padmi”, presenta una pendiente suave, el sector “El Madrigal”, una pendiente fuerte y el sector “Cajanuma” una pendiente muy fuerte. Estos resultados se corresponden con los valores obtenidos en campo, con pendientes que van desde suaves, fuertes y muy fuertes. La inclinación de la pendiente, sumado a la variabilidad espacial de las propiedades físicas e hidráulicas, puede controlar el movimiento de agua en el suelo. Por lo tanto la este factor juega un papel fundamental en el drenaje del agua, ya que la tasa de drenaje del suelo es mayor en sectores con una pendiente fuerte debido a que el flujo de agua en estos terrenos se ven influenciados por la conductividad hidráulica horizontal que comienza a operar por efecto de la gradiente (Hincapié y Tobón, 2012).

En el estudio publicado por Hincapié y Tobón (2012), demuestran que, a medida que se incrementa la pendiente del terreno, se disminuye la densidad aparente y se incrementa la porosidad y la conductividad hidráulica saturada. Lo contrario ocurre con estas propiedades

en suelos planos, donde la infiltración del agua lluvia actúa como un factor natural de compactación.

En cuanto a la cobertura vegetal, se estima que las tasas de migración disminuyen con la elevación, y como consecuencia la densidad de especies es mayor en zonas de transición y en altitudes extremas (Pineda, et al, 2007; Cuvi y Caranqui, 2010; Guzmán y Salinas, 2010; Koleff et al, 2008). La cubierta vegetal influye en el contenido de humedad del suelo (Lull y Reinhart, 1955; Reynolds, 1970b; Francis *et al.*, 1986), a través de los patrones de intercepción impuestos por la cubierta vegetal, influyendo además sobre los procesos de evaporación, de la extracción de agua necesaria para mantener su actividad fisiológica (transpiración); y de forma indirecta, en la modificación de las propiedades del suelo, como la estructura, en su capacidad de infiltración y almacenamiento de agua, cuyo efecto ha sido verificado por algunos autores (Arcos, 2010; Serrada, 2008), demostrando que la vegetación ayuda a que el agua lluvia se infiltre evitando la escorrentía superficial y de esta manera el almacenamiento de agua del suelo.

6. CONCLUSIONES

- La capacidad de almacenamiento hídrico, expresada en términos de lámina de agua se incrementa a medida que se asciende en altitud, debido a las bajas temperaturas que hacen que exista una baja evapotranspiración, además el contacto entre la niebla y el bosque hacen que se produzca un aporte de agua por la intercepción, adicional al de la lluvia y en consecuencia la cantidad de agua que ingresa al suelo es superior.
- El valor de la densidad aparente aumenta de forma considerable con la profundidad, lo que podría estar asociada al descenso en el contenido de materia orgánica, a los cambios texturales y a la compresión que producen los horizontes superiores, por lo tanto la variación de estas propiedades, determinan la retención de agua en un suelo.
- Los suelos que presentaron mayor cantidad de materia orgánica fueron “El Madrigal y Cajanuma”, sectores ubicados en la parte más alta de la gradiente altitudinal. Por lo general esta propiedad tiene un efecto significativo sobre la capacidad de retención de agua en el suelo, mientras más alto sea el contenido de materia orgánica en un suelo, con un sistema radicular denso y profundo, mayor será la capacidad de infiltración y almacenamiento del agua.
- La vegetación es uno de los factores ambientales más significativos que están asociados a las propiedades hidrofísicas del suelo, puesto que juega un papel muy importante en la regulación y retención de agua en el suelo. De hecho la vegetación produce un aumento de la permeabilidad y la capacidad de infiltración de los suelos por la presencia de raíces y un aumento de la macro porosidad, estas propiedades están muy relacionadas con el tipo, estructura, y densidad de la cubierta vegetal.

7. RECOMENDACIONES

- Durante el muestreo es importante establecer dos períodos de colecta de muestras en función de la estacionalidad de cada sitio, ampliando el diseño y el número de sitios de muestreo, de tal manera que cubra una mayor extensión de territorio, ya que las características del suelo difieren de un lugar a otro.
- En cuanto a la materia orgánica y textura, se recomienda hacer mediciones a nivel de tres profundidades, tal como se hizo en el muestreo de las propiedades hidrofísicas, con la finalidad de que los resultados puedan ser analizados conjuntamente, permitiendo de esta manera examinar a profundidad dichos resultados.
- Utilizar los resultados obtenidos en el presente estudio como punto de partida para futuros monitoreos e investigaciones a largo plazo, de la incidencia del cambio climático sobre la capacidad de almacenamiento de agua de los suelos, y con ello generar propuestas a escala local y regional.
- Replicar este tipo de estudios en ecosistemas prioritarios de la Zona 7, con el propósito de extender la gradiente ecosistémica dentro de la Región Sur del Ecuador, utilizando nuevos métodos con el fin de generar una metodología estándar para recabar información científica, que permita el diseño de estrategias direccionadas a la conservación y uso sustentable de los recursos hídricos.

8. BIBLIOGRAFÍA

Aguilera, C. y Cevallos, L. 1980. Relaciones agua-suelo-planta-atmósfera. México: Universidad Autónoma de Chapingo. 321 p.

Aguirre, D; Ordoñez, Y; Navia, J. 2010. Influencia de Diferentes Usos en Sistemas Productivos sobre la Dinámica y el Movimiento del Agua en Suelos del Antiplano de Pasto, Departamento de Nariño, Colombia.

Aguirre, N. 2004. Plan de manejo microcuenca San Simón. Universidad Nacional de Loja. Loja, Ecuador.

Aguirre, N; Eguiguren, P; Maita, J; Coronel, V; Samaniego, N; Ojeda, T y Aguirre, Z. 2015. Vulnerabilidad al Cambio Climático: Impactos potenciales en los ecosistemas, producción de biomasa y producción hídrica de la Zona de Planificación Siete / Región Sur del Ecuador (en proceso). Universidad Nacional de Loja, Ecuador. P. 127.

Aleaga, L. 2014. Patrones de Diversidad y Distribución de Plantas Leñosas en una Gradiente Altitudinal entre la Provincia de Loja y Zamora Chinchipe. Tesis Ing. Manejo y Conservación del Medio Ambiente. Carrera de Ingeniería en Manejo y Conservación del Medio Ambiente, Universidad Nacional de Loja. Ecuador. 135p

Alvarado, A y Forsythe, W. 2005. Variación de la Densidad Aparente e Órdenes de Suelos de Costa Rica. Disponible en: http://www.mag.go.cr/rev_agr/v29n01_085.pdf (Consultado febrero 10, 2015)

Alvizu, P. 2004. Complejidad y respuesta funcional de la vegetación de páramo a lo largo de gradientes altitudinales. Mérida – Venezuela.

Anderson, E; Marengo, J; Villalba, R; Halloy, S; Young, B; Cordero, C; Gast, F; Jaimes, A y Ruiz, D. 2009. Consequences of Climate Change for Ecosystems and Ecosystem Services in the Tropical Andes.

Apolo, W. 1984. Plan de Manejo Parque Nacional Podocarpus. Ministerio de Agricultura y Ganadería. Programa Nacional Forestal. Quito, Ec. p. 86.

Arroyave, F.P. 2007. Contribución de la precipitación horizontal al ciclo hidrológico de los páramos, con referencia inicial al páramo de Guerrero. Tesis MSc. Universidad Nacional de Colombia. Medellín. 112 p.

Arshad, M; Lowery, B. y Grossman, B. 1996. Physical test for monitoring soil quality. Pp. 123-142. En: J.W. Doran y A.J. Jones (Eds.) Methods for assessing soil quality. SSSA Spec. Publ. 49. Soil Science Society of America, Inc. Madison, Wisconsin, USA.

Artieda, O. 2008. Papel del Suelo en el Ciclo Hidrológico. Área de Edafología y Química Agrícola. Centro Universitario de Plasencia; Universidad de Extremadura, España. Disponible en: http://www.ehu.es/cdsea/web/revista/numero_2/forum_sost_2_19-31.pdf. Consultado (Consultado enero 21, 2015)

Avendaño, D. 2007. Biomasa y capacidad de almacenamiento de agua de las epífitas en el Páramo de Guerrero (Cundinamarca, Colombia). Tesis Ingeniería Forestal. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Medellín. 78 p.

Ayala, F. 2000. Impactos Del Cambio Climático Sobre Los Recursos Hídricos en España y Viabilidad del Plan Hidrológico Nacional 2000. Madrid, ES.

Balvanera, P. 2012. Los servicios ecosistémicos que ofrecen los bosques tropicales. Centro de Investigaciones en Ecosistemas, Universidad Nacional Autónoma de México. Disponible en: <http://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/viewFile/33/29> (Consultado enero 21, 2015).

Blackie, J. R. *et al.* 1981. Hydrological research in east Africa. En: East African Agricultural Forestry Journal. Vol. 48 Special Issue. 312 p.

Bonell, M. 1993. Progress in the understanding of runoff generation dynamics in forests. J. Hydrol. 150, 217–275.

Bonell, M. 1998. Possible impacts of climate variability and change on tropical forest hydrology. Clim. Change 39:2–3., 215–272.

Bonell, M. 2005. "Runoff generation in tropical forests". En: Bonell, M. y L.A. Bruijnzeel (Eds.), *Forest-Water-People in the Humid Tropics: Past Present and Future Hydrological Research for Integrated Land and Water Management*. Cambridge University Press. Cambridge.

Bonell, M. y J. Balek. 1993. "Recent scientific developments and research needs in hydrological processes of the humid tropics". Pp. 167-260 en: Bonell, M., M. Hufschmidt y J. Gladwell (Eds.). *Hydrology and Water Management in the Humid Tropics*. Cambridge University Press. Cambridge.

Bravo, D. 2012. Caracterización geológica-geotécnica de los movimientos de ladera de los sectores "El Plateado y San Cayetano Bajo, con aplicación de Tomografía Eléctrica y técnicas GPS Diferencial. Tesis Ing. Geología y Minas. Carrera de Ingeniería y Minas, Universidad Técnica Particular de Loja. Ecuador. 134 p.

Brooks, K; Folliott, P. y Gregersen, H. 1997. *Hydrology and the Management of Watersheds*, 2nd edition. Iowa State University Press. Ames.

Bruijnzeel L.A., R. Burkard, A. Carvajal, A. Frumau, L. Kohler, M. Mulligan y C. Tobón. 2006. Hydrological impacts of converting tropical montane cloud forest to pasture with initial reference to northern Costa Rica. Tech. Rep. DFID-FRP Project no. R7991, Department for International Development – Forest Research Programme, 2006.

Bruijnzeel L.A. 2004. Hydrological functions of tropical forests: not seeing the soil for the trees? *Agriculture Ecosystems & Environment* 104, 185-228.

Bruijnzeel, L. y Proctor, J. 1995. "Hydrology and Biogeochemistry of Tropical Montane Cloud Forests: What Do We Really Know?". Berlin, GE. pp. 38–78.

Bubb, P; May, I; Miles, L y Sayer, J. 2004. *Cloud Forest Agenda*. UNEP-WCMC. IUCN. UNESCO. 32 p.

Buytaert W., R Célleri, B De Bievre, R Hofstede, F Cisneros, G Wyseure, J Deckers. 2006. Human impact on the hydrology of the Andean paramos. *Earth Science Reviews* 79, 53-72.

Buytaert W., R Céleri, B De Bievre, R Hofstede, F Cisneros, G Wyseure, J Deckers. 2006. Human impact on the hydrology of the Andean paramos. *Earth Science Reviews* 79, 53-72.

Buytaert, W; De Bièvre, B; Wyseure, G; Deckers, J. 2004. The use of the linear reservoir concept to quantify the impact of land use changes on the hydrology of catchments in the Ecuadorian Andes. *Hydrology and Earth System Sciences* 8, 108–114.

Buytaert, W; Tovar, C y Bievre, B. 2011. Potenciales Impactos del Cambio Climático Sobre el Balance Hídrico de los Andes Tropicales.

Cerón, C.; Aguirre, Z.; Merino, B.; Reyes, C. 2003. Leñosas Frecuentes en la Estación Experimental “El Padmi” de la Universidad Nacional de Loja. *Loja-Ecuador* Pag. 40.

Comité Técnico Interagencial del Foro de Ministros de Medio Ambiente de América Latina y el Caribe. 2000. Conservación y aprovechamiento sustentable de los bosques tropicales húmedos de América Latina y el Caribe. Disponible en: <http://www.pnuma.org/forodeministros/12-barbados/bbdt03e-BosquesTropicalesHumedos.pdf>. (Consultado enero 21, 2015).

Crave, A. y Gascuel-Odoux, C, 1997. The influence of topography on time and space distribution of soil surface water content. *Hydrological Processes*, 11:203-210.

Cuesta, F., Bustamante, M., Becerra, M.; Postigo, J.; Peralvo, J. (Eds.) 2012. Panorama andino de cambio climático: Vulnerabilidad y adaptación en los Andes Tropicales. CONDESAN, SGCAN, Lima. Disponible en: www10.iadb.org/intal/intalcdi/PE/2013/12414.pdf. (Consultado abril 2, 2013).

Cuvi, M. y Caranqui, J. 2010. Estudio de la diversidad florística a diferente gradiente altitudinal en el Bosque Montano Alto Lluçud, cantón Chambo, provincia de Chimborazo. Tesis Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Recursos Naturales, Escuela de Ingeniería Forestal. Riobamba, Ecuador. 60 p.

Chapin, F; Mooney, H y Matson, P. 2002. *Principles Of Terrestrial Ecosystem Ecology*. Nueva York. Springer-Verlag. 436 P.

Daza, M; Hernández, F; Alba, F. 2014. Efecto del Uso del Suelo en la Capacidad de Almacenamiento Hídrico en el Páramo de Sumapaz – Colombia. Revista Facultad Nacional de Agronomía - Medellín, vol. 67. núm. 1. pp. 7189-7200.

De Jong, R. 1983. Soil water desorption curves estimated from limited data. Canadian Journal of Soil Science. 63, 697-703.

De Noni, G., M. Viennot y G. Trujillo. 1990. “Mesures de l'érosion dans les Andes del 'Equateur'”. Cahier ORSTOM, Serie Pedologie 25(1-2): 183-196.

Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (DAE). 2006. Servicio de conservación de recursos naturales. 2006. Traducción: Ortiz, C.A; Gutiérrez, M.C. “Claves para la taxonomía de suelos”. 10º edición.

Díaz, M; Navarrete, J y Suárez, T. 2005. “Páramos: hidrosistemas sensibles”. En: Revista de Ingeniería 22. Facultad de Ingeniería Universidad de los Andes, pp. 64-75.

Dixon, R. K., Solomon, A. M., Brown, S., Houghton, R. A., Trexler, M. C., Wisniewski, J. 1994. Carbon Pools and Flux of Global Forest Ecosystems. Science 263:185-190.

Espinosa, J. 2008. Distribución uso y manejo de los suelos de la región andina. Disponible en: <http://www.secsuelo.org/XICongreso/Plenaria/Presentacion/1.%20Dr%20Jose%20Espinosa.pdf> (Consultado enero 21, 2015).

Fleischbein K., W. Wilcke, R. Goller, J. Boy, C. Valarezo, W. Zech y K. Knoblich. 2005. “Rainfall interception in a lower montane forest in Ecuador: effects of canopy properties”. Hydrological Processes 19: 1355-1371.

Forsythe, W. 1975. Física de Suelos: Manual de Laboratorio. Editorial IICA. San José, CR. 212 pp.

Föster, P. 2001. “The potential negative impacts of global climate change on tropical montane cloud forests”. Earth-Science Reviews 55 (2001): 73-106.

Fragala F., Neira N. 2010. Estimación de la recarga media anual en los acuíferos de la sabana de Bogotá: Recharge Estimation in Aquifers of the Bogota Savannah. Estimativa de reabastecimiento medio anual en los acuíferos de la sabana de Bogotá (Colombia), 15 (1): 145-169.

Francis, C.F., Thornes, J.B., Romero Díaz, A., López Bermúdez, F., y Fisher, G.C., 1986. Topographic control of soil moisture, vegetation cover and land degradation in a moisture stressed Mediterranean environment. *Catena*, 13:211-225.

Frumau, A; Schmid, S; Burka, R; Bruijnzeel, S; Tobon, C. y Calvo, J. 2009. "Fog gauge performance as a function of wind speed in northern Costa Rica". En: Bruijnzeel LA, Juvik J, Scatena FN, Hamilton LS, Bubb P., editors. *Forests in the mist: science for conservation and management of tropical montane cloud forests*. Honolulu, Hawaii: University of Hawaii Press; in review.

Frumau, K; Bruijnzeel, L. y Tobon, C. 2006. Hydrological measurement protocol for montane cloud forest. Annex 2, Final Technical Report DFID-FRP Project R7991. Vrije Universiteit, Amsterdam, 105 pp.

García, E. 2011. Evaluación del impacto del uso ganadero sobre suelo y vegetación en el Sistema Agroforestal Quesungual (SAQ) en el sur de Lempira, Honduras. Tuarrialba, Costa Rica. 120 p. Disponible en: <http://orton.catie.ac.cr/reprodoc/A8939e/A8939e.pdf> (Consultado mayo 15, 2013).

García, M., Escobar, Y., Escobar, H. 2007. La gestión integrada de los recursos hídricos como estrategia de adaptación al cambio climático. *Revista ingeniería y competitividad*. Vol. 9. N 1. P 19-29.

Giraldo, L. 2002. *Hidrología forestal*. Universidad Nacional de Colombia. Medellín. Disponible en: <http://www.bdigital.unal.edu.co/8225/1/10214128.2002.pdf> (Consultado julio 19, 2014)

Goller, R. 2004. Biogeochemical Consequences of Hydrologic Conditions in a Tropical Montane Rain Forest in Ecuador. Thesis dissertation, Universität Bayreuth. Alemania, 2004. 103 p.

Gómez, A. 2000. Variabilidad Espacio-Temporal del Contenido de Humedad del Suelo en una Zona Mediterránea Semiárida. Efectos de las Condiciones Antecedentes en la Respuesta Hidrológica. Disponible en: <http://oa.upm.es/709/1/07200004.pdf> (Consultado febrero 23, 2015).

González, J. 2000. "Monitoring cloud interception in a tropical montane cloud forest of the South western Colombian Andes". *Advances in Environmental Monitoring and Modelling* 1 (1): 97-117.

Guartán, J. 2010. Zonificación sísmica de la Cuenca de Loja (Ecuador), a partir de datos litológicos y medidas de ruido ambiental. Universidad de Granada. ES. 58 pp. Disponible en: <http://repositorio.educacionsuperior.gob.ec/bitstream/28000/822/1/T-SENESCYT-0365.pdf> (Consultado enero 21, 2015).

Guitián, F. y Carballas, T. 1976. Técnicas de análisis de suelos. Editorial Pico Sacro. Santiago de Compostela. 288 pp.

Guzmán, P. y Salinas, L. 2010. Patrones de diversidad florística en función de la gradiente altitudinal de los páramos del Parque Nacional Podocarpus.

Hamilton, L. y King, P. 1983. Tropical Forested Watersheds. Hydrologic and Soils Response to Major Uses or Conversions. Westview Press, Boulder, CO, p. 168.

Hamilton, L; Juvik, J. y. Scatena, F. 1995b. "The Puerto Rico tropical cloud forest symposium: introduction and workshop synthesis". En: Hamilton, L.S., Juvik, J.O., Scatena, F.N. Eds., *Tropical Montane Cloud Forests: Proceedings of an International Symposium*. Springer-Verlag, New York, pp. 1–23.

Harden, C. P. 2001. "Soil Erosion and Sustainable Mountain Development, Experiments, Observations, and Recommendations from the Ecuadorian Andes". *Mountain Research and Development* 21 (1): 77–83 pp.

Haynes, R y Naidu, R. 1998. Influence of lime, fertilizer and manure applications on soil organic matter content and soil physical conditions: a review. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 51, 123-137.

Henninger, D; Peterson, G. y Engman, E. 1976. Surface soil moisture within a watershed; variations, factors influencing and relationships to surface runoff. *50/7 Science Society of America Journal*, 40: 773-776.

Herbario Loja. 2001. Evaluación Bioregional y Ecológica de los Páramos de Amaluza en el área de influencia del Proyecto Páramo, una propuesta para el Corredor Biológico Sabanilla, Provincia de Loja-Ecuador. Loja, Ecuador. 78 pp.

Hernández, J. 2007. Métodos para el Análisis Físico de los Suelos. Habana, CU. 40 pp. Disponible en: http://ediciones.inca.edu.cu/files/folletos/metodos_analisis.pdf (Consultado mayo 15, 2013).

Hincapié, E. y Tobón, C. 2012. Dinámica del Agua en Andisoles Bajo Condiciones de Ladera. *Revista de la Facultad Agronómica de Medellín, Universidad Nacional de Colombia*. Disponible en: <http://www.bdigital.unal.edu.co/36009/1/36490-154166-1-PB.pdf>. (Consultado febrero 10, 2015)

Hofstede, R. 1995. "The effects of grazing and burning on soil and plant nutrient concentrations in Colombian páramo grasslands". *Plant Soil* 173:111–32 pp.

IAVH (Instituto Alexander Von Humboldt). 1997. Caracterización ecológica de cuatro remanentes de Bosque seco Tropical de la región Caribe colombiana. Grupo de Exploraciones Ecológicas Rápidas, IAVH, Villa de Leyva. pág. 76.

Ibañez, J. 2006. El Agua en el Suelo 4: Textura del Suelo y Propiedades Hídricas. Disponible en: <http://www.madrimasd.org/blogs/universo/2006/07/05/33887>. (Consultado febrero 15, 2015).

Ibáñez, S; Gisbert, J. y Moreno, H. 2010. Inceptisoles. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y del Medio Natural. Universidad Politecnica de Valencia. Disponible en: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/12884/inceptisoles.pdf?sequence=3> (Consultado enero 21, 2015).

Ilstedt, U; Malmer, A; Verbeeten, E. y Murdiyarso, D. 2007. “The effect of afforestation on water infiltration in the tropics: A systematic review and meta-analysis”. *Forest Ecology and Management*, 251(1-2): 45-51.

Instituto Colombiano de Geología y Minería INGEOMINAS. 2004. Programa De Exploración De Aguas Subterráneas. Bogotá, CO. Disponible en: <http://www2.sgc.gov.co/getattachment/92fd1dc3-e4a6-4450-96b5-b19abf276144/Programa-exploracion-aguas-subterranas.aspx>. (Consultado enero 22, 2015)

Instituto Ecuatoriano de Minería (INEMIN). 1987. Informe de prefactibilidad Geológico-metalogénico de la zona Sur del yacimiento aurífero de Nambija. Proyecto Sur Oriente Ecuador. Disponible en: <http://es.scribd.com/doc/7271438/GEOLOGIA#scribd>. (Consultado enero 21, 2015).

Jaramillo, A. y Cháves, C. 1999 Aspectos Hidrológicos En Un Bosque Y En Plantaciones De Café (*Coffea Arabica* L.) Al Sol Y Bajo Sombra. 97-105 pp. Disponible en: [http://www.cenicafe.org/es/publications/arc050\(02\)097-105.pdf](http://www.cenicafe.org/es/publications/arc050(02)097-105.pdf) (Consultado enero 21, 2015).

Jaramillo, D. 2002. Introducción a la Ciencia del Suelo. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias. Medellín, Colombia. 613 pp.

Jaramillo, O. 2002. Protocolo para el Desarrollo de actividades de revegetalización con fines de restauración en la Reserva Forestal de Pantano Redondo y Nacimiento del Río Susaguá, 64 p.

Kauffman, J. B., Hughes, R. F., Heider, C. 2009. Carbon pool and biomass dynamics associated with deforestation, land use, and agricultural abandonment in the neotropics. *Ecological Applications* 19:1211-1222.

Kiss, K. y A. Bräuning. 2008. El bosque húmedo de montaña. Investigaciones sobre la diversidad de un ecosistema de montaña en el Sur del Ecuador. Proyecto de la Fundación Alemana para la Investigación Científica. Unidad de investigación FOR 402. DFG, TMF y Naturaleza y Cultura Internacional. Loja - Ecuador. 64p. Disponible en: http://www.naturalezaycultura.org/docs/bosque_humedo (Consultado enero 21, 2015).

Koleff, P; Soberón, J *et al.* 2008. Patrones de diversidad espacial en grupos selectos de especies, en *Capital natural de México*, vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad. Conabio, México. 323-364 pp. Disponible en: http://www.biodiversidad.gob.mx/v_ingles/country/pdf/CapNatMex/Vol%20I/I12_Patrone_sdiv.pdf (Consultado 27 febrero, 2014).

Kooijman, A; Jongejans, J y Sevink, J. 2005. Parent material effects on Mediterranean woodland ecosystems in NE Spain. *Catena* 59: 55-68.

Lawton, R; Nair, U; Pielke, R y Welch, R. 2001. "Climatic impact of tropical lowland deforestation on nearby montane cloud forests". *Science* 294: 584-587.

Leguía, H; Pietrarelli, L; Luque, S; Sánchez, J; Alessandria, E; Arbornó, M. y Zamar, J. 2004. El Bosque Nativo Como Referente del Deterioro de los Suelos Agrícolas. Disponible en: http://www.agriculturesnetwork.org/magazines/latin-america/4-rehabilitacion-de-tierras-degradadas/el-bosque-nativo-como-referente-del-deterioro-de/at_download/article_pdf (Consultado febrero 10, 2015).

LIMA W., de P. 1986. Hidrología florestal, para manejo de bacías hidrográficas. Cap. XI: Floresta equalidad da agua. Universidad Sao Paulo.

Llerena, C. 2003. «Servicios ambientales de las cuencas y producción de agua, conceptos, valoración, experiencias y sus posibilidades de aplicación en el Perú». Foro regional sobre sistemas de pago por servicios ambientales (PSA), Arequipa (9-12 junio 2003).

Lloret, P. 2000. Problemática de los Recursos Hídricos en el Ecuador. Foro de los Recursos Hídricos. CAMAREN. Quito.

Lozano, P., T Delgado y Z Aguirre. 2003. Estado actual de la flora endémica exclusiva y su distribución en el Occidente del Parque Nacional Podocarpus.

Lozano, P; Bussmann, R y Küppers, M. 2007. Diversidad florística del bosque montano en el occidente del Parque Nacional Podocarpus, sur del Ecuador y su influencia en la flora pionera en deslizamientos naturales. Loja, Ecu. Disponible en: [file:///F:/MisDoc/Downloads/Appx.%203.%20UDO.pdf%C3%94%C3%AA%C3%9C%20\(1\).pdf](file:///F:/MisDoc/Downloads/Appx.%203.%20UDO.pdf%C3%94%C3%AA%C3%9C%20(1).pdf) (Consultado Agosto 4, 2014.)

Luján, D; Donald, G y Soto G. 2003. Evaluación de Parámetros y Procesos Hidrológicos en el Suelo. Hidrología de Suelos. La Serena, Chile. Disponible en: <http://unesdoc.unesco.org/images/0013/001384/138406s.pdf> (Consultado Agosto 12, 2014).

Lull, H y Reinhart, K. 1955. Soil moisture measurement. U.S.D.A. Southern For.Exp. Sta., NewOrleans, LA., Occas. Paper N° 140.

Luteyn, J. 1992. “Páramos: why study them?” En: Balslev, H. y J.L. Luteyn (Eds.). Páramo: an Andean ecosystem under human influence. Academic Press. Londres.

MAG-PRONAREG-ORSTOM, 1984. Cartas de suelos y Aptitud Agrícola, Esc: 1:250.000. Quito, Ec.

Marín, G. 2010. Determinación de los Requerimientos Hídricos del Cilantro (*Coriandrum Sativum*), Variedad Unapal Preocosa y su Relación con el Desarrollo del Cultivo, la Producción y la Calidad, Comparando un Período Seco y Húmedo del Cultivo en el Año. Tesis Magíster en Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Colombia. 188 p.

Martínez, R; Boueri, M. y Escalona, P. 2005. “Correlación entre la evaporación en tina y la evaporación calculada en cinco estaciones climatológicas”. *Bioagro*, vol.17, no.2, p.79-83.

Medina, G y Mena, P. 2001. Tipos de Suelo en los Páramos del Ecuador. Particularidades, Problemas y Perspectivas. AbyaYala/Proyecto Páramo. Quito, Ecuador.

Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (MAGAP). 2011. Programa Sistema Nacional de Información y Gestión de Tierras Rurales e Infraestructura Tecnológica (SIGTIERRAS), Anexo 01 “Memorias Técnicas”. Disponible en: http://www.santacruz.gob.ec/gadsantacruz2/gmscdocs/2012/sectecnica/ANEXO_01_MEMORIAS_TECNICAS.pdf (Consultado enero 22, 2015).

Ministerio del Ambiente, 2009. Estudio de vulnerabilidad actual a los riesgos climáticos en el sector de los recursos hídricos en las cuencas de los Ríos Paute, Jubones, Catamayo, Chone, Portoviejo y Babahoyo. Ecuador. 166 p. disponible en: <http://www.pacc-ecuador.org/dmdocuments/CAMBIO%20CLIMATICO%20Final.pdf> (Consultado abril 2, 2013).

Ministerio del Ambiente. 2012 b. Sistemas de clasificación de los ecosistemas del Ecuador continental. 143 p.

Mivazawa, M; Pavan, M; Oliveira, E; Ionashiro, M. y Silva, A. 2000. Gravimetric determination of soil organic matter. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 43(5), 475-478. Retrieved May 20, 2013, from http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S151689132000000500005&lng=en&tlng=en. 10.1590/S1516-89132000000500005.

Morales, L. 2008. Evaluación de las propiedades físicas e hidráulicas del suelo bajo influencia de tres coberturas vegetales en Porcé II, Antioquia, Colombia. Tesis, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. 36 p.

Moreno, H. Flavio. 1987. Comparación de algunas propiedades de suelos volcánicos bajo bosques naturales, potreros y plantaciones forestales. Tesis Ingeniería Forestal Universidad Nacional de Colombia. Medellín. 186 p.

Murphy, P y Lugo, A. 1986. "Ecology of tropical dry forest". *Annals Review of Ecology and Systematics* 17: 67-68.

Naranjo E. y Ramírez T., 2009. Composición Florística, Estructura y Estado de Conservación del Bosque Nativo de la Quinta El Padmi, Provincia de Zamora Chinchipe. Tesis previa a la obtención del título de Ingeniero Forestal. Universidad Nacional de Loja, Loja Ecuador. 235 p

Odum, H.T., Abbott, W., Selander, R.K., Golley, F.B., Wilson, R.F., 1970. "Estimates of chlorophyll and biomass of the Tabonuco forest of Puerto Rico". En: Odum, H.T., Pigeon, R.F. (Eds.), *A Tropical Rain Forest*. United States Atomic Energy Commission, Washington, DC, USA.

Osorio, A. y Bahamon, C. 2008. Dinámica de la humedad del suelo en bosques alto andinos en el páramo de guerrero, Cundinamarca-Colombia. Tesis, Universidad Nacional de Colombia sede Medellín. 63 p.

Pacheco, E. y Ataroff, M. 2002. "Relación precipitación-percolación en una selva nublada andina venezolana". *Selvas y bosques nublados andinos*, 4-62.

Pastor, J. and Post, W. M. 1988. Response of northern forests to CO₂-induced climate change. *Nature* 334: 55-58.

Patiño, J; León, Peláez, J; Montes, L y Hernández, L. 2007. Nota Técnica: Propuesta Metodológica para Comparar el Efecto de Diferentes Coberturas Vegetales en la Regulación de Caudales en Cuencas Hidrográficas. Aplicación en la Microcuenca de la

Quebrada la Murciélago, Antioquia. Departamento de Ciencias Forestales. Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín

Peña, J y Sanmatìn, S. 2011. Efecto de la variación natural del suelo en la producción de hojarasca en los bosques de Bombuscaro, Reserva San Francisco y Cajanuma. Tesis Ing. Agrónomo. Carrera de Ingeniería Agronómica, Universidad Nacional de Loja. Ecuador. 71 pp.

Pilatasig, L; Gordon, D; Palacio, O y Sánchez, J. 2005. Proyecto Multinacional Andino: Geociencias Para Las Comunidades Andinas Ecuador Perú-Canadá: Geología de Ecuador y Perú entre 3° S y 6° S. 78 pp. Disponible en: http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PDOT/ZONA7/NIVEL_DEL_PDOT_CANTONAL/EL_ORO/SANTA_ROSA/IEE/1.%20Documentos/Pdf/2.%20Geopedolog%C3%ADa/2.1.%20Geomorfolog%C3%ADa/Mapa%20binacional/MEMORIA%20RESUMIDA_BINACIONALAGOSTO.pdf (Consultado enero 21, 2015).

Pineda, M.; Sánchez, L; Noa, J; Flores, N., Díaz, F; Iglesias, L; Ortiz, G; Vázquez, G. y Vásquez, G. 2007. Adaptación de la biodiversidad y cambio climático. Instituto de Biotecnología y Ecología Aplicada de la Universidad Veracruzana.

Podwojewski, P., Poulenard, J., Zambrana, T., Hofstede, R., 2002. “Overgrazing effects on vegetation cover and properties of volcanic ash soil in the páramo of Llangahua and La Esperanza (Tungurahua, Ecuador)”. *Soil Use and Management* 18, 45–55 pp.

Porta, J; López Acevedo, M. y Roquero, C. 1999. EDAFOLOGIA. Para la Agricultura y el Medio Ambiente. 2ª Edición. Mundi-Prensa

Poulenard J., P. Podwojewski, J.L. Jeanneau y J. Collinet. 2001. “Runoff and soil erosion under rainfall simulation of Andisols from the Ecuadorian paramo: effects of tillage and burning”. *Catena* 45: 185–207 pp.

Poulenard, J; Podwojewski, P y Herbillon, A. 2003. “Characteristics of nonallophanic Andisols with hydric properties from the Ecuadorian páramos”. *Geoderma* 117: 267–281 pp.

Prieto, B; Sierra, J; Tamara, R. 2006. Determinación de las propiedades hidráulicas de los suelos in Situ con infiltrómetros de tensión de disco. Facultad de Ciencias Agrícolas Programa de Ingeniería Agronómica, Área Manejo de Suelos y Agua. Córdoba, Argentina.

Proaño, G. 2007. Geología –geomorfología. Informe geológico de la cuenca del río Tatalá. Guayaquil – Ecuador. Disponible en: https://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0CBwQFjAA&url=https%3A%2F%2Fwww.dspace.espol.edu.ec%2Fbitstream%2F123456789%2F5888%2F1%2FINFORME_GEOLOGICO_GEOMORFOLOGICO.doc&ei=XBzAVJmnMIXiggSisICoBA&v6u=https%3A%2F%2Fs-v6exp1-ds.metric.gstatic.com%2Fgen_204%3Fip%3D192.188.49.102%26ts%3D1421876317581447%26auth%3Dlpczdr5jrh63lihglns3f5e6p45dwxix%26rndm%3D0.6733459499664605&v6s=2&v6t=4458&usg=AFQjCNGk1Zz9g2huTDDH5xxFrazYf4JLNA&sig2=hion6pZdlmJ26dJH29VWVQ&bvm=bv.84116906,d.eXY (Consultado enero 21, 2015).

Ramírez, T.; Naranjo, E. 2009. Composición Florística, Estructura y Estado de Conservación del Bosque Nativo de la Quinta El Padmi, Provincia De Zamora Chinchipe. Tesis Ing. Forestal. Carrera de Ingeniería Forestal, Universidad Nacional de Loja. Ecuador. 248pp.

Reynolds, S. 1970b. The gravimetric method of soil moisture determination, I. A study of equipment, and methodological problems. *Journal of Hydrology*, 11: 258-273.

Rollenbeck, R., J. Bendix y P. Fabian. 2008. “Spatial and temporal dynamics of atmospheric water- and nutrient inputs in tropical mountain forests of Southern Ecuador”. Second international symposium mountains in the mist: science for conserving and managing tropical montane cloud forest. Hawaii Preparatory Academy (HPA).

Sabaté. 2002. Los bosques y la evapotranspiración. 12 pp. Disponible: http://aca-web.gencat.cat/aca/documents/es/publicacions/impactes_hidrologics/capitol9_lowress.pdf (Consultado Abril 15, 2014).

Salamanca, A.y Sadeghian, S. 2005. La Densidad Aparente y su Relación con Otras Propiedades en Suelos de la Zona Cafetera Colombiana. *Cenicafé* 56 (4): 381-397.

Salazar, J; Lüters, A; Aleksa, A; Moscatelli, G; Muro, E *et al.*, 2000. Libro de Campaña para Descripción y Muestreo de Suelos. Instituto de Suelos Centro de Recursos Naturales Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Argentina. Tomado de: Soil Survey Staff. (SSS) 1993. Soil Suvery Manual, USDA- Soil Conservation Service, Agricultural Handbook N° 18, U.S. Gov. Print Office, Washington, D.C. 503 pp.

Sanabria, V. 2001. Los bosques tropicales nublados de montaña en la quebrada Torohuaca, San Ignacio, Cajamarca y su influencia en la precipitación local, Tesis Ing. Forestal. UNALM.

Sánchez, A; Salgado, S; López, D y Camacho, W. 2012. Analysis of soil organic matter in tropical soils with near-infrared spectroscopy (NIRS) and chemometrics. *Cienc. Inv. Agr.* vol.39, n.2. pp. 387-394. Disponible en: <http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-16202012000200015&lng=es&nrm=iso>. ISSN 0718-1620. doi: 10.4067/S0718-16202012000200015 (Consultado Abril 15, 2014).

Sigcha, F. 2003. Estudio del Comportamiento Agronómico de Mora y Granadilla en Asocio con Alfalfa al Segundo Año de Instalación. Guayllabamba-Pichincha. Tesis Ing Agrónomo. Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad Central del Ecuador. Quito-Ecuador. 99 p.

Stephenson, N. L. 1990. Climatic controls on vegetation distribution: the role of the water balance. *American Naturalist* 135: 649–670.

Suárez, D. 2008. Formación de un Corredor de Hábitat de un Bosque Montano Alto en un Mosaico de Páramo en el Norte del Ecuador. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima – Perú. En línea. Disponible en: <http://www.scielo.org.pe/pdf/ecol/v7n1-2/a02v7n1-2.pdf> (Consultado enero 22, 2015).

Tobón, C. 1999. Monitoring and modelling hydrological fluxes in support of nutrient cycling studies in Amazonian rain forest ecosystems. Tropenbos series 17, Wageningen, the Netherlands. 169 pp.

Tobón, C. 2008. Los bosques andinos y el agua. Publicación de ECOBONA. pp 68.

Tobón, C., Bruijnzeel, L.A., y Frumau, A. 2009a. “Physical and hydraulic properties of Tropical Montane Cloud Forest soils and their changes after conversion to pasture”. Proceedings of the Second International Symposium: Science for Conserving and Managing Tropical Montane Cloud Forests, Waimea, Hawaii, July 27 – August 1, 2004.

Tobón, C., L. Köhler; S. Bruijnzeel; A. Frumau; y S. Schmid. 2009b. “Water dynamics of epiphytic vegetation in a lower montane cloud forest: Fog interception, storage and its evaporation”. Proceedings of the Second International Symposium: Science for Conserving and Managing Tropical Montane Cloud Forests, Waimea, Hawaii, July 27 – August 1, 2004.

Tobón, C., y Arroyave, F. 2007. “Inputs by fog and horizontal precipitation to the páramo ecosystems and their contribution to the water balance”. Fourth International Conference on Fog Collection and Dew. La Serena, Chile, 2007. Proceedings, pp. 233-236.

Tobón, C., y Arroyave, F. 2008. “Hidrología de los bosques alto-andinos”. En: Ecología de Bosques Andinos, Universidad Nacional de Colombia. J.D. León Ed. 213 p.

Tobón, C; Gil, G. y Villegas, C. 2008. “Aportes de la niebla al balance hídrico de los bosques alto-andinos”. En: Ecología de Bosques Andinos, Universidad Nacional de Colombia. J.D. León Ed. 213 p.

Torres, Y. y Patiño, E. 1997. “Composición florística y estructura de bosques secos, zona norte cuenca del río Patía, departamento de Cauca”. Memorias Primer congreso de biología de la conservación. Cali - Colombia, Julio 9-12, Universidad del Valle.

UNESCO, 2005. Evaluación de Parámetros y Procesos Hidrológicos en el Suelo. La Serena, Chile.

Vachaud, G; Passerat de Silans, P; Balabanis, P. y Vauclin, M, 1985. Temporal stability of spatially measured soil water probability density function. *Soil Science Society of American Journal*, 49: 822-828.

Valarezo, B. y Wilcke, C. 2008. Water flow paths in soil control element exports in an Andean tropical montane forest. *European Journal of Soil Science*, 2008, 1209–1227.

Valarezo, C; Iñiguez, M; Valarezo, S; Guaya, P. 1998. Condiciones físicas de los suelos de la región sur del Ecuador. Universidad Nacional de Loja. Loja, Ecuador. 227 p

Valverde, J. 1998. Riego y drenaje. Universidad Nacional a Distancia. San José, Costa Rica. 230 p.

Villegas J, 2004. Análisis del conocimiento en relación agua-suelo-vegetación para el departamento de Antioquia. *Revista EIA. (Colombia)*.73-79 pp.

Villegas, J; Tobón, C. y Breshears, D. 2008. “Fog Interception by non-vascular epiphytes in the tropical cloud forests: dependencies on gauge type and meteorological conditions”. *Hydrological Processes*, 22, 2484-2492.

Villón, M. 2007. Drenaje. Editorial Tecnológica de Costa Rica. Costa Rica. 524 p.

Wolf, B; Snyder, G. 2003. Sustainable soils; the place of organic matter in sustainable soils and their productivity. New York, Food Products Press. 352 p.

Zadroga, F. 1981. “The hydrological importance of a montane cloud forest area of Costa Rica”. En: Lal, R. y E.W. Russell (eds.). *Hydrology and Tropical Agriculture*. Wiley. New York.

Zhang, L., Dawes, W. R. y Walker, G.R., 1999. Predicting the effect of vegetation changes on catchment average water balance. CRC for Catchment Hydrology. Technical Report 99/12, Canberra. Disponible en: <http://www.catchment.crc.org.au/pdfs/technical199912.pdf> (Consultado Enero 22, 2015).

9. ANEXOS

Anexo 1. Base de datos de las propiedades hidrofísicas del suelo en ecosistemas prioritarios de la Región Sur del Ecuador.

| Sitio | Parcela | Subparcela | Profundidad | Densidad Aparente | Lámina De Agua | Materia Orgánica | Arena | Limo | Arcilla | |
|-------|---------|------------|-------------|-------------------|----------------|------------------|-------|------|---------|------|
| PADMI | 1 | 1 | 1 | 25 | 1,41 | 2,80 | 2,6 | 46,8 | 31,6 | 21,6 |
| PADMI | 1 | 1 | 1 | 45 | 1,42 | 6,41 | 2,6 | 46,8 | 31,6 | 21,6 |
| PADMI | 1 | 1 | 1 | 65 | 1,31 | 6,20 | 2,6 | 46,8 | 31,6 | 21,6 |
| PADMI | 1 | 1 | 2 | 25 | 1,14 | 5,08 | 2,7 | 52,4 | 28,4 | 19,2 |
| PADMI | 1 | 1 | 2 | 45 | 1,35 | 3,89 | 2,7 | 52,4 | 28,4 | 19,2 |
| PADMI | 1 | 1 | 2 | 65 | 1,34 | 8,33 | 2,7 | 52,4 | 28,4 | 19,2 |
| PADMI | 1 | 1 | 3 | 25 | 1,18 | 5,28 | 3,7 | 40,4 | 22,4 | 37,2 |
| PADMI | 1 | 1 | 3 | 45 | 1,22 | 4,71 | 3,7 | 40,4 | 22,4 | 37,2 |
| PADMI | 1 | 1 | 3 | 65 | 0,96 | 18,16 | 3,7 | 40,4 | 22,4 | 37,2 |
| PADMI | 1 | 2 | 4 | 25 | 1,04 | 7,10 | 3,9 | 36,4 | 26,4 | 37,2 |
| PADMI | 1 | 2 | 4 | 45 | 1,03 | 10,15 | 3,9 | 36,4 | 26,4 | 37,2 |
| PADMI | 1 | 2 | 4 | 65 | 1,11 | 12,73 | 3,9 | 36,4 | 26,4 | 37,2 |
| PADMI | 1 | 2 | 5 | 25 | 1,14 | 5,10 | 6,2 | 40,4 | 28 | 33,6 |
| PADMI | 1 | 2 | 5 | 45 | 1,16 | 6,23 | 6,2 | 40,4 | 28 | 33,6 |
| PADMI | 1 | 2 | 5 | 65 | 1,20 | 8,22 | 6,2 | 40,4 | 28 | 33,6 |
| PADMI | 1 | 2 | 6 | 25 | 1,28 | 2,90 | 5,2 | 42,4 | 18 | 39,6 |
| PADMI | 1 | 2 | 6 | 45 | 1,23 | 4,95 | 5,2 | 42,4 | 18 | 39,6 |
| PADMI | 1 | 2 | 6 | 65 | 1,21 | 7,60 | 5,2 | 42,4 | 18 | 39,6 |
| PADMI | 1 | 3 | 7 | 25 | 0,75 | 10,34 | 5,9 | 38,4 | 28 | 33,6 |
| PADMI | 1 | 3 | 7 | 45 | 1,02 | 13,25 | 5,9 | 38,4 | 28 | 33,6 |
| PADMI | 1 | 3 | 7 | 65 | 1,05 | 16,58 | 5,9 | 38,4 | 28 | 33,6 |
| PADMI | 1 | 3 | 8 | 25 | 1,15 | 5,34 | 3,3 | 34,4 | 28 | 37,6 |
| PADMI | 1 | 3 | 8 | 45 | 1,09 | 11,16 | 3,3 | 34,4 | 28 | 37,6 |
| PADMI | 1 | 3 | 8 | 65 | 1,09 | 11,47 | 3,3 | 34,4 | 28 | 37,6 |
| PADMI | 1 | 3 | 9 | 25 | 1,10 | 6,18 | 4,3 | 34,4 | 18 | 47,6 |
| PADMI | 1 | 3 | 9 | 45 | 1,16 | 6,23 | 4,3 | 34,4 | 18 | 47,6 |
| PADMI | 1 | 3 | 9 | 65 | 1,11 | 15,02 | 4,3 | 34,4 | 18 | 47,6 |

Anexo 1. Continuación

| Sitio | Parcela | Subparcela | Profundidad | Densidad Aparente | Lámina De Agua | Materia Orgánica | Arena | Limo | Arcilla | |
|-------------|---------|------------|-------------|----------------------|----------------------|---------------------|-------|------|---------|------|
| EL MADRIGAL | 2 | 4 | 10 | 25 | 1,19 | 7,69 | 14,7 | 49,6 | 33,6 | 16,8 |
| EL MADRIGAL | 2 | 4 | 10 | 45 | 1,27 | 12,33 | 14,7 | 49,6 | 33,6 | 16,8 |
| EL MADRIGAL | 2 | 4 | 10 | 65 | 1,56 | 13,65 | 14,7 | 49,6 | 33,6 | 16,8 |
| EL MADRIGAL | 2 | 4 | 11 | 25 | 1,54 | 4,75 | 7,7 | 53,6 | 33,6 | 12,8 |
| EL MADRIGAL | 2 | 4 | 11 | 45 | 1,52 | 7,79 | 7,7 | 53,6 | 33,6 | 12,8 |
| EL MADRIGAL | 2 | 4 | 11 | 65 | 1,57 | 10,48 | 7,7 | 53,6 | 33,6 | 12,8 |
| EL MADRIGAL | 2 | 4 | 12 | 25 | 1,41 | 5,18 | 10,1 | 61,6 | 25,6 | 12,8 |
| EL MADRIGAL | 2 | 4 | 12 | 45 | 1,43 | 10,82 | 10,1 | 61,6 | 25,6 | 12,8 |
| EL MADRIGAL | 2 | 4 | 12 | 65 | 1,65 | 11,14 | 10,1 | 61,6 | 25,6 | 12,8 |
| EL MADRIGAL | 2 | 5 | 13 | 25 | 1,22 | 7,10 | 13,1 | 53,6 | 29,6 | 16,8 |
| EL MADRIGAL | 2 | 5 | 13 | 45 | 1,48 | 7,57 | 13,1 | 53,6 | 29,6 | 16,8 |
| EL MADRIGAL | 2 | 5 | 13 | 65 | 1,67 | 7,34 | 13,1 | 53,6 | 29,6 | 16,8 |
| EL MADRIGAL | 2 | 5 | 14 | 25 | 1,10 | 9,24 | 9,6 | 41,6 | 33,6 | 24,8 |
| EL MADRIGAL | 2 | 5 | 14 | 45 | 1,17 | 11,36 | 9,6 | 41,6 | 33,6 | 24,8 |
| EL MADRIGAL | 2 | 5 | 14 | 65 | 1,02 | 20,54 | 9,6 | 41,6 | 33,6 | 24,8 |
| EL MADRIGAL | 2 | 5 | 15 | 25 | 1,13 | 8,03 | 10,6 | 51,6 | 27,6 | 20,8 |
| EL MADRIGAL | 2 | 5 | 15 | 45 | 1,34 | 10,30 | 10,6 | 51,6 | 27,6 | 20,8 |
| EL MADRIGAL | 2 | 5 | 15 | 65 | 1,26 | 11,80 | 10,6 | 51,6 | 27,6 | 20,8 |
| EL MADRIGAL | 2 | 6 | 16 | 25 | 1,13 | 6,49 | 9,7 | 59,6 | 25,6 | 14,8 |
| EL MADRIGAL | 2 | 6 | 16 | 45 | 1,13 | 9,52 | 9,7 | 59,6 | 25,6 | 14,8 |
| EL MADRIGAL | 2 | 6 | 16 | 65 | 1,22 | 13,16 | 9,7 | 59,6 | 25,6 | 14,8 |
| EL MADRIGAL | 2 | 6 | 17 | 25 | 1,08 | 7,33 | 6,8 | 39,2 | 30 | 30,8 |
| EL MADRIGAL | 2 | 6 | 17 | 45 | 1,05 | 15,62 | 6,8 | 39,2 | 30 | 30,8 |
| EL MADRIGAL | 2 | 6 | 17 | 65 | 1,24 | 17,90 | 6,8 | 39,2 | 30 | 30,8 |
| EL MADRIGAL | 2 | 6 | 18 | 25 | 0,89 | 11,70 | 14,5 | 49,6 | 27,6 | 22,8 |
| EL MADRIGAL | 2 | 6 | 18 | 45 | 1,16 | 12,41 | 14,5 | 49,6 | 27,6 | 22,8 |
| EL MADRIGAL | 2 | 6 | 18 | 65 | 1,25 | 11,09 | 14,5 | 49,6 | 27,6 | 22,8 |

Anexo 1. Continuación

| Sitio | Parcela | Subparcela | Profundidad | Densidad Aparente | Lámina De Agua | Materia Orgánica | Arena | Limo | Arcilla | |
|----------|---------|------------|-------------|----------------------|----------------------|---------------------|-------|------|---------|------|
| CAJANUMA | 3 | 7 | 19 | 25 | 1,73 | 3,48 | 7 | 35,6 | 42 | 22,4 |
| CAJANUMA | 3 | 7 | 19 | 45 | 1,63 | 4,81 | 7 | 35,6 | 42 | 22,4 |
| CAJANUMA | 3 | 7 | 19 | 65 | 0,86 | 27,04 | 7 | 35,6 | 42 | 22,4 |
| CAJANUMA | 3 | 7 | 20 | 25 | 0,91 | 12,62 | 3,7 | 53,6 | 30 | 16,4 |
| CAJANUMA | 3 | 7 | 20 | 45 | 0,91 | 23,80 | 3,7 | 53,6 | 30 | 16,4 |
| CAJANUMA | 3 | 7 | 20 | 65 | 1,33 | 11,49 | 3,7 | 53,6 | 30 | 16,4 |
| CAJANUMA | 3 | 7 | 21 | 25 | 1,53 | 4,44 | 6,1 | 31,6 | 44 | 24,4 |
| CAJANUMA | 3 | 7 | 21 | 45 | 1,42 | 7,46 | 6,1 | 31,6 | 44 | 24,4 |
| CAJANUMA | 3 | 7 | 21 | 65 | 1,42 | 9,48 | 6,1 | 31,6 | 44 | 24,4 |
| CAJANUMA | 3 | 8 | 22 | 25 | 1,57 | 5,45 | 5,9 | 53,6 | 30 | 16,4 |
| CAJANUMA | 3 | 8 | 22 | 45 | 1,56 | 9,20 | 5,9 | 53,6 | 30 | 16,4 |
| CAJANUMA | 3 | 8 | 22 | 65 | 1,40 | 16,74 | 5,9 | 53,6 | 30 | 16,4 |
| CAJANUMA | 3 | 8 | 23 | 25 | 1,22 | 8,80 | 0,6 | 37,6 | 46 | 16,4 |
| CAJANUMA | 3 | 8 | 23 | 45 | 1,21 | 14,90 | 0,6 | 37,6 | 46 | 16,4 |
| CAJANUMA | 3 | 8 | 23 | 65 | 1,21 | 22,67 | 0,6 | 37,6 | 46 | 16,4 |
| CAJANUMA | 3 | 8 | 24 | 25 | 1,31 | 7,37 | 5,2 | 39,2 | 50,4 | 10,4 |
| CAJANUMA | 3 | 8 | 24 | 45 | 1,22 | 15,36 | 5,2 | 39,2 | 50,4 | 10,4 |
| CAJANUMA | 3 | 8 | 24 | 65 | 1,27 | 20,79 | 5,2 | 39,2 | 50,4 | 10,4 |
| CAJANUMA | 3 | 9 | 25 | 25 | 1,19 | 8,42 | 1,8 | 43,6 | 46 | 10,4 |
| CAJANUMA | 3 | 9 | 25 | 45 | 1,32 | 13,07 | 1,8 | 43,6 | 46 | 10,4 |
| CAJANUMA | 3 | 9 | 25 | 65 | 1,28 | 20,75 | 1,8 | 43,6 | 46 | 10,4 |
| CAJANUMA | 3 | 9 | 26 | 25 | 1,18 | 8,50 | 5,6 | 35,6 | 50 | 14,4 |
| CAJANUMA | 3 | 9 | 26 | 45 | 1,11 | 16,75 | 5,6 | 35,6 | 50 | 14,4 |
| CAJANUMA | 3 | 9 | 26 | 65 | 1,07 | 21,95 | 5,6 | 35,6 | 50 | 14,4 |
| CAJANUMA | 3 | 9 | 27 | 25 | 1,13 | 9,64 | 7,4 | 27,2 | 52,4 | 20,4 |
| CAJANUMA | 3 | 9 | 27 | 45 | 1,13 | 16,48 | 7,4 | 27,2 | 52,4 | 20,4 |
| CAJANUMA | 3 | 9 | 27 | 65 | 0,88 | 39,26 | 7,4 | 27,2 | 52,4 | 20,4 |

Anexo 2. Registro fotográfico de las salidas de campo.



Anexo 3. Registro fotográfico de los análisis de laboratorio.

