

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA

Maestría en Ecohidrología

Tesis de Maestría en Ecohidrología

Para la obtención del título de
Magíster en Ecohidrología

OFERTA HÍDRICA, ALMACENAMIENTO DE AGUA Y CARBONO
EN DOS ESCENARIOS ALTOANDINOS
DEL PÁRAMO DE MOJANDA-ECUADOR

Autor: Lic. María José Calderón Chérrez

Director: Mg. Ing. Enrique Angheben

Co-directora: MSc. Adriana Flachier

La Plata, Buenos Aires, septiembre del 2018

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA

Maestría en Ecohidrología

Tesis de Maestría en Ecohidrología

Para la obtención del título de

Magíster en Ecohidrología

OFERTA HÍDRICA, ALMACENAMIENTO DE AGUA Y CARBONO
EN DOS ESCENARIOS ALTOANDINOS
DEL PÁRAMO DE MOJANDA-ECUADOR

Autor: Lic. María José Calderón Chérrez

Director: Mg. Ing. Enrique Angheben

Co-directora: MSc. Adriana Flachier

La Plata, Buenos Aires, septiembre del 2018

DEDICATORIA

A Dios por darme el regalo tan grande de una familia.

A Samuel y José Luis por su cariño, paciencia y ánimos que fueron los motores que me ayudaron a la realización de este trabajo.

A mis padres, Jorge y Cecilia; y a mi hermano, Rodrigo; quienes me alentaron continuamente para no decaer durante el trabajo diario.

AGRADECIMIENTOS

A mi Director, Mg. Ing. Enrique Angheben, por su tiempo y paciencia para revisar el contenido de la Tesis y guiarme desde sus conocimientos con la experiencia y disciplina que lo caracteriza.

A mi Co-Directora, MSc. Adriana Flachier, por su ayuda desinteresada; por su tiempo, paciencia y por contribuir con sus aportes valiosos desde el conocimiento y la experiencia que ha adquirido desde su trabajo y amor por la Ecología.

A los maestros de la carrera de Maestría en Ecohidrología por sus conocimientos, explicaciones, repeticiones y buen trato.

A mis compañeros de cursada por hacer de mi estadía en un país extranjero una grata experiencia, un agradecimiento especial a Vivian, Carolina y Verónica por las risas, ánimo y el apoyo constante.

Al Gobierno Descentralizado del cantón Pedro Moncayo en Ecuador, quienes me aportaron con los datos de la estación meteorológica para poder realizar el presente estudio y por colaborar con entrevistas.

A la Lic. Andrea Shugulí, quien colaboró con la identificación botánica; a la Ingeniera Alexandra Velasteguí, quien dio contribuciones importantes para el componente geográfico y a la Lic. Vanesa Obando, quien revisó la redacción de la presente investigación.

RESUMEN

La geomorfología de la Sierra ecuatoriana sumada a las características biofísicas como clima, vegetación e hidrología, permiten la existencia de humedales alto-andinos. El páramo de Mojanda ubicado entre las provincias de Pichincha e Imbabura, entre los 2.500 y 4.260 m.s.n.m. alberga este tipo de ecosistemas (lagunas y bofedales), cuya importancia radica en la capacidad que tienen para ofertar una serie de bienes y servicios ambientales; entre los más importantes se encuentran: la Oferta Hídrica, el almacenamiento hídrico y la captura de carbono en suelo. El presente estudio determinó que en 0,61 Ha la Oferta Hídrica Disponible fue 1.149,72 m³/año y en 1,32 Ha de bofedal la Oferta Hídrica fue 2.455,63 m³/año, siendo estos valores menores en comparación con otros lugares de la Sierra ecuatoriana (Jimburra, Frente Sur occidental de Tungurahua, Oña-Saraguro-Yacuambi) en donde se han realizado este tipo de estudios siguiendo la misma metodología. De forma anexa, se calculó un valor bajo de evapotranspiración que fue atribuido a la presencia de vegetación xerófila. Dentro del área del humedal de Mojanda se determinaron dos tipos de escenarios tomando en cuenta el grado de intervención antrópica. El primer Escenario se caracterizó por tener un alto grado de intervención antrópica asociada a actividades de ecoturismo mientras que, el segundo escenario estuvo mejor conservado. En ambos escenarios se determinó la capacidad de almacenamiento de agua en suelo, obteniéndose que en el primer escenario, el 34,36% está ocupado por agua en contraste con el segundo escenario en donde el 73,63% está ocupado por este recurso. También se observó una relación directamente proporcional entre la capacidad de almacenamiento de agua con la capacidad para retener carbono en forma de materia orgánica en el suelo, en el primer escenario se registró un 17% de materia orgánica y en el segundo escenario un 83%. Los resultados del presente estudio permiten concluir que los humedales alto-andinos de Mojanda están en estado de conservación medio a alto (dependiendo del grado de intervención antrópica), su Oferta Hídrica es importante y siguen siendo una fuente de abastecimiento para las poblaciones cercanas. Sin embargo, continúa siendo un humedal con un alto grado de vulnerabilidad frente a las actividades antrópicas puesto que no existe en la actualidad una declaración de área protegida para Mojanda y por ende los impactos ambientales pueden influir en la disminución de la capacidad del bofedal para almacenar agua y de carbono.

Palabras clave: Humedal altoandino, Mojanda, Oferta Hídrica, almacenamiento de carbono.

ABSTRACT

Geomorphology of the Ecuadorian Sierra region added to the biophysical characteristics like weather, vegetation and hydrology, allow the existence of Andean wetlands. The Mojanda Andean highland located between the provinces of Pichincha and Imbabura, between 2.500 and 4.260 masl, is home to this type of ecosystems (ponds and Andean wetlands) its importance lies in its capacity to offer a series of environmental good and services, among the most important ones we find, water supply, water storage and the collection of carbon directly on soil. This investigation determined that on 0,61 Ha the available water supply was 1.149,72 m³ / year and in 1,32 Ha of bofedal the water supply was 2.455,63 m³ / year, being these values lower in comparison with other places of the Ecuadorian Highlands (Jimburra, Southwestern front of Tungurahua province, Oña-Saraguro-Yacuambi) where these studies have been made, following the same method of work. Additionally, a low value of evapotranspiration was calculated, which was attributed to the presence of xerophytic vegetation. Within the area of Mojanda's wetland, it was determined to exist two types of scenarios, taking in consideration the anthropic degree of intervention. Scenario 1, was marked for having a high level of anthropic intervention related to ecotourism activities,

whereas, Scenario 2, was better preserved. In both spots, it was determined the capacity of water storage on soil, being Scenario 1 occupied by 34,36% by water, contrasting Scenario 2, this one being occupied by 73,63%. It was also possible to determine a direct proportional connection between the capacity of water storage with the capacity to retain carbon in the form of organic matter within the soil, in Scenario 1, a 17% of organic matter was registered, and in Scenario 2, 83%. The findings of this study conclude that the Mojanda's Andean wetlands are in medium to high conservation status (depending on the degree of antropic intervention); their water supply is important and continues to be a source of sypply for nearby populations. Nevertheless, it continues to be a wetland with a high degree of vulnerability because of anthropic activities, at present time there is no legal deposition of protected area for Mojanda, and so, the environmental impact could influence on the decrease of the capacity of the wetland to store water and carbon.

Key words: Highland wetland, Mojanda, water supply, carbon storage

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	1
2. ÁREA DE ESTUDIO	3
3. METODOLOGÍA	6
3.1 Puntos de Muestreo	7
3.2 Determinación de la Oferta Hídrica	7
3.3 Determinación de la cantidad de agua en suelo	10
4. MARCO CONCEPTUAL	15
4.1 Servicios Ambientales	15
4.2 Servicios Ambientales Asociados a los Humedales Altoandinos	16
4.3 Humedales	19
4.4 Páramo de Mojanda	29
4.5 Marco Legal	35
5. RESULTADOS-DISCUSIÓN	38
5.1 Identificación y Selección de Puntos de Muestreo	38
5.2 Oferta Hídrica	43
5.3 Determinación de agua en suelo	52
5.4 Almacenamiento de materia orgánica en suelo (Carbono)	56
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	60
7. BIBLIOGRAFÍA	62
8. ANEXOS	68

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1: Ubicación del páramo de Mojanda en el Ecuador continental.	3
Figura 2-2: Escenarios seleccionados.	4
Figura 3-1: Esquemas de muestreos sistemáticos para suelos.	10
Figura 3-2: Excavación para toma de muestra.	11
Figura 3-3: Toma de muestra cilindro metálico.	11
Figura 3-4: Procesamiento de las muestras.	12
Figura 3-5: Muestras en proceso de secado.	12
Figura 3-6: Muestras de suelo secas.	13
Figura 3-7: Toma de muestras en campo.	14
Figura 4-1: Ciclo del Carbono.	17
Figura 4-2: Valores de acumulación del carbono.	18
Figura 4-3: Destrucción de los humedales en Europa.	25
Figura 4-4: Variabilidad de temperatura en el páramo de Mojanda.	30
Figura 4-5: Variabilidad de precipitación en el páramo de Mojanda.	31
Figura 4-6: Mapa de Bioclimas en el Ecuador.	32
Figura 5-1: Humedales altoandinos en el páramo de Mojanda.	38
Figura 5-2: Ubicación de los dos Escenarios propuestos dentro de Mojanda.	39
Figura 5-3: Escenario 1, alto grado de intervención antrópica.	39
Figura 5-4: Escenario 2, bajo grado de intervención antrópica.	40
Figura 5-5: Flora del Escenario 1.	42
Figura 5-6: Flora del Escenario 2 (almohadillas).	43
Figura 5-7: Estaciones meteorológicas. Ubicación geográfica.	44
Figura 5-8: Precipitación Estación Tomalón-Tabacundo.	45
Figura 5-9: Precipitación Estación Otavalo.	46
Figura 5-10: Precipitación Estación Inguincho.	46
Figura 5-11: Medias mensuales de Temperaturas.	48
Figura 5-12: Precipitación y temperatura. Estación Tomalón-Tabacundo.	49
Figura 5-13: Diagrama Ombrotérmico.	49
Figura 5-14: Clasificación del suelo en el páramo de Mojanda.	53
Figura 5-15: Cobertura de Uso de la Tierra en el área de estudio.	54
Figura 5-16: Cantidad de agua en suelo.	54
Figura 5-17: Parches de suelo sin cubierta vegetal en el Escenario 1.	55
Figura 5-18: Materia orgánica en los suelos.	56
Figura 5-19: Perfil del suelo del páramo de Mojanda.	57
Figura 5-20: Agua y materia orgánica en suelo.	58

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 4-1: Servicios ambientales de los humedales altoandinos.....	16
Tabla 4-2: Sitios Ramsar altoandinos.....	19
Tabla 4-3: Nuevos sitios Ramsar altoandinos en América del Sur.....	20
Tabla 5-1: Características del bofedal intervenido (Escenario 1).....	40
Tabla 5-2: Características del bofedal poco intervenido (Escenario 2).....	41
Tabla 5-3: Caracterización de la flora (Escenario 1).....	41
Tabla 5-4: Caracterización de la flora (Escenario 2).....	41
Tabla 5-5: Datos generales de las estaciones meteorológicas.....	44
Tabla 5-6: Estadísticos descriptivos de la serie de precipitaciones (mm).....	45
Tabla 5-7: Estadísticos descriptivos de temperatura (°C). Período (1990-2015).....	47
Tabla 5-8: Temperatura media mensual y anual (°C). Período (1995-2015).....	47
Tabla 5-9: Datos para calcular la Humedad volumétrica de los sitios de muestreo.....	52

1. INTRODUCCIÓN

El Ecuador se ubica en la zona tropical, en la Latitud 0°, está atravesado por la cordillera de los Andes, sus costas están influenciadas por dos corrientes marinas: la corriente cálida del Niño y la fría de Humboldt. Esta combinación de factores ha permitido el desarrollo de una gran diversidad de ecosistemas que se distribuyen por las cuatro regiones geográficas del país.

Los procesos ecológicos de los diferentes ecosistemas proporcionan al ser humano una serie de bienes y servicios, de los cuales depende directa o indirectamente; a éstos se les denomina servicios ambientales (SA). El almacenamiento y provisión de agua, las plantas comestibles, medicinales y maderables, el ciclado de nutrientes que se realiza en suelo, incluso la recreación en un área natural; son solo algunos ejemplos de los servicios ambientales o también llamados servicios ecosistémicos (SE).

En este sentido, cabe resaltar que esta serie de capacidades que ofertan los ecosistemas naturales fue asimilada desde tiempos antiguos por las comunidades indígenas que forman parte de los mismos (Ramón, 2002). En el desarrollo de la historia se puede observar que las economías de los pueblos fueron, y continuando siendo, dependientes del medio ambiente a través del uso de los bienes, recursos y servicios ambientales (Gilbert, 1988). Sin embargo, a partir de la década de los 90 se enfatiza en la definición de los SA y se los reconoce como parte de las políticas de gobernabilidad.

En el Ecuador, una de las zonas que oferta una gran cantidad de bienes y servicios a las comunidades cercanas y además a las ciudades principales, es el Páramo. Éste es un ecosistema tropical de montaña que se desarrolla por encima del área del bosque y tiene su límite en las nieves perpetuas (Mena et al., 2001). En el país específicamente este tipo de ecosistema se ubica a una altitud promedio de 3.300 m.s.n.m., valor que varía debido a condiciones geológicas, climáticas y antrópicas, haciendo incluso que lleguen a encontrarse desde los 2.800 m.s.n.m., principalmente al sur del país (Smith y Cleef, 1988; Acosta-Solis, 1984).

En las zonas del Páramo ecuatoriano se han desarrollado varios tipos de humedales altoandinos también llamados bofedales o turberas, que se caracterizan por su vegetación hidrofítica y por su gran capacidad de almacenamiento de agua.

La amplia distribución de los sectores con presencia de Páramo y bofedales altoandinos a lo largo de la Serranía ecuatoriana contribuye a la importancia de estos ecosistemas. Por ejemplo, la zona de páramo se ubica en 18 de las 24 provincias del país (Beltrán et al., 2009). Mientras que los sistemas de humedales altoandinos llegan a un total de 59 y están ubicados en 11 provincias de la Sierra abarcando un área total de 661.309 ha (Astudillo et al., 2010).

De todos los SA que los humedales altoandinos pueden brindar, la regulación hídrica tiene gran importancia debido a que el suelo de los bofedales tiene la capacidad de actuar como almacenador y distribuidor de agua de buena calidad proveniente de las precipitaciones, de los deshielos y de la condensación de la neblina (Mena-Vásquez y Hofstede, 2006).

Adicionalmente, los suelos de los bofedales altoandinos adquieren relevancia por la capacidad de almacenar y retener carbono en forma de materia orgánica. En la actualidad, se ha demostrado la existencia de algunos efectos benéficos de la materia orgánica sobre

distintas características físicas y químicas del suelo, como el incremento en la capacidad de retención hídrica, disminución de la compactación del suelo, disponibilidad de elementos como nitrógeno y azufre (Brechelt, 2004). En consecuencia, todas estas potencialidades de los suelos altoandinos contribuyen a la disminución de los efectos del calentamiento global (UNEP, 2014).

Conjuntamente con la importancia de estos ecosistemas alto andinos se encuentra el tema de su vulnerabilidad y fragilidad frente a la presión generada por actividades antrópicas como la ganadería extensiva, agricultura, incendios a gran escala y turismo no controlado. Los impactos ambientales en los humedales altoandinos pueden causar la disminución en la calidad de sus servicios y por ende la disminución de la calidad de vida en los seres humanos que se benefician del mismo.

En la actualidad, existe en el Ecuador un claro ejemplo de humedal altoandino ubicado en el páramo de Mojanda que oferta una serie de SA. Sin embargo, este ecosistema en la actualidad no se encuentra bajo una figura legal de protección ambiental, por lo que es más propenso a sufrir altos impactos antrópicos.

Frente a esta necesidad, las autoridades locales requieren aportes técnico-científicos para poder fortalecer sus políticas las mismas que permitan, a su vez conservar y manejar adecuadamente los humedales altoandinos del páramo de Mojanda.

Por lo tanto, conociendo la importancia del lugar y las necesidades actuales, se planteó este estudio inicial que tuvo como objetivo general: Determinar la Oferta Hídrica, almacenamiento de agua y carbono en dos Escenarios altoandinos del páramo de Mojanda - Ecuador. Dentro del marco de este estudio, también se plantearon los siguientes objetivos específicos:

- Calcular y comparar la Oferta Hídrica de un bofedal poco intervenido con otro intervenido por actividades antrópicas.
- Determinar y comparar la capacidad de almacenamiento hídrico del suelo de un bofedal intervenido y otro poco intervenido por actividades antrópicas.
- Calcular y comparar la capacidad de almacenamiento de carbono del bofedal intervenido con otro bofedal poco intervenido por actividades antrópicas.

2. ÁREA DE ESTUDIO

El presente estudio se desarrolló en el área correspondiente al páramo de Mojanda, ubicado en la Sierra norte del Ecuador, entre las provincias de Imbabura y Pichincha, abarca los cantones de Pedro Moncayo y Otavalo. El páramo cuenta con una superficie total de 25.000 hectáreas y posee una variabilidad altitudinal entre los 2.500 a 4.260 m.s.n.m. (Figura 2-1).

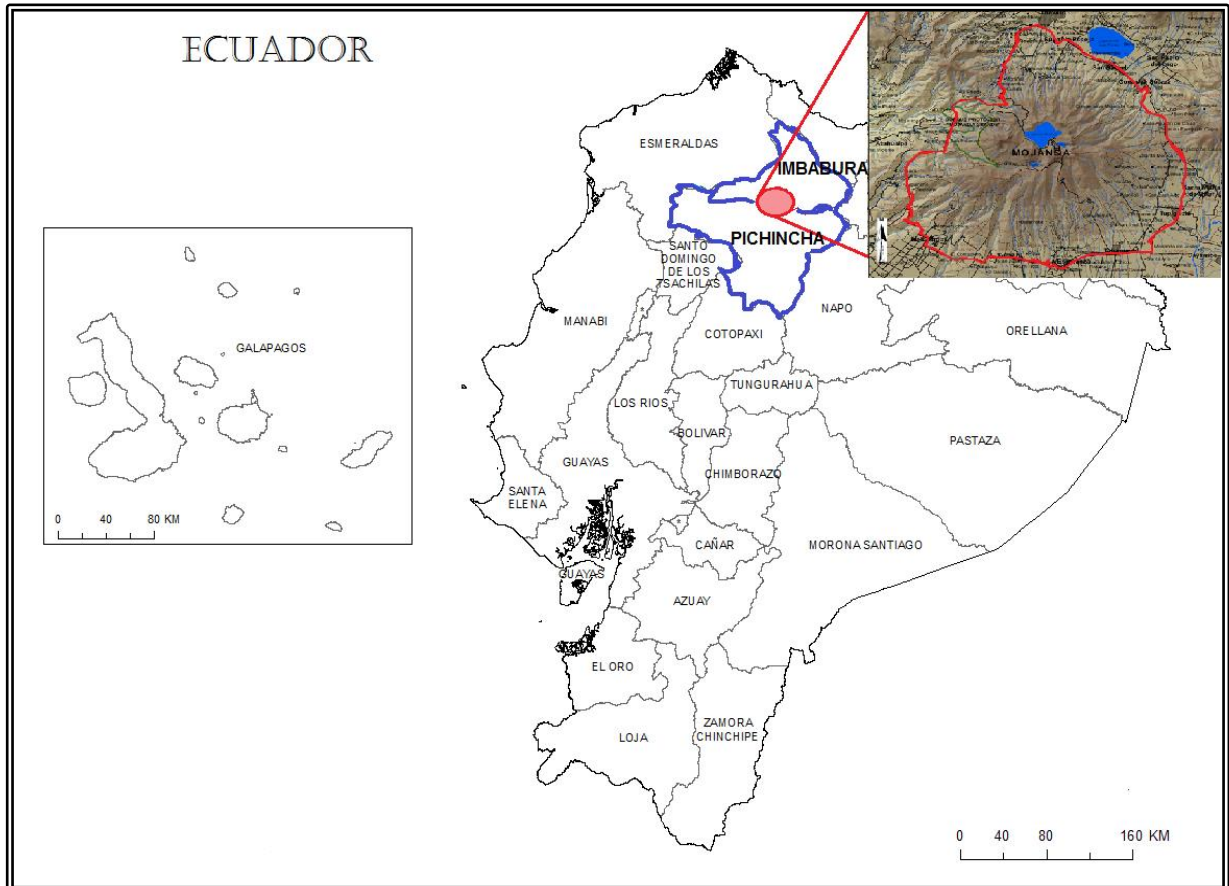


Figura 2-1: Ubicación del páramo de Mojanda en el Ecuador continental.

Dentro del sector total de páramo, la investigación se focalizó en dos zonas o Escenarios que se seleccionaron específicamente por considerarse con la presencia potencial de bofedales altoandinos como se observa en la Figura 2-2.

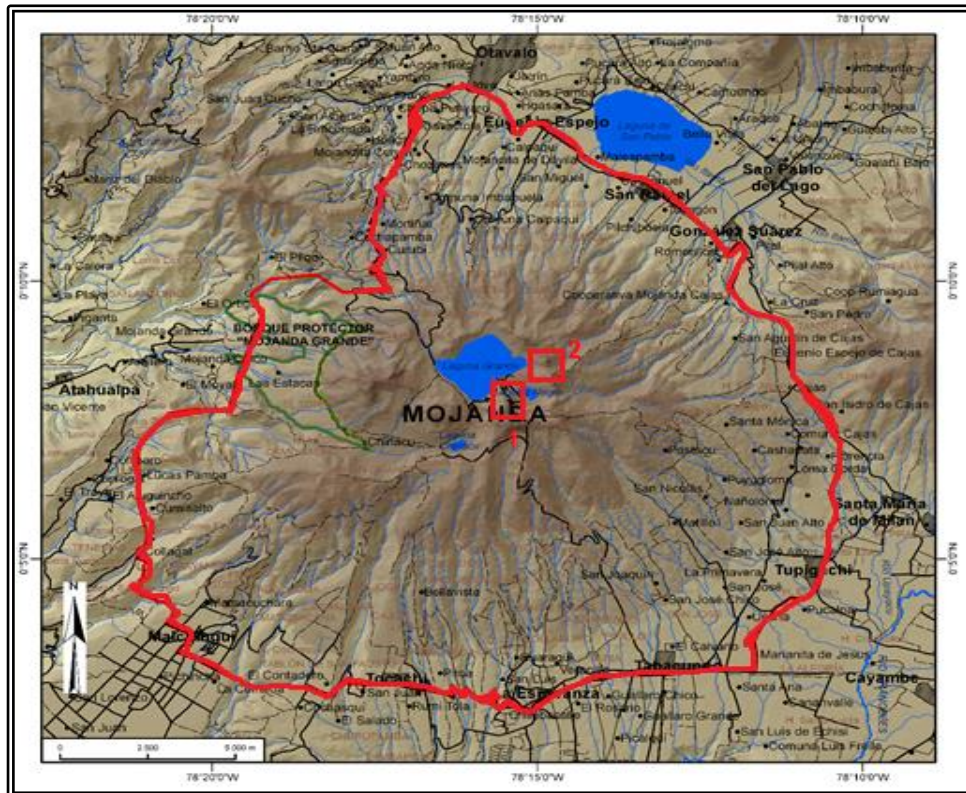


Figura 2-2: Escenarios seleccionados. Fuente: EcoCiencia, 2008.

El primer Escenario corresponde a un sector cercano a un cuerpo de agua léntico denominado “laguna Grande”, con alto grado de intervención antrópica por encontrarse junto a un sendero diseñado para las actividades turísticas del sector como caminatas, ascensión de montaña, cabalgata, acampada, observación de flora y fauna; además dentro de la laguna se realiza pesca deportiva de truchas y paseos en bote. El área de estudio está ubicada en las coordenadas $00^{\circ} 08' 01'' N$, $78^{\circ} 15' 45,5'' W$ y tiene una altitud de 3.729 m.s.n.m., abarcando un área de 6.196,98 m². La vegetación de este sitio está conformada generalmente por almohadillas y pajonal; sin embargo, es posible observar parches pequeños de suelo desnudo, es decir; sin vegetación atribuidos a la gran actividad que se desarrolla en el lugar.

El segundo Escenario seleccionado fue un sector alejado de los cuerpos de agua. Al contrario del primero, éste tuvo baja intervención antrópica pues se encuentra alejado de los senderos destinados a las caminatas u otras actividades turísticas de la zona, su accesibilidad es limitada debido a la presencia de vegetación arbustiva cercana al humedal. El Escenario está ubicado en las coordenadas $00^{\circ} 08' 13,8'' N$, $78^{\circ} 15' 18,6'' W$; a una altitud de 3.742 m.s.n.m., posee un área de 13.235,78 m² aproximadamente. La vegetación predominante son las almohadillas (agrupaciones de varias especies de plantas, musgos, helechos e incluso líquenes) que cubren la totalidad de suelo.

La Hidrología superficial del Páramo de Mojaneda (incluyendo las dos áreas de estudio) está conformada por sectores que dan origen a los ríos Mira y Guayllabamba, los mismos que alimentan a través de las microcuencas a los ríos Jatunyacu, Itambi, Upayacu, Cubi y Quebradas Pimán, Chimburla y Cubinche (EcoCiencia, 2008).

La importancia de los sistemas lóticos y lénticos del sector de Mojanda radica en que son fuentes de agua para las poblaciones cercanas abarcando un total de 36.000 habitantes aproximadamente (EcoCiencia, 2008).

En cuanto a la Hidrología subterránea, se desconocen estudios sobre su presencia en este sector.

En cuanto al clima de los Escenarios seleccionados, por estar ubicados sobre los 3.700 m.s.n.m. presentan una dominancia de clima subhúmedo con pequeños déficits de agua y según la clasificación de Thornthwaite (1948), pertenecen a un clima mesotérmico templado frío¹.

Por otro lado Echeverría y López (2013), establecen que en el sector de Mojanda es posible identificar dos épocas. La primera caracterizada por abundantes precipitaciones que se manifiestan en dos períodos (el primero ocurre en el mes de abril y el segundo período durante los meses de octubre a noviembre) y la segunda caracterizada por escasas precipitaciones.

La temperatura de la zona en general varía entre los 4 °C y los 12 °C, y presenta precipitaciones que varían desde los 1.000 hasta los 1.500 mm (EcoCiencia, 2008).

¹ https://issuu.com/inamhi/docs/atlas_estudiantil/4

3. METODOLOGÍA

La Metodología aplicada en el presente estudio se basó en trabajos similares realizados en Ecuador, Colombia y Costa Rica, los cuales están relacionados con la valoración económica de humedales altoandinos e incluyen tanto la evaluación cuantitativa como cualitativa de los servicios ambientales en particular la Oferta Hídrica y el almacenamiento de carbono en suelo.

Castro et al. (2009), realizaron una investigación sobre la valoración económica de servicios ecosistémicos (agua y carbono en suelo) en una zona de Páramo ubicada al sur del Ecuador, entre las provincias de Loja y Zamora Chinchipe. El sector presentó una variabilidad altitudinal desde los 2.560 m.s.n.m. hasta los 3.880 m.s.n.m. y una temperatura promedio de 10 °C. Además, los humedales que fueron objeto de este estudio se encontraban asociados a varias lagunas altoandinas.

Castro et al. (2010) y Flachier et al. (2010), desarrollaron un proyecto similar sobre valoración económica de servicios ambientales en dos sitios piloto del Páramo ecuatoriano. El primero correspondió al sector Oña-Nabón-Saraguro Yacuambi ubicado en el sur del país, con una variabilidad altitudinal desde los 1.000 m.s.n.m hasta los 3.782 m.s.n.m. y con una temperatura promedio de 7 °C. El área correspondiente a este estudio es el origen de varios sistemas lóticos de la cuenca hidrográfica del río Santiago y del río Jubones. El segundo sector se ubicó en la parte central de la cordillera de los Andes, concretamente en el Frente Sur Occidental de Tungurahua, con una variabilidad altitudinal que va desde los 1.689 m.s.n.m. hasta los 6.400 m.s.n.m. y una temperatura promedio de 10 °C.

Las investigaciones mencionadas fueron realizadas en el ecosistema Páramo, el rango altitudinal, las temperaturas ambientales y la asociación de los bofedales con sistemas hídricos (lóticos o lénticos) fueron similares con los Escenarios 1 y 2 planteados en el Páramo de Mojanda.

También vale recalcar que los cálculos de Oferta Hídrica que se realizaron en los estudios antes descritos estuvieron basados en las fórmulas propuestas por Barrantes y Vega (2001), quienes trabajaron en la evaluación del servicio ambiental hídrico de una cuenca hidrográfica en Costa Rica ubicada a una altitud de 3.491 m.s.n.m. aproximadamente y tomaron en cuenta las variables de precipitación media, temperatura ambiental, evapotranspiración potencial, evapotranspiración real y biotemperatura para establecer la Oferta Hídrica total y la Oferta Hídrica disponible.

De manera complementaria Gómez et al. (2001), estimaron la disponibilidad de agua en tres sectores de la cuenca media del río Nima, ubicada en la eco-región andina de Colombia entre los 1.300 y 2.600 m.s.n.m., como parte de su metodología aplicaron la definición de biotemperatura para llevar a cabo cálculos de Evapotranspiración potencial (EVTp) tal como se realizó en el presente trabajo.

Por otro lado, para la estimación de agua y carbono en suelo todos los trabajos revisados aplicaron fórmulas generales basadas en las relaciones de volumen y masa de los constituyentes del suelo, como la densidad aparente, humedad volumétrica y gravimétrica.

3.1 Puntos de Muestreo

Para la selección de los puntos de muestreo se tomó en cuenta:

Componente geográfico: cartas topográficas de la zona a escala 1:50.000 provistas por el Instituto Geográfico Militar y mapas digitales generados para el Plan de Manejo y Desarrollo de Mojanda.

Además, se utilizaron programas como Google earth, Google Maps y el ArcGis earth 1.0, los cuales permitieron visualizar el área de estudio.

Componente botánico: se buscaron especies adaptadas a la alta humedad que generalmente se presentan en asociaciones en forma de “almohadillas” y son típicas de los bofedales.

Grado de intervención antrópica: mediante visitas a campo se seleccionaron dos Escenarios con diferente grado de intervención humana, generalmente por la actividad turística del sector que está asociada a caminatas, ascensiones a las montañas, cabalgatas y en la parte de la laguna se desarrolla pesca deportiva y paseos en bote. El segundo Escenario fue escogido por su bajo nivel de intervención antrópica debido a la lejanía de las actividades turísticas y su difícil acceso por la vegetación aledaña.

3.2 Determinación de la Oferta Hídrica

El servicio ambiental hídrico se refiere a la capacidad que tienen los ecosistemas para captar agua y mantener la Oferta Hídrica a la sociedad (Costanza et al., 1998). Con el objetivo de determinar este servicio en los dos Escenarios se tomaron en cuenta los siguientes aspectos previos:

Precipitación media

La precipitación es el elemento que controla, en gran medida, el ciclo hidrológico y es de gran interés a la hora de determinar la Oferta Hídrica de una cuenca (Barrantes y Vega, 2001). Para su cálculo se utilizaron los datos de precipitación total mensual proporcionados por la estación meteorológica Tomalón-Tabacundo que fue la más cercana al área de estudio.

Evapotranspiración (EVT)

La evapotranspiración es un elemento que está fuertemente influenciado por las diferentes variables climáticas como son la temperatura, radiación solar, humedad del aire, viento, etc. (Reynolds, 1997).

Holdridge (1978), mediante los diagramas de zonas de vida y el movimiento del agua en las diferentes asociaciones climáticas, establece los elementos necesarios para poder estimar los componentes del balance hídrico. Esta relación se establece mediante la precipitación promedio y la biotemperatura.

Por lo tanto, para el cálculo de evapotranspiración potencial se empleó lo propuesto por Holdridge (1978) en la ecuación 3-1.

$$EVT_p = 58.93 * Tb \quad [3-1]$$

Donde,

EVT_p = evapotranspiración potencial (mm/año)

58,93 = constante de EVT_p

Tb = bio-temperatura media anual

Biotemperatura (Tb)

Este término es introducido por Holdridge (1978), donde relaciona el proceso de evapotranspiración de las plantas (que incluye la evaporación desde el suelo, la interceptación y la transpiración por los estomas) con la variación de temperatura ambiental. Esta última se define como la temperatura promedio en grados centígrados donde tiene lugar el crecimiento vegetativo (Holdridge, 1978). El rango donde tiene lugar el crecimiento vegetativo se establece entre los 0 °C y los 30 °C.

Para determinar la biotemperatura se calculó la temperatura media anual durante el período 1990-2015, valores que fueron proporcionados por la estación meteorológica Tomalón-Tabacundo por ser la más cercana al área de estudio.

Relación entre la evapotranspiración potencial (EVT_p) y la real (EVTr)

Rodríguez (1983), basado en el nomograma que describe los movimientos del agua en asociaciones climáticas del Sistema de Zonas de Vida (Holdridge, 1978), establece una relación entre las curvas de evapotranspiración potencial y real, cual denominó como RE. Matemáticamente, se expresa en la ecuación [3-2]:

$$RE = \frac{EVT_p}{PPT} \quad [3-2]$$

Donde,

RE = Coeficiente RE

EVT_p = evapotranspiración potencial (mm)

PPT = precipitación total (mm)

RE es utilizado para calcular la EVT_R, sin embargo, para ello Rodríguez (1983) utiliza la relación descrita en la ecuación [3-3].

$$F = \frac{EVT_r}{EVT_p} \quad [3-3]$$

Donde, según Rodríguez (1983) se conoce que la relación entre F y RE está dada por las siguientes ecuaciones [3-4] y [3-5]

Para valores de RE entre 0,45 y 1,5 el valor de F está dado por,

$$F = 1,12 - 0,44(RE) \quad [3-4]$$

Mientras que para valores de RE entre 0,0625 y 0,45 el valor de F está dado por:

$$F = 7,4617(RE)^3 - 10,46(RE)^2 + 4,63(RE) + 0,27 \quad [3-5]$$

Finalmente, la evapotranspiración real estará dada por la ecuación [3-6]:

$$EVT_R = F * EVT_P \quad [3-6]$$

Como se mencionó anteriormente, para el cálculo de la Oferta Hídrica se trabajó con datos de precipitación y temperatura. En el caso de los datos faltantes de precipitación se utilizó el *método de la autocorrelación* bajo el criterio del dato anterior o posterior (Barrera, 2004).

Los materiales utilizados para esta determinación fueron: 1) información estadística de los valores mensuales de temperatura del termómetro seco, 2) información estadística de valores mensuales de precipitación; ambas proporcionadas por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología del Ecuador (INAMHI) como se observa en los Anexos 1-6.

Además, se buscó información secundaria sobre aspectos climáticos e hidrológicos de la zona de estudio, los cuales se detallan en el capítulo correspondiente al Marco Conceptual.

Según Barrantes y Vega (2001), la Oferta Total de agua está dada por la precipitación en la zona de estudio, por lo cual se aplicó la ecuación [3-7]:

$$OT = \sum_{i=1}^n P_i * A_i \quad [3-7]$$

Donde,

OT = oferta total hídrica en el área de importancia (m³/año)

P_i = precipitación en el área i (mm)

n = número de turberas o bofedales para el área de estudio

A_i = área de las turberas que se obtiene del estudio geográfico (ha)

Para obtener el valor de la oferta total hídrica en m³/año se transformó las unidades de Precipitación (mm) y Evapotranspiración Real (mm) a m³/año/ha, tomando en cuenta que para una lámina de agua 1 litro/m² = 1 mm = 10 m³/ha.

Del valor total de la OT, un porcentaje regresa a la atmósfera mediante el proceso de evapotranspiración, otra parte se deposita en hojas, troncos, tallos y cuerpos de individuos (Ander, 1991), otra porción regresa a la atmósfera, otra penetra al subsuelo para recargar acuíferos, y la restante se dispone en ríos y aguas superficiales, siendo éstas las formas potencialmente disponibles para abastecimiento de diversas actividades económicas de la población (Odum, 1986). Por lo tanto, la oferta hídrica disponible se basa en la ecuación [3-8]:

[3-8]

$$Od = \sum_{i=1}^n (OT_i - EVT_R)$$

Donde,

Od = oferta hídrica disponible en el área de importancia (m³/ año)

EVT_R = evapotranspiración real en el área de importancia hídrica (mm)

Para obtener el valor final de la Od, se debe tomar en cuenta que el valor de EVT_R debe estar multiplicado por el área de estudio respectiva.

3.3 Determinación de la cantidad de agua en suelo

Para la determinación de la cantidad de agua en suelo, se emplearon materiales como: cilindros muestreadores de metal codificados, tela porosa, balanza, secadora de muestras, palas, barreno, GPS, mapas de la zona de estudio y cámara fotográfica.

Una vez localizado y definido el bofedal altoandino en campo, se anotó las coordenadas geográficas, altitud y hora con ayuda de un GPS. Luego se procedió a la toma de muestras para lo cual se establecieron cuadrantes de acuerdo con el área de cada humedal (para este caso fue un cuadrante por cada Escenario). Se seleccionó un muestreo sistemático utilizando un esquema en zig-zag (Sosa, sf) como muestra la Figura 3-1; de esta manera se pudo abarcar mayor área y se obtuvo las submuestras (mínimo 20) las cuales posteriormente se mezclaron para obtener una sola **muestra compuesta** que fuera representativa.

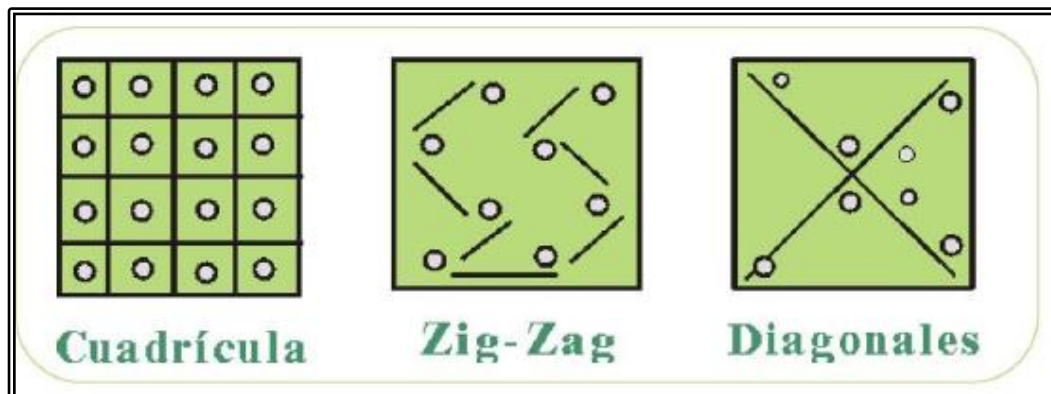


Figura 3-1: Esquemas de muestreos sistemáticos para suelos. **Fuente:** Sosa, sf..

Para la toma de submuestras se retiró la capa vegetal y con ayuda de una pala o barreno se excavó 15 cm de profundidad como se observa en la Figura 3-2; posteriormente se tomaron las submuestras de suelo con el cilindro muestreador metálico codificado, cuyo volumen se conoció con anterioridad como se observa en la Figura 3-3.



Figura 3-2: Excavación para toma de muestra.



Figura 3-3: Toma de muestra cilindro metálico.

Finalmente, la muestra colectada fue debidamente codificada, se colocó en una bolsa ziploc y se la preservó a 4 °C hasta su llegada al laboratorio. Este procedimiento se repitió en ambos Escenarios propuestos.

Para el procesamiento de las muestras, éstas fueron llevadas al laboratorio y se las sometió a un proceso de sobresaturación por un lapso de 48 horas. Para esto, se colocó un fragmento de tela porosa en uno de los extremos de los cilindros muestreadores como se muestra en la Figura 3-4; posteriormente se introdujo los cilindros muestreadores en un recipiente de mayor volumen en el cual se agregó agua hasta la mitad de la altura del cilindro.



Figura 3-4: Procesamiento de las muestras.

Luego de este proceso, se retiró la muestra del agua y se la colocó en un recipiente hasta observar que no cayera ninguna gota de agua de la muestra. Se procedió a pesar cada una para obtener así los valores de peso húmedo (M_h), que más adelante se emplearon en las respectivas fórmulas.

Posteriormente se procedió a colocar las muestras en la secadora a 105 °C hasta constatar que el agua se haya evaporado por completo, como se observa en las Figuras 3-5 y 3-6, se pesaron nuevamente los cilindros, obteniéndose así el peso seco (M_s).



Figura 3-5: Muestras en proceso de secado.



Figura 3-6: Muestras de suelo secas.

Una vez obtenidos los valores correspondientes para cada muestra se aplicaron las fórmulas para el cálculo de la humedad volumétrica (porcentaje de peso de suelo ocupado por el agua) empleando las ecuaciones [3-9], [3-10] y [3-11]:

Humedad volumétrica

$$\theta = W_g * \rho \quad [3-9]$$

Donde:

θ = humedad volumétrica

W_g = humedad gravimétrica

ρ = densidad aparente

Densidad aparente

$$\rho = \frac{M}{V} \quad [3-10]$$

Donde:

ρ = densidad aparente

M = peso seco

V = volumen de la muestra

Humedad Gravimétrica

$$W_g = \frac{M_h - M_s}{M_s} * 100 \quad [3-11]$$

Donde:

W_g = humedad gravimétrica

M_h = peso húmedo

M_s = peso seco

3.4 Determinación de la cantidad de carbono en suelo

Los materiales empleados para la determinación de la cantidad de carbono en el suelo fueron: Cilindros muestreadores de plástico codificados, balanza, secadora de muestras, palas, barreno, GPS, mapas de la zona de estudio y cámara fotográfica.

Una vez localizado el punto de muestreo según los criterios iniciales, se realizó el mismo procedimiento que se detalla para la toma de muestra de la cantidad de agua en suelo (punto 3.3), como muestra en la Figura 3-7. Es decir, al final del muestreo se obtuvo una **muestra compuesta** llenando por completo el volumen del cilindro muestreador. La muestra final fue codificada y preservada a 4 °C hasta su llegada al laboratorio.



Figura 3-7: Toma de muestras en campo.

Las muestras se entregaron al laboratorio de suelos de la Facultad de Ingeniería Minas y Petróleos de la Universidad Central del Ecuador, quienes llevaron a cabo a través del método Walkley Black el procedimiento necesario hasta obtener los valores numéricos de Materia Orgánica Total.

4. MARCO CONCEPTUAL

4.1 Servicios Ambientales

El concepto de “servicios ambientales” (SA) no tiene una génesis exactamente definida, pero se podría afirmar que a partir de los años 90 comenzó a emplearse en ámbitos académicos, científicos y políticos con el fin de valorar a los sistemas naturales y darles un uso sostenible. Actualmente, este concepto es desarrollado por varios autores así:

Para Turner et al. (2000), las funciones o servicios ambientales son el resultado de interacciones entre características, estructuras y procesos de un determinado ecosistema.

Otros autores establecen que los bienes y servicios que las personas obtienen a partir de su entorno natural se conocen como servicios ambientales. Sin duda, hay una estrecha relación entre la calidad de los servicios ambientales y la calidad de vida del hombre (De Groot et al., 2002; Fisher y Turner, 2008).

Flachier et al. (2010), menciona que los servicios ambientales son todas aquellas funciones mediante las cuales la naturaleza nos provee de lo necesario para nuestra vida.

La Provisión de agua, aire y alimentos; almacenamiento del recurso hídrico; recarga de acuíferos; depuración de contaminantes; captura de carbono en suelo; plantas medicinales y comestibles; diversidad de paisajes; son algunos ejemplos de SA de los cuales depende el hombre directamente e indirectamente. En la actualidad, este amplio abanico ha sido clasificado para su mejor entendimiento.

Vonada (2010), ofrece una clasificación sencilla y práctica de los SA:

1) *originarios o de apoyo*: como por ejemplo: reciclaje y dispersión de nutrientes, producción primaria y formación de suelos.

2) *Servicios de provisión*: comida (animales y vegetales), agua, productos farmacéuticos y energía.

3) *Servicios de regulación*: secuestro de carbono y regulación del clima, purificación del agua y el aire, polinización de cultivos.

4) *Culturales*: inspiración cultural, recreación y ecoturismo.

Así se podrían continuar enumerando los servicios ambientales y enlistar los tipos de ecosistemas que los ofertan. Pero sin lugar a duda, el páramo, es uno de los que ofrece una mayor cantidad de estos bienes y servicios.

Mena et al. (2001), define el páramo como un ecosistema de alta montaña situado sobre la línea de bosques andinos hasta donde la vegetación existe por debajo de las nieves eternas. Este ambiente tropical tiene un clima frío-húmedo, está situado entre los 3.200 m.s.n.m. y 4.200 m.s.n.m. Ecuador, es uno de los países de América del Sur que posee este tipo de ecosistema, el cual abarca una superficie de 1.843.477 ha, es decir, aproximadamente un 7% del territorio nacional (Josse et al., 2009).

Ubicado en la Sierra Norte del Ecuador, entre las provincias de Pichincha e Imbabura se encuentra el páramo de Mojanda, el cual se constituye en una biorregión que alberga humedales altoandinos, los cuales están caracterizados por su baja temperatura, pronunciadas variaciones climáticas durante el día, suelos con contenido de materia orgánica

y alta capacidad de almacenamiento de agua. Además, presenta la vegetación típica como pajonal, plantas en forma de roseta y cojines de musgos.

Diversos autores han enfatizado en la alta diversidad de hábitats del páramo en comparación con otros ecosistemas. En el contexto de la sierra andina, la biodiversidad en páramos no está dada por la riqueza de especies sino en su singularidad, ya que se han adaptado a una serie de condiciones extremas (Hofstede et al., 2003).

Estas características físicas, geológicas, climáticas y bióticas del páramo de Mojanda han permitido el desarrollo de varios tipos de **humedales altoandinos** los cuales, tienen la capacidad de ofertar los servicios ambientales que se describen a continuación.

4.2 Servicios Ambientales Asociados a los Humedales Altoandinos

Como se ha mencionado anteriormente, existe una gran cantidad de bienes y servicios que los ecosistemas brindan al ser humano; sin embargo, varios de éstos están fuertemente ligados a los humedales altoandinos como se muestra en la Tabla 4-1.

Tabla 4-1: Servicios ambientales de los humedales altoandinos. **Fuente:** Ramsar-COP9, 2005.

Suministro de servicios	Regulación de servicios	Servicios culturales
Productos obtenidos de los ecosistemas	Beneficios obtenidos de los procesos de regulación de los ecosistemas	Beneficios no materiales obtenidos de los ecosistemas
<ul style="list-style-type: none"> - Alimento - Agua potable - Combustible - Fibra vegetal - Bioquímicos - Recursos genéticos 	<ul style="list-style-type: none"> - Regulación del clima - Control de enfermedades - Regulación del agua - Purificación del agua - Polinización - Almacén de carbono 	<ul style="list-style-type: none"> - Espirituales y religiosos - Recreación y turismo - Estético - Educativo - Sentido de identidad patrimonial cultural
Servicios de soporte		
Servicios necesarios para la producción de todos los otros servicios del ecosistema		
- Formación de suelos	- Ciclado de nutrientes	- Producción primaria

Según el planteamiento de los objetivos del presente estudio, la investigación se centró en los humedales altoandinos del páramo de Mojanda y concretamente en evaluar y calcular dos servicios ambientales: Oferta Hídrica y capacidad de almacenamiento de agua y carbono en suelo. Por tales motivos, se puso énfasis en definir estos conceptos.

4.2.1 Oferta Hídrica

Es aquella porción de agua que después de haberse precipitado sobre la cuenca y satisfecho las cuotas de evapotranspiración e infiltración del sistema suelo-cobertura vegetal, escurre por los cauces mayores de los ríos y demás corrientes superficiales, alimenta lagos, lagunas y reservorios, confluye con otras corrientes y llega directa o indirectamente al mar (SIMA, 2004).

La definición anterior está basada en el concepto de Oferta Hídrica superficial total que se aplicó a la presente investigación ya que no se encontraron estudios que permitan obtener datos cualitativos o cuantitativos del agua subterránea del sector de Mojanda o lugares aledaños. Además, recientemente en la Ley Orgánica de los Recursos Hídricos del Ecuador con fecha 6 de agosto del 2014, mediante Registro Oficial se menciona: *“En el plazo de hasta dos años a partir de la vigencia de esta Ley, la Autoridad Única del Agua, en*

coordinación con los Gobiernos Descentralizados, usuarios y organizaciones de usuarios realizará el INVENTARIO NACIONAL DE AGUAS SUPERFICIALES y en un plazo de hasta cinco años el INVENTARIO DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS por cuenca hidrográfica..”

También es importante mencionar que la Oferta Hídrica es un servicio ambiental que se lo clasifica como un servicio de provisión pues, suministra agua a poblaciones aledañas para sus diferentes usos. En el sector de Mojanda la provisión de agua abarca varios frentes: para consumo humano, agricultura y riego.

4.4.2 Almacenamiento de agua en suelo

El suelo de las turberas/bofedales en páramos actúa como un gran reservorio natural de agua que regula los flujos del ciclo hidrológico, reduciendo las consecuencias negativas de las variaciones (Buytaer, 2006; Célleri, 2009 y Biao et al., 2010).

4.4.3 Almacenamiento de carbono en suelo

En términos generales se puede decir que el suelo está conformado por elementos de diferente origen. Dentro de la compleja composición del suelo, una parte importante son las partículas de materia orgánica (MO), la cual está compuesta por restos de origen biológico (Alvarado, 2012).

El Carbono es el principal elemento químico que conforma la materia orgánica, y como elemento bioquímico posee un determinado ciclo, el cual posee una fase que ocurre en el suelo como se observa en la Figura 4-1.

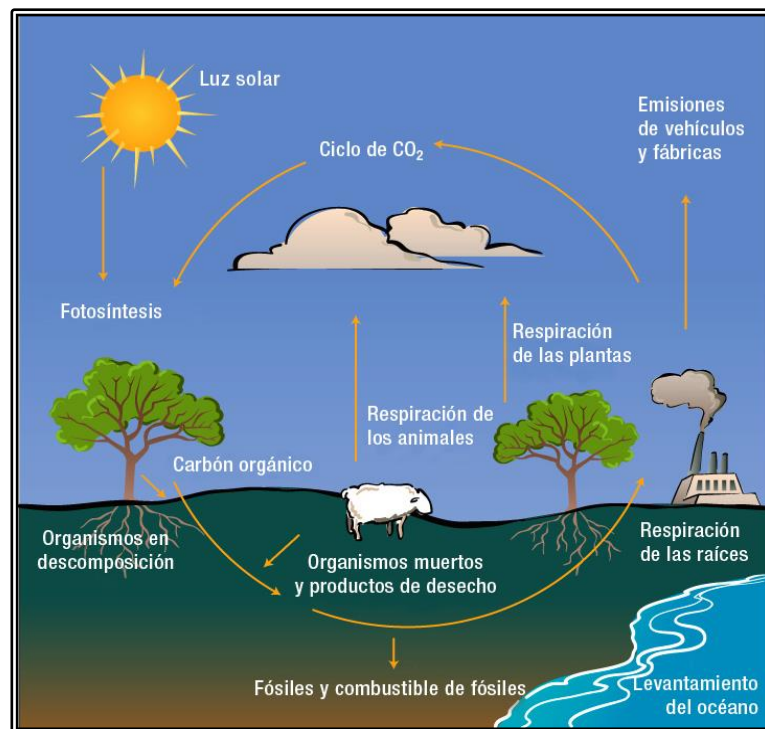


Figura 4-1: Ciclo del Carbono. Fuente: <https://www.guioteca.com>

El suelo actúa como un sumidero del Carbono atmosférico, el cual se ha visto incrementado por actividades humanas en los últimos años (en especial el cambio de uso de la tierra y la combustión de fósiles) causando un aumento negativo de la temperatura global del planeta y contribuyendo a la aceleración del cambio climático (Lal et al., 1998).

De lo anteriormente mencionado, se origina la necesidad de mantener la mayor cantidad de Carbono en el suelo. Además, como se indica en el informe de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura (FAO, 2006) una importante reserva de este elemento químico se ubica en los suelos, como se observa en la Figura 4-2.

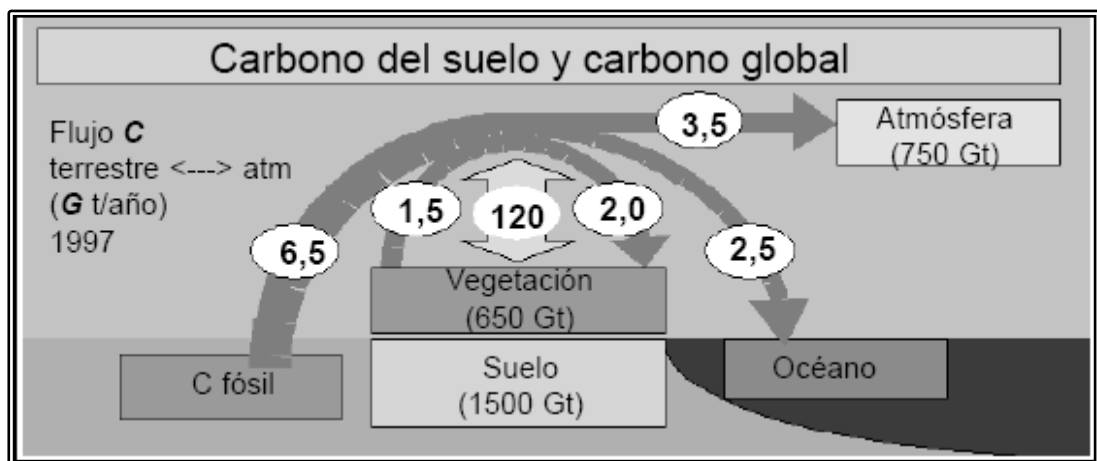


Figura 4-2: Valores de acumulación del carbono. **Fuente:** FAO, 2006.

En el caso específico de los suelos del páramo, la materia orgánica es decir, compuestos que contienen Carbono se acumulan pudiendo alcanzar los 60 Kg/cm², ubicándose entre los suelos con mayor reserva de C. Adicionalmente, se conoce que en las turberas de los humedales altoandinos se deposita Carbono cumpliendo una función importante como reguladores bioquímicos (Hofstede et al., 2003).

La materia orgánica desempeña un papel fundamental en el suelo porque es un indicador clave de su calidad, tanto en sus funciones agrícolas (producción y economía) como en sus funciones ambientales (captura de carbono y calidad del aire). Además, el aumento en la cantidad de materia orgánica del suelo incrementa la tasa de infiltración y la capacidad de agua disponible así como la resistencia contra la erosión hídrica y eólica (FAO, 2002).

El almacenamiento de agua y carbono en el suelo clasifican como un servicio de regulación ya que, estos procesos propios y naturales del ecosistema traen beneficios indirectos al ser humano. El almacenamiento de agua en suelo contribuye a mantener una reserva del recurso para la vegetación y para el ser humano; además ayuda a la regulación del clima. La capacidad del suelo para almacenar el carbono está relacionada con el control del cambio climático y la disminución del efecto invernadero.

4.3 Humedales

4.3.1 Definición

El carácter dinámico, los diferentes tipos y distribuciones que presentan los humedales, han dado a este término varias definiciones:

“Los humedales son zonas donde el agua es el principal factor controlador del medio y la vida vegetal y animal asociada a él. Los humedales se dan donde la capa freática se halla en la superficie terrestre, cerca de ella o donde la tierra está cubierta por aguas poco profundas” (Astudillo et al., 2010).

“Son sistemas que no son ni verdaderamente terrestres ni acuáticos, pueden ser varias cosas al mismo tiempo, o ser estacionalmente acuáticos o terrestres” (Stolk et al., 2006).

“Extensiones de marismas, pantanos o turberas cubiertas de agua, sean éstas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluidas las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda de seis metros” (Barbier et al., 1997).

4.3.2 Convención RAMSAR

La Convención sobre los humedales de Importancia Internacional, llamada también la Convención de Ramsar se adoptó en la ciudad iraní de Ramsar en 1971 y entró en vigor en 1975, es el único tratado global que se encarga de la conservación y uso racional de este tipo de ecosistemas en particular y los países miembros de la Convención abarcan todas las regiones geográficas del planeta.²

Adicionalmente, en la 8va. Conferencia de la Convención realizada en Valencia-España en el 2002 una resolución reconoció a *“los humedales altoandinos como ecosistemas estratégicos”*. También, mediante ésta los países firmantes se comprometieron a trabajar en pro de la conservación de estos ecosistemas y junto a organizaciones asociadas a Ramsar se comprometieron a ampliar la lista de humedales altoandinos de importancia internacional.

Como uno de los resultados de las reuniones de la Convención para julio del 2005 se estableció una primera lista de humedales altoandinos en la región de América del Sur (donde consta Ecuador) y América Central como se observa en la Tabla 4-2.

Tabla 4-2: Sitios Ramsar altoandinos. **Fuente:** RAMSAR-CoP-9, 2005.

País	Sitio Ramsar	Altitud (m.s.n.m.)	Área (ha)
Argentina	Laguna de los Pozuelos	3.500	16,22
	Lagunas de Vilama	4.500	157,00
	Reserva Provincial Laguna Brava	2.500-4.500	405,00
Bolivia	Laguna Colorada	4.232	51,31
	Lago Titicaca (sector boliviano)	3.809-4.200	800,00
	Cuenca de Tajzara	3.700-4.100	5,50
	Lagos Poopó y Uru	3.686	976,60

² www.ramsar.org/es

País	Sitio Ramsar	Altitud (m.s.n.m.)	Área (ha)
Chile	Salar de Surire	4.200	15,85
	Salar de Huasco	3.500	6,00
	Salar de Tara	4.400	5,44
	Sistema Hidrológico de Soncor	2.300	5,01
	Laguna del Negro Francisco y Laguna Sta. Rosa	3.715-4.000	62,46
Colombia	Laguna de La Cocha	2.700-3.500	39,00
Ecuador	Sistema Lagunar del Parque Nacional El Cajas	3.160-4.445	29,47
Perú	Lago Titicaca (sector peruano)	3.810	460,00
	Lago Junín	4.080-4.125	53,00
	Laguna del Indio y Dique de los Españoles	4.440	502,00
	Bofedales y Laguna de Salinas	4.300	17,65
Costa Rica	Turberas de Salamanca	2.600-3.290	192,52

Posteriormente, en los años 2008 y 2009 tres países de Suramérica incluyeron nuevos humedales altoandinos a la lista de Ramsar como se observa en la Tabla 4-3.

Tabla 4-3: Nuevos sitios Ramsar altoandinos en América del Sur. **Fuente:** Ramsar ³

País	Sito Ramsar	Altitud (m s. n. m)	Área (ha)
Ecuador	Complejo Llanganati	2.960	30.355
Argentina	Lagunas Altoandinas y Puneas de Catamarca	3.010-6.885	1.228.175
Chile	Salar de Aguas Calientes IV	3.665	15.529
	Salar de Pujsa	4.530	17.397

Ecuador forma parte de la Convención desde enero de 1997. En el 2002, el país participó en una iniciativa colectiva que busca promover la conservación de los humedales. Uno de los objetivos específicos es “*Completar y mejorar el conocimiento científico y técnico de los humedales altoandinos...*” y además una de las estrategias de esta iniciativa se fundamenta en el enfoque ecosistémico.

4.3.3 Organismos internacionales con interés en humedales altoandinos

El enfoque ecosistémico (EE) adoptado por el Convenio de la Diversidad Biológica en la COP5 en el año 2000 reconoce que los ecosistemas naturales y transformados son sistemas complejos cuyo funcionamiento y capacidad de respuesta hacia perturbaciones y cambios dependen de las relaciones dinámicas entre especies y entre éstas con el medio ambiente, la sociedad y su cultura. Uno de los principios del EE es el reconocimiento de los bienes y servicios que suministran los ecosistemas a las comunidades locales y a la sociedad en general (Andrade, 2007).

Este nexo que se generó con RAMSAR le permitió al Ecuador involucrar una mayor cantidad de organismos internacionales a sus políticas nacionales y todas relacionadas a los humedales altoandinos, su conservación, uso racional y conocimiento. Por ejemplo, la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) dentro de sus programas

³ www.ramsar.org/es

manifestó que uno de los Objetivos de Desarrollo del Milenio debe estar relacionado directamente con el manejo del agua, el suministro y su saneamiento de la misma.

Así también, la Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y Agricultura (FAO) 2016, hace referencia al enfoque ecosistémico como una serie de métodos científicos adecuados centrados en los niveles de organización biológica que abarca los procesos, las funciones y las interacciones esenciales entre los organismos y su ambiente, y que reconoce a los humanos, con su diversidad cultural, como un componente integrante de los ecosistemas.

4.3.4 Diversidad de tipos y origen de los humedales altoandinos

Los humedales y sistemas de humedales tienen un amplio abanico de formas:

Lagos y lagunas de agua dulce (glaciar, volcánico y tectónico), salares (antiguos mares evaporándose), lagunas saladas (mares antiguos con poca alimentación de agua dulce), lagunas salobres (mares antiguos con mayor dilución de agua dulce), bofedales y turberas (inundación o fuentes subterráneas), aguas termales y géiseres (actividad volcánica cerca de fuentes de agua), mallines (con aportes superficiales y subterráneos, que les dan carácter de “oasis” en zonas áridas), entre otros (Convención de Ramsar, 2008).

Es importante mencionar que los humedales de altura también se denominan **bofedales**. Este término hace referencia a una pradera nativa poco extensa con permanente humedad que generalmente se ubica sobre los 3800 m.s.n.m. y se forman en los macizos andinos.⁴

La palabra bofedal es más utilizada en países como: Bolivia, Chile y Perú. Mientras que, en el Ecuador se utiliza el término “turbera” o “almohadillas”, siendo que el término bofedal es técnicamente más apropiado (Flachier et al., 2010).

4.3.5 Clasificación de los humedales

La convención Ramsar estableció un sistema de clasificación para los humedales basados en tres grandes grupos (Marino costeros, continentales y artificiales), esta clasificación cuenta con más de 30 tipos de humedales. Por otro lado, Barbier et al. (1997) realizó una categorización en cinco grandes sistemas que son:

- Estuarios: donde los ríos desembocan en el mar y el agua alcanza una salinidad equivalente a la media del agua dulce y salada (por ejemplo, deltas y marismas).
- Marino-costeros: áreas entre tierra y mar que no se ven afectados por los caudales fluviales (por ejemplo, playas, manglares y arrecifes de coral).
- Fluviales: tierras inundadas periódicamente como resultado del desbordamiento de los ríos (por ejemplo, llanuras de inundación, bosques inundables, islas fluviales y lagos de meandro).
- Palustres: áreas que contienen aguas relativamente permanentes (por ejemplo: pantanos, turberas y Ciénegas) En los páramos húmedos como el de Papallacta, Cotopaxi, Mojanda se encuentran este tipo de turberas tropicales, en donde la

⁴ <http://ecosistemadcc.weebly.com/bofedal.html>

materia orgánica se descompone lentamente debido a las bajas temperaturas (Moreano, sin fecha).

- Lacustres: zonas cubiertas de aguas permanentes caracterizadas por una baja circulación (lagos, lagunas, lagos artificiales, lagos glaciales y cráteres de volcanes. En el caso de Mojanda el sistema lacustre está formado por tres lagunas principales.

Como se mencionó en el punto 2 del presente trabajo, la zona de estudio se focalizó en el páramo de Mojanda, concretamente en los humedales altoandinos que se encuentran en este sector. Por lo tanto, los conceptos que se desarrollan a continuación se enfocan en este grupo particular.

4.3.6 Biorregiones en las que se encuentran los humedales altoandinos

A nivel mundial existen varios lugares que por sus condiciones geográficas y climáticas favorecen la presencia de los humedales altoandinos. En la Estrategia Regional de Conservación y Uso sostenible de los Humedales Altoandinos realizado por Ramsar en el 2005, se da a conocer las siguientes zonas:

- Páramo: ecosistema que pertenece a las altas montañas tropicales que abarca los Andes del norte y la alta montaña centroamericana. Se lo encuentra en el norte de Perú, Ecuador, Colombia, Venezuela y Costa Rica. Se caracteriza por tener una baja temperatura, variaciones climáticas durante el día y humedad relativa superior al 80%; suelos ricos en materia orgánica y con una vegetación con alta capacidad de almacenamiento de agua.
- Jalca: zona de transición entre el páramo y la puna, se la encuentra en la sierra norte de Perú. Tiene grandes similitudes estructurales y funcionales con el páramo sin embargo, la jalca tiene una variación climática estacional acentuada.
- Puna: se caracteriza por el frío intenso, la aridez y marcadas fluctuaciones diarias de temperatura. Geográficamente, se la ubica en las altiplanicies de Perú, Bolivia, Argentina y Chile. Además, la densidad poblacional humana en la puna es más alta que en el páramo.
- Patagonia Andina: cuenta con diversos tipos de humedales, entre ellos lagos, valles de ríos y mallines (vegas de altura). Los mallines son un tipo de humedal caracterizado por tener una corta dimensión y estar localizados en una formación geológica que contiene un acuífero freático cercano, fuente que humidifica el suelo y permite sustentar una comunidad vegetal densa y diversa.

4.3.7 Importancia de los humedales altoandinos

La importancia de estos ecosistemas ha variado con el tiempo. En el período carbonífero (hace 350 millones de años) los humedales produjeron y conservaron muchos combustibles fósiles de los que hoy dependemos. Más tarde, los humedales situados a orillas de los grandes ríos del mundo, nutrieron a las grandes civilizaciones de la historia. Estos humedales aportaron pescado, agua de beber, tierras de pastoreo, vías de transporte además de ocupar un lugar central en la mitología, el arte y la religión (Barbier et al., 1997).

Actualmente, la importancia de los humedales y en concreto de los altoandinos está ligada a los servicios ambientales que brindan en particular el de ser almacenadores, purificadores y abastecedores de agua para poblaciones numéricamente importantes.

- Importancia económica

Aportan en gran medida el agua dulce para consumo humano, como en el caso de ciudades grandes como: Bogotá, Quito, Lima y Sucre; al igual que otras ciudades populosas.

Son parte sustancial de la producción agrícola de la región pues las poblaciones dependen de las cuencas hidrográficas altoandinas. También ayudan a la producción de ganadería, son el hábitat de especies de notable importancia económica como la vicuña, el guanaco y la chichilla (Astudillo et al., 2010).

Además, son fuente para la minería y la forestación industrial. Como actividad de subsistencia por la extracción de plantas y turba como combustible.

La diversidad paisajística junto con otros servicios culturales que aportan humedales altoandinos, los convierten en fuentes de turismo aportando a la economía de las localidades cercanas.

Existen, además otras posibilidades que no han sido exploradas, como la producción de algas con fines alimenticios e industriales.

- Importancia cultural

La alta montaña andina ha sido habitada desde hace milenios por una gran variedad de culturas indígenas: Quechua en Perú y Bolivia; Aymará en Argentina, Chile, Perú y Bolivia, los Coyas y Atacameños en Chile y Argentina y los mapuches en la región patagónica; así como los pueblos Paeces y Guambianos en Colombia, entre otras (Ramsar COP9. 2005).

Los sistemas naturales (incluidos los humedales) además de ser una vía para la economía de los pueblos, se han constituido en una fuente de bienestar no material por su influencia en la salud física y mental, en los valores culturales, históricos, éticos, religiosos y espirituales de las poblaciones (Astudillo et al., 2010). Todas estas características aumentan la valoración que un determinado lugar pueda tener.

- Importancia ecológica

El papel principal que tienen los humedales altoandinos es la provisión de agua ya sea para su almacenamiento o para la regulación del ciclo hidrológico. Esta característica principal les da extrema importancia porque abastecen de agua dulce a varias poblaciones humanas, las cuales la aprovechan para consumo potable, agricultura, generación eléctrica, etc.

Adicionalmente, los humedales altoandinos mantienen una diversidad biológica única (a todos los niveles: genes, especies y paisaje) que se caracteriza por su alto nivel de endemismo de plantas y animales (Astudillo et al., 2010).

Son además refugio y zonas de reproducción de una gran cantidad de especies que se encuentran con problemas de conservación y de importancia ecológica como el oso de anteojos, el zorro, el cóndor, venado de cola blanca, entre otros (Ramsar-CoP9, 2005).

Es conocida también la capacidad del suelo de los humedales para fijar el carbono atmosférico y controlar la erosión. Estas características los han convertido en Escenarios de adaptación al cambio climático global.

Otra de las funciones ecológicas de estos ecosistemas es la recarga de acuífero, cuando el agua se acumula en el humedal puede descender a través del suelo a niveles freáticos es decir, contribuir a la formación de agua subterránea.

4.3.8 Estado de conservación de los humedales

En términos generales, los humedales han sido considerados como sistemas naturales frágiles debido al desconocimiento de las funciones que desempeñan y su estrecha relación con la calidad de vida del ser humano.

Por otro lado y de manera más específica los humedales altoandinos han sido considerados por la Convención de Ramsar como ecosistemas frágiles. Su alta fragilidad está asociada a causas naturales (ejemplo: extensas sequías en la puna) y antrópicas (ejemplo: agricultura no sostenible, pastoreo excesivo y minería no sostenible en el páramo y la puna). Muchos se están perdiendo de manera acelerada sobre todo por mal manejo y desconocimiento de su importancia económica y ecológica (Convención de Ramsar, 2008).

A continuación, se elaboró una recopilación del estado actual de conservación de los humedales desde una perspectiva global hasta llegar a la realidad local del Ecuador.

- Escala mundial

Los humedales (todos los tipos) cubren aproximadamente 1.28 millones de hectáreas de la superficie terrestre, un área 50% más grande que Brasil (MEA, 2005).

Pese a estas cifras, la pérdida de áreas correspondientes a los humedales se registran en diferentes partes del mundo, algunos valores numéricos nos acercan a la magnitud del problema.

Por ejemplo: Estados Unidos presenta una destrucción de 87 millones de hectáreas de humedales, es decir, el 54% de lo que existía originalmente en el país (Tiner, 1984). Portugal cerca del 70% y en Filipinas se destruyó unas 300.000 hectáreas de manglar que representó el 67% del total (Zamora, 1984).

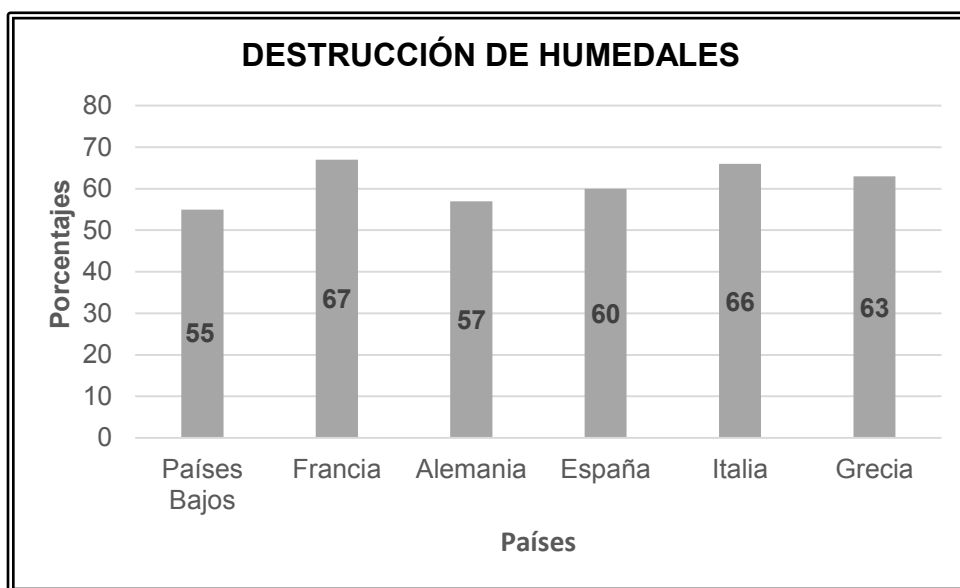


Figura 4-3: Destrucción de los humedales en Europa. **Fuente:** Barbier et al., 1997.

La Base de Datos sobre los sitios Ramsar y la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (MEA, 2005) evidencian una de las principales amenazas sobre los humedales que han llevado a estas pérdidas. Las más comunes a nivel mundial son:

- Crecimiento poblacional y urbanización
- Drenaje para la agricultura
- Desarrollo de infraestructuras
- Deforestación de cuencas hidrográficas
- Construcción de represas y canales fluviales
- Extracción de turba
- Contaminación
- Pesca ilegal y acuicultura intensiva
- Sobrepastoreo
- Introducción de especies invasoras

Adicionalmente, existen amenazas de carácter global sobre los humedales las cuales incluyen el cambio climático, privatización de servicios de agua y falta de voluntad política de gobiernos en materia de conservación de los recursos naturales (Cappato y Pateán, 2005. En: Stolk et al., 2006).

- Escala regional

En este nivel podemos concentrarnos en los humedales de altura. Según el documento de la *Estrategia Regional de Conservación y Uso sostenible de los Humedales Altoandinos*, los ecosistemas de alta montaña en los Andes, Costa Rica y Panamá presentan un estado de conservación de los humedales que varía de crítico a vulnerable.

Para Astrálaga (2006), la situación de los humedales en América Latina es crítica por las diferentes presiones a las cuales están sometidos. Adicionalmente, solo se conoce que un 70% de los sitios Ramsar están sometidos a alguna amenaza; sin embargo, no se puede tener una cuantificación exacta de las pérdidas ya que existen humedales que están en áreas naturales sin ser declarados parte de esta Convención

o existen países que no han adoptado la definición global de humedal y por lo tanto no se tiene registro de ellos.

Pese a todo, se han desarrollado estudios de caso en países como: Colombia, Ecuador, Perú, Venezuela, Cuba, Guatemala y Argentina, los cuales dan a conocer su estado actual y contribuyen a la conservación de los mismos.

Según la *Estrategia Regional de Conservación y Uso sostenible de los Humedales Altoandinos* planteada por Ramsar, las causas generales más relevantes que conllevan a la degradación de los humedales en la región son:

- Extracción de agua para usos agrícola y minero
 - Fragmentación de los ecosistemas acuáticos
 - Intensos procesos de urbanización
 - Quemadas
 - Contaminación
 - Construcción de grandes obras de infraestructura
 - Alta densidad poblacional con poca planificación
 - Legislación insuficiente (políticas turísticas)
 - Conflictos de gobernabilidad e institucionalidad
- Escala local (Ecuador)

A nivel general, los sistemas de humedales en el país se encuentran distribuidos en las 4 regiones del país (Costa, Sierra, Oriente y región Insular). A la fecha, en el Ecuador se han declarado 18 sitios como humedales y abarcan alrededor de 286.659 ha (Echeverría, 2018; SUIA, 2017).

De manera más específica, los humedales altoandinos se encuentran ubicados en 11 provincias de la sierra los cuales constituyen la biorregión páramo. Dentro de este conjunto de humedales se consideran a 36 como sistemas de humedales, 23 como humedales aislados, llegando a un total de 59 humedales altoandinos y abarcando un área total nacional aproximada de 661.309 ha, tomando en cuenta sus microcuencas (Astudillo et al., 2010).

Estos humedales en su mayoría son lacustres y están considerados dentro de la definición que plantea RAMSAR pero, sólo tres se encuentran incluidos en la lista de *humedales de importancia internacional de Ramsar*: El Complejo de humedales altoandinos del Parque Nacional Cajas, El Complejo Llanganati y El Complejo de humedales Ñucanchi-Turupamba (MAE, 2008).

Según Astudillo et al. (2010), en el Ecuador prevalecía la idea de que los humedales son áreas inservibles que es preciso drenar y convertir en “tierras productivas”, sin tomar en cuenta el importante papel ecológico de estos ecosistemas. Las numerosas obras y proyectos de drenaje, dragado, represamiento y desvío de cuerpos de agua, así lo confirmaron.

Sin embargo, no todo el panorama es negativo ya que, desde que Ecuador es parte contratante de Ramsar se han venido realizando esfuerzos importantes para dar cumplimiento a los compromisos de conservación y uso racional de humedales. Entre ellos, destacan la designación de sitios de importancia internacional, el

establecimiento del marco institucional responsable de la aplicación de la Convención y el diseño de Políticas sobre la conservación y uso racional de los humedales.

Actualmente, es importante reconocer el trabajo que aún falta por realizar en pro de la conservación y uso racional de los humedales ya que, varios de ellos se encuentran en áreas naturales que no han sido declaradas bajo categorías oficiales de protección (Parque Nacional, Reservas ecológicas y biológicas; Áreas nacionales de recreación; Reserva geobotánica y Área de producción de fauna) por lo tanto, se encuentran expuestos a una afectación mayor por actividades antrópicas, entre las cuales tenemos en términos generales:

- Las quemas no controladas por parte de los dueños de ganado que ha causado pérdida de vegetación y erosión de suelos.
- Conversión de pajonales en pasto para la ganadería intensiva o extensiva.
- El desvío de cuerpos de agua y sedimentación se da por actividades como la minería, agricultura y ganadería.
- Presión de actividades de turismo y contaminación, aunque la actividad turística es una alternativa económica importante para los humedales ecuatorianos, la falta de control y normas sobre cómo, cuándo y dónde realizarla es un problema para casi todas las lagunas andinas. La contaminación por desechos domésticos es una de las principales consecuencias de esta actividad.

A continuación se describen brevemente algunos ejemplos de humedales altoandinos en el Ecuador, incluyendo aquellos que han sido declarados como Humedales de Importancia Internacional (sitios Ramsar).

PARQUE NACIONAL LLANGANATES (PNLL)

Se localiza en la zona central del territorio ecuatoriano, en las provincias de Cotopaxi, Tungurahua, Napo y Pastaza. Su rango altitudinal va desde los 1.200 m.s.n.m. hasta los 4.638 m.s.n.m. El rango de temperatura varía desde los 3 °C hasta los 24 °C. La precipitación anual fluctúa entre 1.000 y 4.000 mm.

Dentro de esta área protegida se encuentra el Complejo LLanganati, localizado entre las provincias de Tungurahua y Cotopaxi; fue reconocido como **Sitio Ramsar** en el 2008. Tienen una extensión de 30.355 hectáreas y contiene un amplio conjunto de lagunas de origen glaciar alimentadas por ríos y riachuelos o inundaciones estacionales, además de pantanos y extensas turberas asociadas con diferentes tipos de vegetación que le confiere características particulares y generan una importante provisión de agua para los poblados cercanos.

PARQUE NACIONAL EL CAJAS (PNC)

Fue reconocido como sitio Ramsar en el 2008, se caracteriza principalmente por estar formado de grandes elevaciones que guardan en su interior sistemas lacustres

a manera de enormes cajas interconectadas, aquí existen 235 lagunas identificadas que se encuentran conectadas unas con otras a través de riachuelos y arroyos, en dichas áreas se originan ríos que a su vez desembocan en otros a su vez tributarios del Pacífico y Amazonas.

Su rango altitudinal va desde los 3.152 m.s.n.m. hasta los 4.445 m.s.n.m. Su temperatura oscila entre los -2 a 18 °C. La precipitación fluctúa entre los 1.000 a 2.000 mm.

Una de las características más importantes de estos sistemas de humedales altoandinos es que de ellos nacen los principales afluentes de los ríos Tomebamba, Mazán, Yanuncay y Migüir, que abastecen de agua potable a la ciudad de Cuenca y que, a su vez, aportan al Complejo Hidroeléctrico Paute, que provee electricidad a todo el país (Rivera, 2007).

Además, es hábitat de plantas vasculares de las cuales 106 son endémicas del páramo y 19 son exclusivas del PNC. La fauna está conformada por: 152 especies de aves, 43 mamíferos, 15 anfibios y 4 de reptiles (MAE, 2008).

PARQUE NACIONAL PODOCARPUS

Se encuentra en el límite fronterizo de las provincias de Loja y Zamora Chinchipe. Tiene un rango altitudinal de 900 – 1.600 m.s.n.m. (zona baja) y 1.600 – 3.600 m.s.n.m. (zona alta). La temperatura oscila entre los 6 y 22 °C. La precipitación varía entre 1.500 a 3.000 mm.

Posee lagunas de origen glaciar desde donde nacen cuatro cuencas hidrográficas importantes, que coinciden políticamente con los cuatro cantones que comparten el Parque: Catamayo-Chira (cantón Loja), Chinchipe (cantón Palanda), Zamora (cantones Loja y Zamora) y Nangaritzta (cantón Nangaritzta), conocidos como el corazón hidrológico de la región por alimentar los sistemas productivos de los valles que se extienden hasta el norte de Perú, así como a la ciudad de Loja y Zamora Chinchipe. Se estima en más de 100 el número de lagunas existentes en esta área protegida.

PARQUE NACIONAL YACURI

Se ubica en el extremo sur oriental de los Andes del Ecuador entre las provincias de Loja y Zamora Chinchipe. Su altitud varía desde los 2.000 m.s.n.m. hasta los 3.700 m.s.n.m. La temperatura es de 14 °C en promedio. La precipitación oscila de 1.500 a 3.000 mm anuales.

Cuenta con un gran número de lagunas (alrededor de 49). El área del humedal se estima en 269,5 hectáreas.

El PNY es considerado un área con alta diversidad en flora y en fauna se caracteriza por albergar a especies animales como el oso de anteojos, el tapir y el chonto (Morocho et al., 2008).

RESERVA MUNICIPAL YACUAMBI

Se encuentra ubicada al sur del Ecuador en la provincia de Zamora Chinchipe y pertenece al cantón Yacuambi, forma parte de la cordillera Oriental Yacuambi. Se ubica entre los 2.600 y 3.600 m.s.n.m.

Es un área contigua a los humedales y páramos de Nabón, Oña y Saraguro (Samaniego et al., 2007). Posee un complejo de lagunas conocido como Condorcillo.

BOSQUE PROTECTOR SHINCATA

Se ubica en la parte sur del Ecuador concretamente en los cantones de Oña y Nabón pertenecientes a la provincia del Azuay y también en el cantón Yacuambi perteneciente a la provincia de Zamora Chinchipe, justamente en la cordillera divisoria de aguas del Pacífico y del Atlántico. Dentro de este bosque se encuentran importantes sistemas lacustres.

4.4 Páramo de Mojanda

4.4.1 Aspectos biofísicos y paisajísticos del sector

Como se mencionó en el Marco Teórico el páramo es una de las biorregiones en donde se encuentran los humedales altoandinos, por tales motivos se da a conocer una breve descripción de los aspectos biofísicos y paisajísticos más relevantes asociados a este ecosistema que formó parte del área de estudio.

4.4.2 Clima:

Según el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología del Ecuador (**INAMHI**) en Mojanda existe una variedad de climas por los diferentes pisos altitudinales que presenta el sector.

Como se observa en la Figura 4-4 y Figura 4-5 extraída del Plan de Manejo y Desarrollo de Mojanda, existe una variación de la temperatura y de la precipitación relacionada con la altitud. La temperatura tiene una relación inversamente proporcional con la altitud es decir, a medida que ascendemos la temperatura es menor. Por otro lado, la precipitación tiene una relación inversamente proporcional con la altitud.

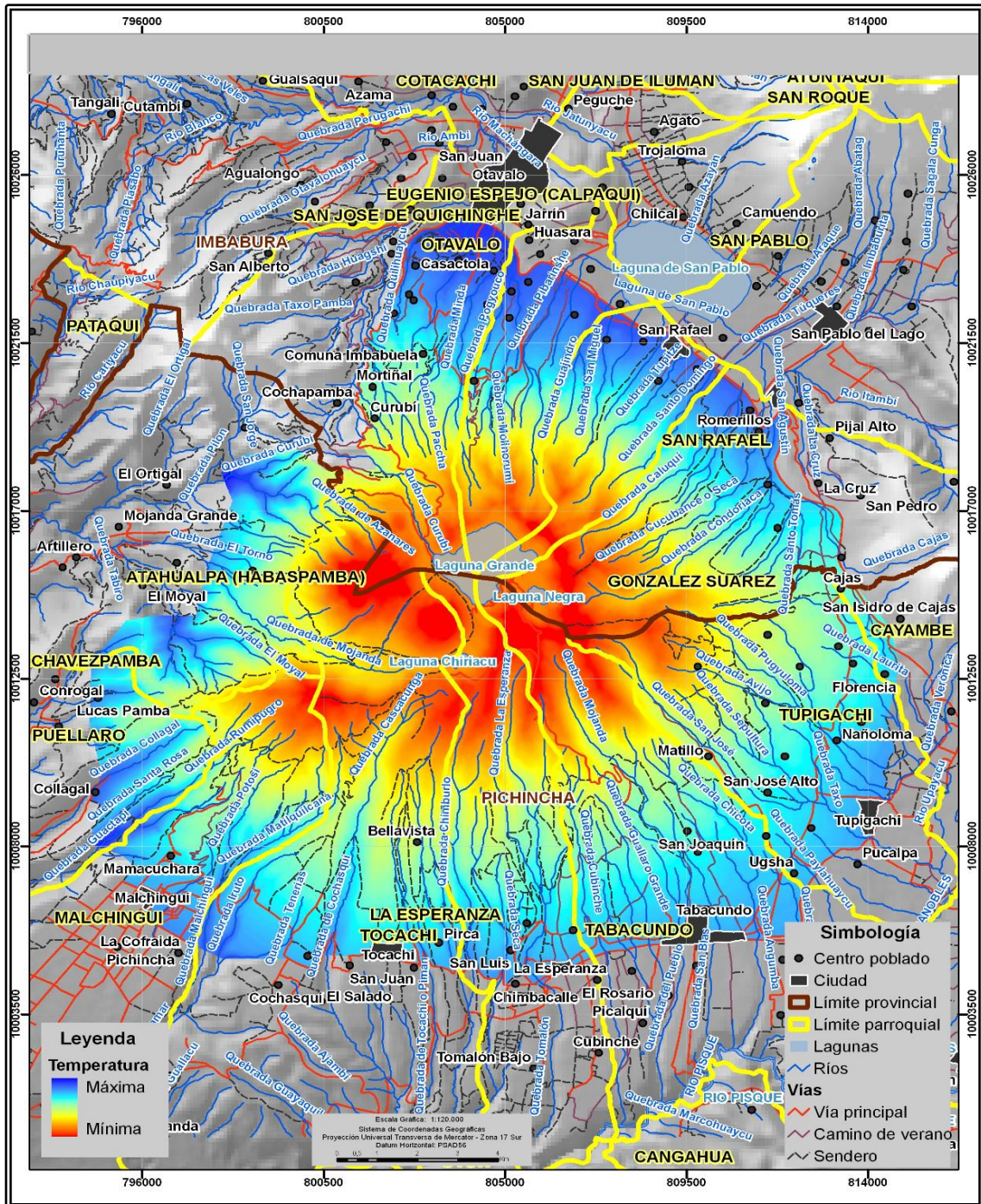


Figura 4-4: Variabilidad de temperatura en el páramo de Mojaña. Fuente: EcoCiencia, 2008

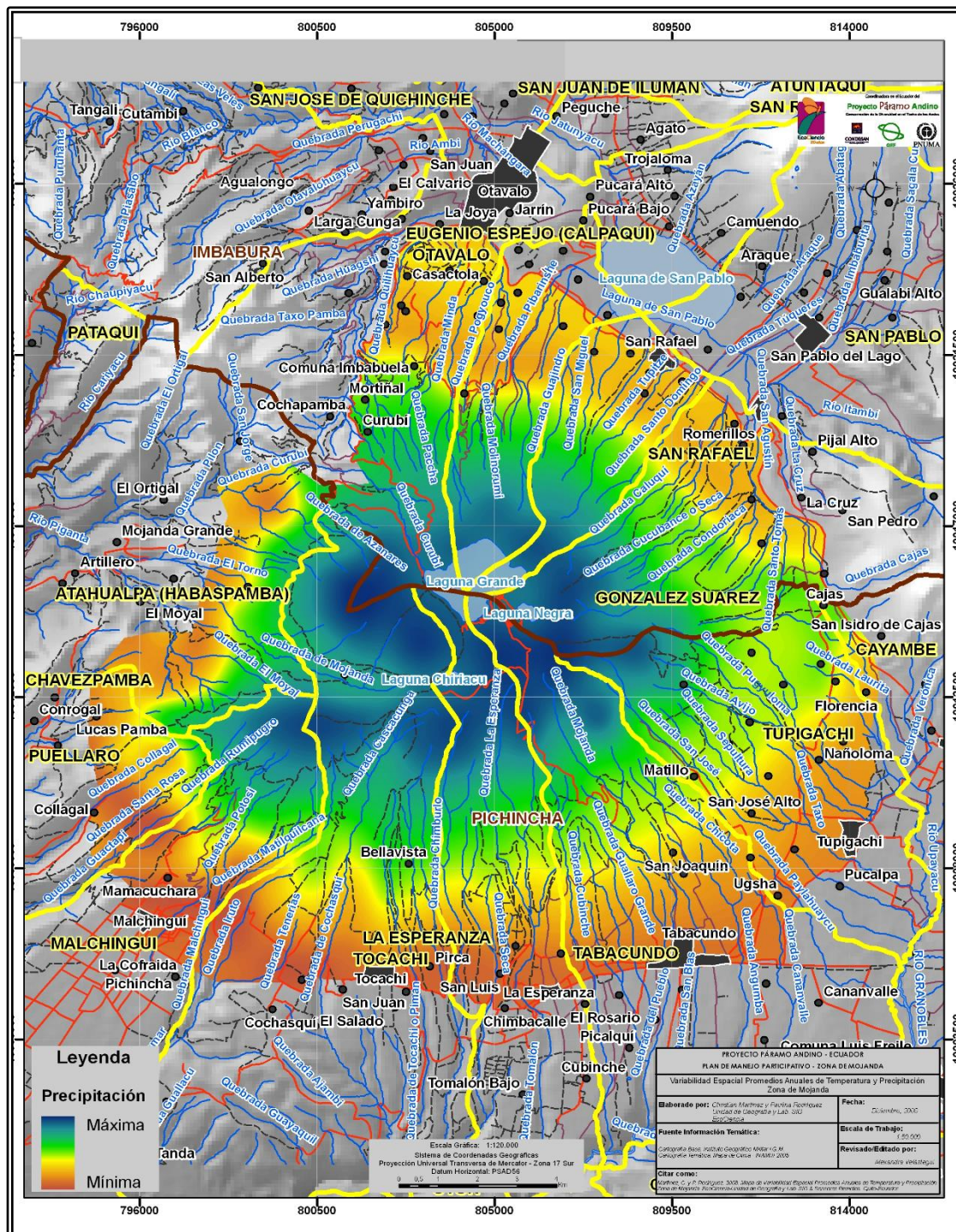


Figura 4-5: Variabilidad de precipitación en el páramo de Mojanada. Fuente: EcoCiencia, 2008.

La variación de altitud en el páramo de Mojanada permite la existencia de zonas en donde predomina un *clima subhúmedo con pequeños déficits de agua*, mesotérmico templado frío, con variaciones térmicas de 4 °C a 12 °C que se ubica hacia altitudes elevadas. También podemos encontrar hacia la franja sur un *clima seco sin exceso de agua*, mesotérmico templado cálido, con variaciones térmicas desde los 10 °C hasta los 15 °C y precipitaciones desde los 750 hasta los 1.000 mm. Finalmente, hacia el sector de Otavalo se encuentra un *clima subhúmedo sin exceso de agua*, mesotérmico templado frío, con una temperatura que

oscila entre los 12 °C y 14 °C y con precipitaciones desde los 750 mm hasta los 1.000 mm (EcoCiencia, 2008).

Por otro lado, encontramos otra clasificación propuesta para la zona, la misma que se encuentra en el SUIA del Ministerio del Ambiente del Ecuador, según esta clasificación el páramo de Mojanda pertenecería al Bioclima Pluvial y Pluviestacional como se observa en la Figura 4-4.



Figura 4-6: Mapa de Bioclimas en el Ecuador. **Fuente:** Ministerio del Ambiente del Ecuador-SUIA, 2017.

4.4.3 Hidrografía:

En cuanto al régimen hídrico del páramo de Mojanda, el INAMHI (2006) reporta un comportamiento temporal de precipitaciones que van desde los 1.000 mm a los 1.500 mm, dándole un carácter de subhúmedo o clasificando a esta temporada como lluviosa. Por otro lado, el régimen hídrico seco está caracterizado por precipitaciones que van desde los 750 mm a los 1.000 mm.

Las precipitaciones que se producen en esta zona alimentan a los sistemas lóticos y lénticos del sector. En cuanto, el páramo de Mojanda forma parte de las nacientes de los Ríos Mira y Guayllabamba a los que alimenta a través de sus microcuencas de los ríos Jatunyacu, Itambi, Upayacu, Cubi y las Quebradas Pimán, Chimburla y Cubinche (EcoCiencia, 2008).

En el 2008, la Fundación Ecuatoriana de Estudios Ecológicos, elaboró el Plan de Manejo y Desarrollo de la zona de Mojanda, en el cual se realizó un estudio del recurso hídrico superficial (aproximadamente se monitoreó 27.800 ha). Se evaluó cantidad y calidad de agua en 5 captaciones y 8 puntos de muestreo. Los resultados arrojaron en general agua de buena calidad, apta para el consumo humano, con valores de parámetros permitidos por el Tratado Unificado de Legislación Ambiental Secundaria del Ecuador (T.U.L.A.S).

Por otra parte, formando los sistemas lénticos encontramos tres lagunas estacionarias: Mojanda Grande (Caricocha), Mojanda Chica (Huarmicocha) y laguna Negra (Yanacocha) con una composición típica de origen glaciar aunque también pueden existir otras lagunas temporales.⁵

La importancia de este sistema lacustre y otras vertientes radica en que son la única fuente de agua para consumo humano para todo el cantón Pedro Moncayo y para tres parroquias de Otavalo. Por ejemplo del desfogue natural de la laguna Chiriacu se abastece el sistema principal de agua del cantón Pedro Moncayo que cubre más del 90% del servicio actual de las cinco parroquias que lo conforman; de la laguna grande se abastecen comunidades de tres parroquias pertenecientes al cantón Otavalo. La población beneficiaria del agua alcanza a un total de 36.000 habitantes, 25.500 en Pedro Moncayo y 10.500 en Otavalo. Al ser esta zona la única fuente que abastece los sistemas de agua potable, su conservación tiene mucha importancia en la política local (Proyecto Páramo Andino, sin fecha). Además, es importante anotar que el agua contenida en las lagunas tiene un índice WQI de 0,81 es decir, agua de buena calidad.

4.4.4 Geomorfología y suelos

Existen varias clasificaciones que se le puede dar a los suelos de un lugar dependiendo del o los autores que la elaboren. A continuación se citará a los autores que han establecido empleado una clasificación para los suelos del páramo de Mojanda.

Con base en el mapa de suelos para la región Sierra del Ecuador realizado por el MAG/SIGAGRO que trabajó con la clasificación del USDA (United States Department of Agriculture), los suelos ubicados en el páramo de Mojanda pertenecerían al Orden Inceptisol en su mayor porcentaje; es decir, encontramos suelos con débil desarrollo de horizontes, suelos volcánicos recientes, zonas recientemente deglaciadas (EcoCiencia, 2008).

Según la memoria explicativa del mapa de suelos del Ecuador Gonzalez et al. (1986), el suelo del páramo de Mojanda corresponde a varias clases:

- 1) suelos del orden Mollisol que se caracterizan por ser de color negro y con abundante materia orgánica y cubren el 30% de este páramo.
- 2) suelos del orden Entisol, caracterizados por su escaso desarrollo y cubre el 5% del lugar.
- 3) suelos del orden Inceptisol, considerados inmaduros en su evolución se ubican desde las zonas altas de este páramo hacia los sectores de Tocachi y Malchingui y cubre el 65% de la superficie de esta zona.

Según Thorp, Baldwin y Kellog (1938,1949) ciertos lugares de la zona de estudio estarían dentro de la clasificación de turberas "Terreno encharcado con abundante vegetación y exceso de materia orgánica. Suelo ácido"⁶.

⁵ www.pedromoncayo.gob.ec

⁶ <http://platea.pntic.mec.es>

4.4.5 Materia orgánica en suelo

El suelo está formado por partículas de material mineral como arena, limo y arcilla pero, también se encuentra conformado por partículas de materia orgánica, la cual está compuesta por restos de origen biológico (Alvarado, 2012).

Además, las bajas temperaturas que caracterizan la zona, permiten la reducción de las tasas de descomposición de materia orgánica (MO), lo que ubica a estos suelos como una de las mayores reservas de carbono a nivel mundial. Por lo tanto, desde el punto de vista del carbono en los páramos, la conservación de la vegetación tiene una importancia secundaria vs. la conservación del suelo (Sevink, 2009). Además, las turberas acumulan carbono cumpliendo una función importante como reguladores bioquímicos (Hofstede et al., 2003).

La materia orgánica es un indicador importante de la calidad del suelo, tanto en sus funciones agrícolas como ambientales, tal como la captura de carbono y calidad del aire.

4.4.6 Contenido de Carbono

En cuanto al análisis de materia orgánica del suelo, ésta implica la estimación del contenido de carbono. Debido a que el carbono participa con el 58% de la materia orgánica aproximadamente (Fassbender, 1993).

El carbono orgánico en suelo (COS) se tiene en cuenta para procesos de mitigación del cambio climático ya que el suelo es un sumidero y reservorio de carbono. El contenido de carbono en el suelo depende de varios factores naturales asociados a procesos naturales como la formación del mismo. Sin embargo, estas cantidades se pueden ver modificadas por diferentes usos y manejos que se le otorgue al suelo (Alvarado, 2012).

4.4.7 Mercado de Carbono

Es un mecanismo financiero en donde se comercializan las emisiones reducidas, generando ganancias económicas, ambientales y sociales a los participantes. Estas emisiones reducidas son vendidas a los países industrializados, quienes tienen metas voluntarias u obligatorias de reducción de emisiones (Alvarado 2012).

4.4.8 Vegetación

Las condiciones climáticas mencionadas anteriormente y los diversos factores geográficos de la zona han contribuido a diversas formaciones vegetales en Mojanda: páramo Herbáceo, el Bosque Siempre Verde Montano Alto y Matorral Húmedo Montano (Baquero et al., 2004 y Sierra, 1999).

En cuanto a la cobertura vegetal, ésta es muy variada desde páramo de pajonal hasta bosque natural y plantado pasando por pastizales y arbustos.

Concretamente en la zona del humedal, el páramo de Mojanda está caracterizado por la vegetación de las turberas o bofedales que se la reconoce por tener especies adaptadas a la alta humedad como las asociaciones de plantas llamadas “almohadillas”.

4.4.9 Aspecto social y cultural

El páramo de Mojanda y su sistema hidrológico se han convertido en la principal fuente para la obtención del recurso hídrico, abasteciendo a 36.000 personas (Castañeda, 2008). La dinámica social del sector ha dado lugar al apareamiento de paisajes agropecuarios que contribuyen a las actividades económicas del sector (EcoCiencia, 2008).

Armijos (2014), manifiesta en su estudio que existe un incremento en los conflictos por el acceso a los recursos hídricos y un claro ejemplo lo constituye la zona de Mojanda. Sin embargo, cada vez se evidencia que las comunidades se organizan a través de Cabildos, Juntas Administradoras de Agua y otras asociaciones comunitarias para realizar acciones enfocadas a la conservación como zanjas corta-fuegos, cercas para controlar la entrada del ganado a ciertos lugares y campañas para la limpieza y mantenimiento del ecosistema especialmente en lugares accesibles al turismo.

Además de los servicios ambientales mencionados anteriormente, existen otros relacionados con un invaluable patrimonio cultural para las comunidades del sector. Estos ecosistemas altoandinos son espacios de riqueza cultural por los mitos, leyendas, rituales religiosos y de sanación que se han desarrollado a partir de éstos y que deben ser tomados en cuenta para el manejo del espacio natural. Además, estos espacios que sirven para la recreación y los deportes al aire libre y posee efectos terapéuticos sobre el bienestar mental y físico de las personas (De Groot et al., 2007).

En el páramo de Mojanda existen varios servicios culturales que vale mencionar pues son importantes porque aunque no son objeto de estudio están fuertemente ligados a este lugar.

La alta montaña andina ha sido habitada desde hace milenios por una variedad de culturas indígenas las cuales, dependen directamente de este ecosistema ya que les provee de alimentos, fibras vegetales, combustibles, abono, minerales y otros.

Además, otro aporte importante de los humedales altoandinos está ligado a un significado mítico religioso, en particular, a los lagos, ya que muchos de ellos son considerados sagrados y ha dado lugar a la existencia de normas comunales para su respetuosa utilización.

La diversidad de hábitats: colinas, depresiones, riachuelos, lagunas, pantanos, crestas, etc. contribuyen al valor paisajístico de Mojanda. Este abanico visual, sumado a la variedad de flora y fauna, contribuyen para que este sector sea visitado por varios turistas cada año los cuales, desarrollan una serie de actividades al aire libre.

4.5 Marco Legal

Con la finalidad de darle un respaldo jurídico al presente estudio se buscó un sustento de carácter legal el cual, rige las acciones relacionadas con ecosistemas frágiles (humedales altoandinos), el recurso hídrico y mitigación del cambio climático mediante servicios ambientales en el país.

Como punto de partida se encuentra la vigente **CONSTITUCIÓN DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR** que dictamina lo siguiente:

Art. 12.- “El derecho humano al agua es fundamental e irrenunciable. El agua constituye patrimonio nacional estratégico de uso público, inalienable, imprescriptible, inembargable y esencial para la vida”.

Art. 411.- “El Estado garantizará la conservación, recuperación y manejo integral de los recursos hídricos, cuencas hidrográficas y caudales ecológicos asociados al ciclo hidrológico. Se regulará toda actividad que pueda afectar la calidad y cantidad de agua, y el equilibrio de los ecosistemas, en especial en las fuentes y zonas de recarga de agua...”

Art. 406.- “El Estado regulará la conservación, manejo y uso sustentable, recuperación, y limitaciones de dominio de ecosistemas frágiles y amenazados; entre otros, los páramos, humedales, bosques nublados, bosques tropicales secos y húmedos y manglares, ecosistemas marinos y marino-costeros.”

Art. 414.- “El Estado adoptará medidas adecuadas y transversales para la mitigación del cambio climático, mediante la limitación de las emisiones de gases de efecto invernadero, de la deforestación y de la contaminación atmosférica; tomará medidas para la conservación de los bosques y la vegetación, y protegerá a la población en riesgo.”

Ecuador, cuenta además con la **LEY DE GESTIÓN AMBIENTAL** que hace referencia al uso racional de los recursos naturales para un desarrollo sustentable.

Art. 6.- “ El aprovechamiento racional de los recursos naturales no renovables en función de los intereses nacionales dentro del patrimonio de áreas naturales protegidas del Estado y en ecosistemas frágiles, tendrán lugar por excepción previo un estudio de factibilidad económico y evaluación de impactos ambientales.”

Dentro de la Ley de Gestión Ambiental se menciona a la Ley del Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología, que en su artículo 17 propone:

Art. 17.- literal (s) “ Financiar y promover la investigación científica y tecnológica que permita, prevenir, controlar y reponer el deterioro ambiental; y, desarrollar tecnologías alternativas, métodos, sistemas, equipos y dispositivos, que aseguren la protección del medio ambiente, el uso sustentable de los recursos naturales y el empleo de energías alternativas.”

Además, la **LEY ORGÁNICA DE RECURSOS HÍDRICOS, USOS Y APROVECHAMIENTO DEL AGUA** aprobada por la Asamblea Nacional del Ecuador el 6 de agosto del 2014, reza en el **Art. 8.- literal 2.** “...El Estado y sus Instituciones son los responsables de velar por la conservación y manejo sustentable de los ecosistemas marino costeros y alto-andinos, en especial páramos y todos los ecosistemas que almacenan agua, y el mantenimiento de los procesos ecológicos esenciales que proveen el agua en cantidad y calidad...”

Art. 158.- Literal 2.- “Recuperar y promover la Investigación y el conocimiento científico del Ciclo Hidrológico y la recolección de datos hidrológicos y meteorológicos. **Literal 3.-** “Formular balances hídricos que permitan la distribución equitativa del agua, según su disponibilidad y demanda, para usos y aprovechamiento.”

En el 2008 se crea en el Ecuador la **Política de Ecosistemas Andinos del Ecuador**, la cual promueve una serie de estrategias orientadas a la conservación de los páramos y

humedales, una de las políticas específicas señala que el “Estado dentro del proceso de descentralización impulsa la creación e implementación de unidades de coordinación en gobiernos locales que dentro de su jurisdicción dispongan de humedales altoandinos con la finalidad de desarrollar un sistema de gestión integral de humedales que contribuya al suministro de bienes y servicios ambientales y la conservación de la biodiversidad asociada”.

Para el manejo y conservación de los humedales altoandinos se han planteado dos políticas básicas que fortalecen estas acciones.

Política No. 1: “El Estado reconoce la importancia de los humedales altoandinos por los bienes y servicios ambientales que provee a las poblaciones rurales y de las ciudades, además por las características de valor intrínseco, por las condiciones de fragilidad y por ser importante componente para la economía local, regional y nacional; en este sentido promueve iniciativas locales regionales y nacionales que favorezcan la conservación del humedal y el uso sostenible del agua, generando para lo cual alternativas sustentables fuera del humedal que garanticen beneficios a largo plazo a las poblaciones locales que dependen de éstos”.

Política No. 2: “El Estado dentro del proceso de descentralización impulsa la creación e implementación de unidades de coordinación en gobiernos locales que dentro de su jurisdicción dispongan de humedales altoandinos con la finalidad de desarrollar un sistema de gestión integral de humedales que contribuya al suministro de bienes y servicios ambientales y la conservación de la biodiversidad asociada”.

Como se mencionó en el Capítulo I, Ecuador forma parte de **la Estrategia Regional de Humedales Altoandinos (2005-2015)**. Ésta propuso una gestión participativa donde se integren todas las organizaciones involucradas y actores clase relacionados a cada humedal. La Estrategia se maneja con seis objetivos con los cuales se busca el conocimiento científico y técnico además de los bienes y servicios de los humedales.

5. RESULTADOS-DISCUSIÓN

5.1 Identificación y Selección de Puntos de Muestreo

La fase de campo se realizó en noviembre del 2014 (coincidente con el inicio de la época lluviosa), se verificó dentro del páramo de Mojanda la presencia de dos tipos de humedales altoandinos: el complejo de lagunas permanentes (humedal lacustre) y los bofedales o turberas (humedal palustre) como se muestra en la Figura 5-1. Posteriormente, se realizó un recorrido del área de los bofedales que sirvió para escoger los dos Escenarios propuestos en la metodología y verificar la escala de intervención antrópica mediante la observación directa y comparación con los mapas observados en gabinete.



Figura 5-1: Humedales altoandinos en el páramo de Mojanda.

Una vez realizada la verificación en la fase de campo se ubicó los dos Escenarios planteados inicialmente como se observa en La Figura 5-2.

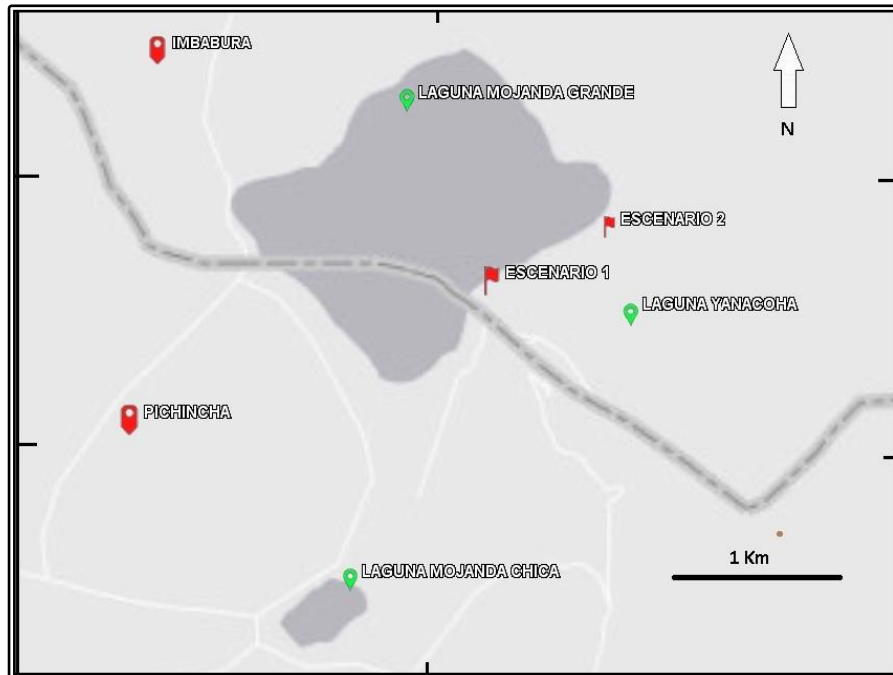


Figura 5-2: Ubicación de los dos Escenarios propuestos dentro de Mojanda.

En las Figuras 5-3 y 5-4 es posible observar la diferencia que existe entre los dos Escenarios escogidos.



Figura 5-3: Escenario 1, alto grado de intervención antrópica.



Figura 5-4: Escenario 2, bajo grado de intervención antrópica.

Después de la selección de los dos Escenarios se procedió con la delimitación de los mismos a través de la toma de puntos con un GPS para poder establecer las áreas correspondientes. Además, se llevó a cabo una breve descripción de cada uno como se detalla en las tablas 5-1 y 5-2

Tabla 5-1: Características del bofedal intervenido (Escenario 1). Elaboración propia

Código	Fecha	Altitud (m.s.n.m.)	Coordenadas	Descripción
P1 Mojanda	14-11-29	3.729	00°08'01'' N 78°15'45,5'' W	El área del bofedal fue de 6.196,98 m ² . Es el bofedal más cercano a la laguna Grande de Mojanda. Suelo con almohadillas, partes con pajonal y con presencia de especies vegetales características de páramo y humedales altoandinos. Grado alto de intervención humana por el desarrollo de actividades turísticas propias del sector como caminatas, ascensiones a montañas, pesca deportiva, acampada y paseos en bote. También se observó compactación del suelo y parches pequeños sin vegetación.

Tabla 5-2: Características del bofedal poco intervenido (Escenario 2). Elaboración propia

Código	Fecha	Altitud (m.s.n.m.)	Coordenadas	Descripción
P2 Mojanda	14-11-29	3.742	00°08'13.8"N 78°15'18.6"W	El área del bofedal fue de 13.235,78 m ² . Presentó un grado bajo de intervención humana por su difícil accesibilidad. Se observó una cubierta vegetal característica de una turbera, zonas de vegetación cubiertas por agua, formación de almohadillas presentes, escasa pendiente, zonas aledañas con vegetación arbustiva.

Como parte fundamental para el reconocimiento de turberas tropicales en el sector de Mojanda también se tomó en cuenta el componente botánico para el cual, se realizó un inventario fotográfico rápido de la vegetación característica.

Los resultados de la flora de los bofedales se muestran en las Tablas 5-3 y 5-4.

Tabla 5-3: Caracterización de la flora (Escenario 1). Elaboración propia

Familia	Especie
Rosaceae	<i>Lachemilla orbiculata</i> (Ruiz & Pav.) Rydb.
Asteraceae	<i>Asteraceae</i> sp.
Hypericaceae	<i>Hypericum laricifolium</i> Juss
Violaceae	<i>Viola</i> sp.
Asteraceae	<i>Senecio</i> sp.

Tabla 5-4: Caracterización de la flora (Escenario 2). Elaboración propia

Familia	Especie
Plantaginaceae	<i>Plantago</i> sp.
Asteraceae	<i>Loricaria thuyoides</i> (Lam.) Sch. Bip.
Poaceae	<i>Calamagostris</i> sp.
Rosaceae	<i>Lachemilla orbiculata</i> (Ruiz & Pav.) Rydb.
Gentianaceae	<i>Gentiana</i> sp.

Complementando la información anterior, las Figuras 5-5 y 5-6 muestran el registro visual de las especies vegetales obtenido en el campo.

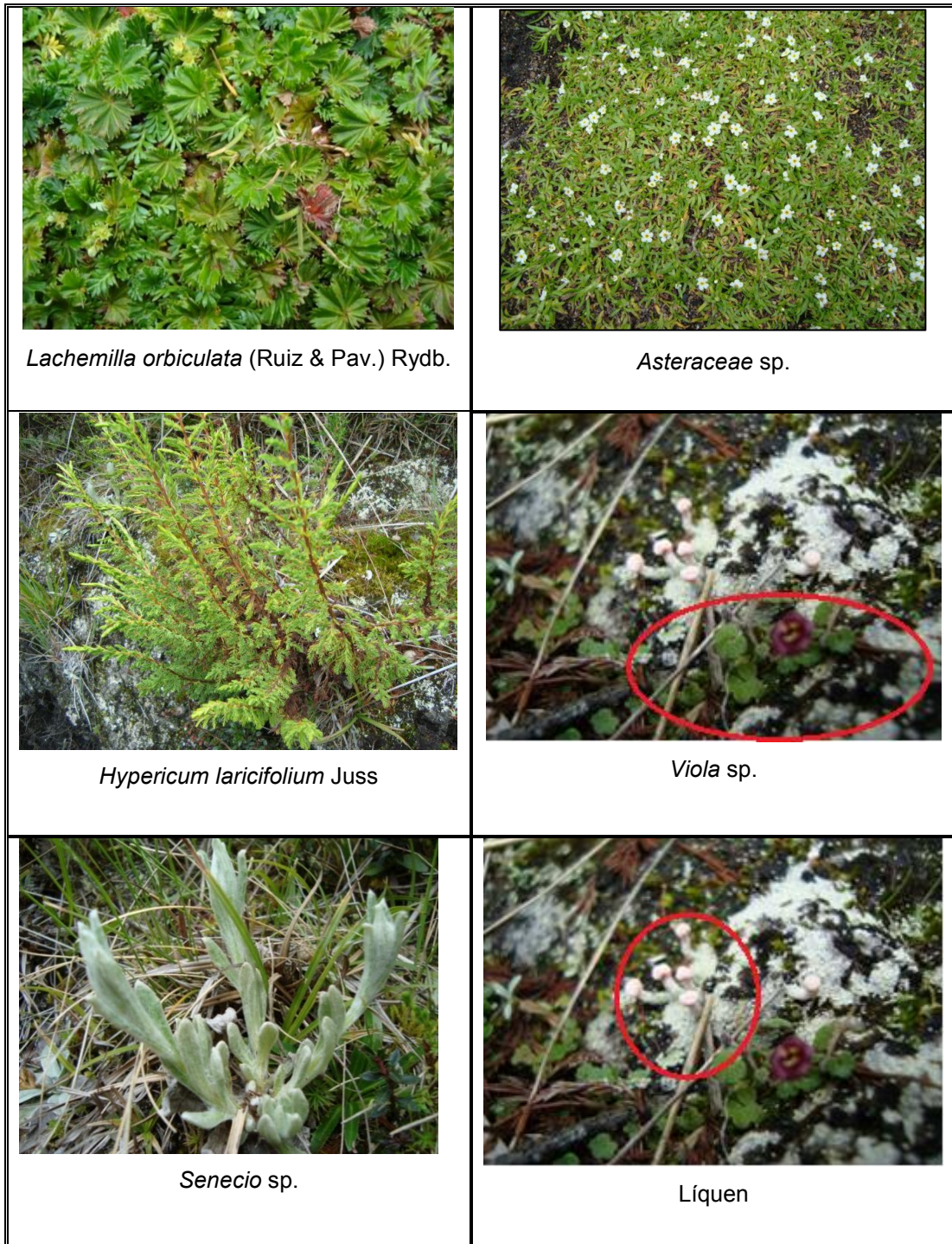


Figura 5-5: Flora del Escenario 1.



Figura 5-6: Flora del Escenario 2 (almohadillas⁷).

Para Alm (2004), la flora de ambos Escenarios corresponde a plantas xerófilas es decir, plantas que se desarrollan sobre los 3.000 m.s.n.m., están adaptadas a las bajas temperaturas y han desarrollado ciertas estructuras que les han permitido adaptarse al clima de páramo como es el caso del género *Senecio*.

Como muestra la Figura 5-6, en el Escenario 2 se encontró pajonales (*Calamagrostis* sp.), los cuales según Buytaert (2006), contribuyen a una baja transpiración permitiendo retener agua en el suelo y en adición se encontró abundantes almohadillas, las cuales aumentan la capacidad de retener y almacenar el agua en el suelo.

5.2 Oferta Hídrica

El primer paso para determinar la Oferta Hídrica fue obtener datos de precipitación y temperatura del sector. Para esto, se verificó las estaciones meteorológicas del INAMHI cercanas al área de estudio utilizando las coordenadas respectivas y trasladándolas al programa Google earth como se observa en la Figura 5-7.

⁷ Almohadillas: agrupaciones de varias especies de plantas, musgos, helechos e incluso líquenes, las especies más comunes de esta formación vegetal son: *Lachemilla orbiculata*, *Plantago* sp. *Calamagrostis* sp., *Genitana* sp. *Halenia* sp.

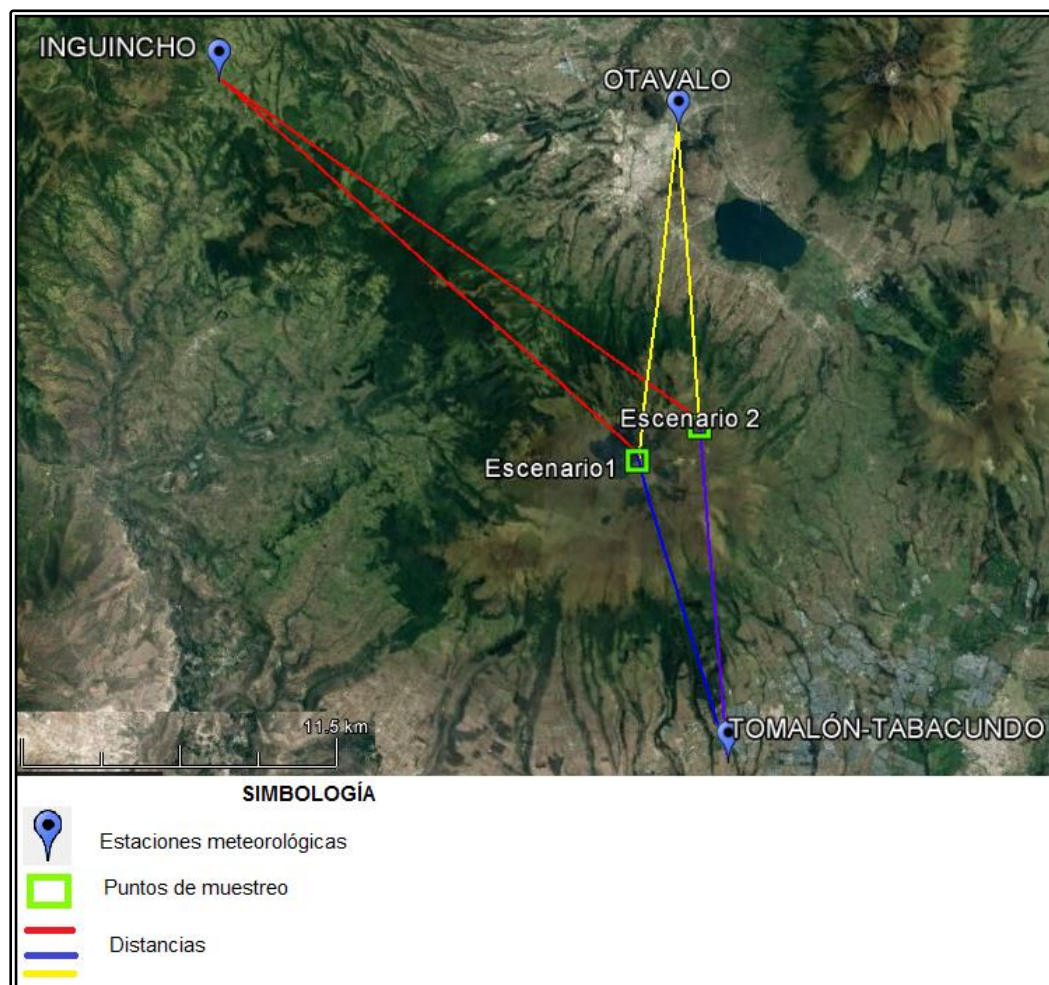


Figura 5-7: Estaciones meteorológicas. Ubicación geográfica.

Se ubicaron en total tres estaciones meteorológicas cercanas a la zona de estudio cuyas características generales a los puntos de muestreo se describen en la Tabla 5-5. Para obtener las distancias de las estaciones a los puntos de estudio se realizaron mediciones con las herramientas del programa Google earth.

Tabla 5-5: Datos generales de las estaciones meteorológicas. **Fuente:** INAMHI, 2017

Nombre	Inguincho	Otavalo	Tomalón-Tabacundo
Código	M-0001	M-105	M-1094
Provincia	Imbabura	Imbabura	Pichincha
Latitud	0,258333	0,243333	0,033333
Longitud	-78,400833	-78,25000	-78,233333
Altitud (m)	3.140	2.550	2.790
Distancia al Escenario 1 (Km)	20,7	12,8	11,6
Distancia al Escenario 2 (Km)	21,8	11,01	11,8

Luego, se calcularon los estadísticos descriptivos básicos de precipitación de las tres estaciones meteorológicas durante el mismo período de tiempo (1990-2015) es decir, durante 25 años como se muestra en la Tabla 5-6.

Tabla 5-6: Estadísticos descriptivos de la serie de precipitaciones (mm).
Período (1990-2015). Elaboración propia.

Nombre	Inguincho	Otavalo	Tomalón-Tabacundo
Media anual	1.255,68	896,42	639,54
Máximo	1.876,3	1.254,2	846
Mínimo	785,1	530,7	409,5
Desviación estándar	290,32	215,26	127,59
Coefficiente de variación (%)	23,115	24,014	18,36

Se observó los valores del coeficiente de variación de las tres estaciones para conocer la homogeneidad de datos. La estación Tomalón-Tabacundo obtuvo el menor valor lo cual fue un indicador de una mayor homogeneidad de datos para la estación.

Adicionalmente al análisis de las distancias de las estaciones meteorológicas que sirvió para constatar cercanía a los puntos de muestreo, se realizó gráficos con las series cronológicas de precipitaciones de las tres estaciones más cercanas como se observa en las Figuras 5-8, 5-9 y 5-10 lo que permitió determinar con mayor precisión qué datos se debían tomar en cuenta para el cálculo de la Oferta Hídrica.

Observando las Figuras 5-8 y 5-9 se puede apreciar que las estaciones más cercanas al área de estudio (Tomalón-Tabacundo y Otavalo) presentan rangos anuales de precipitación similares que se ubican entre 600 mm y 1.000 mm de precipitación y con valores medios que van desde los 639 mm hasta los 896 mm aproximadamente.

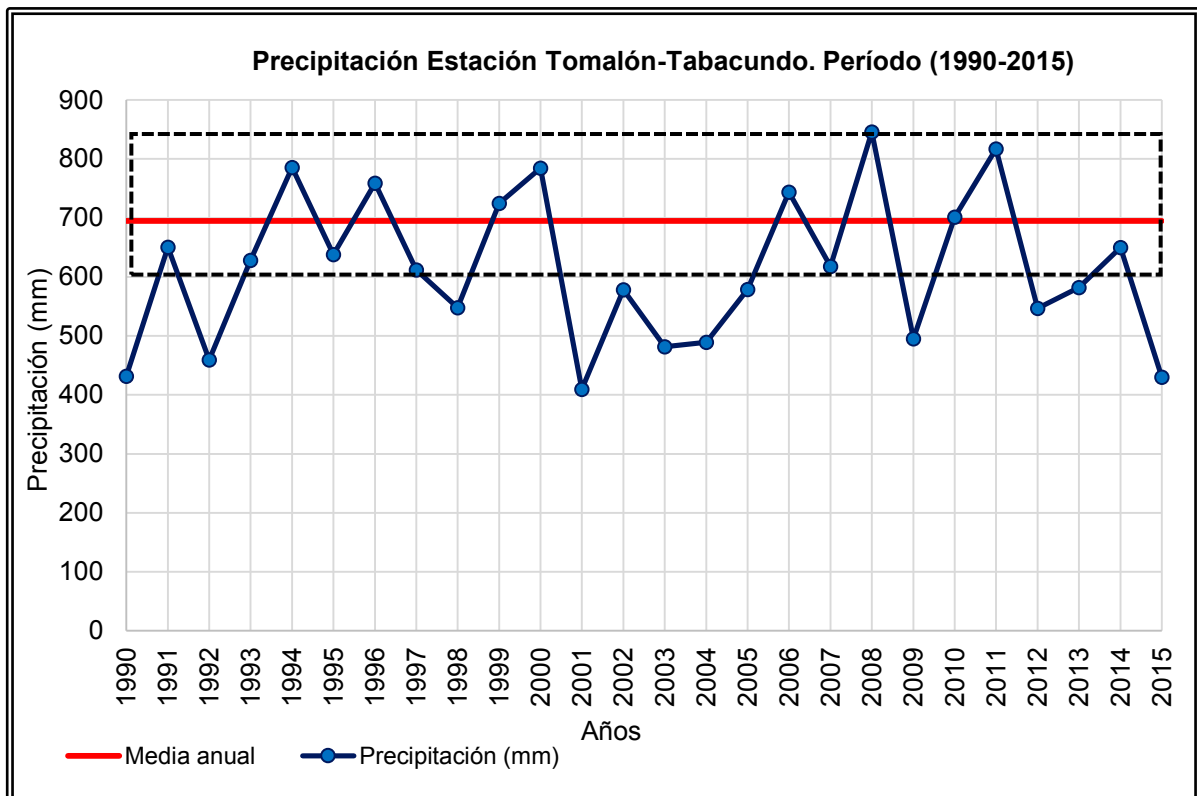


Figura 5-8: Precipitación Estación Tomalón-Tabacundo.

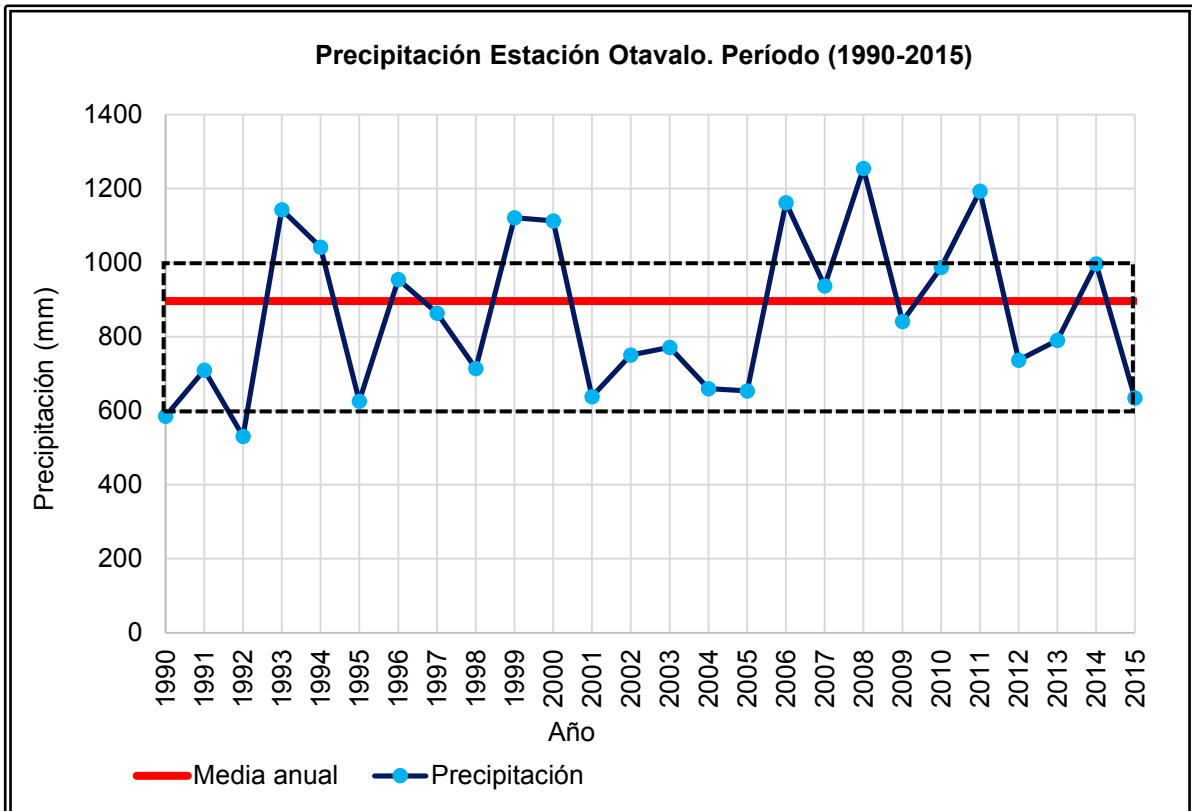


Figura 5-9: Precipitación Estación Otavalo.

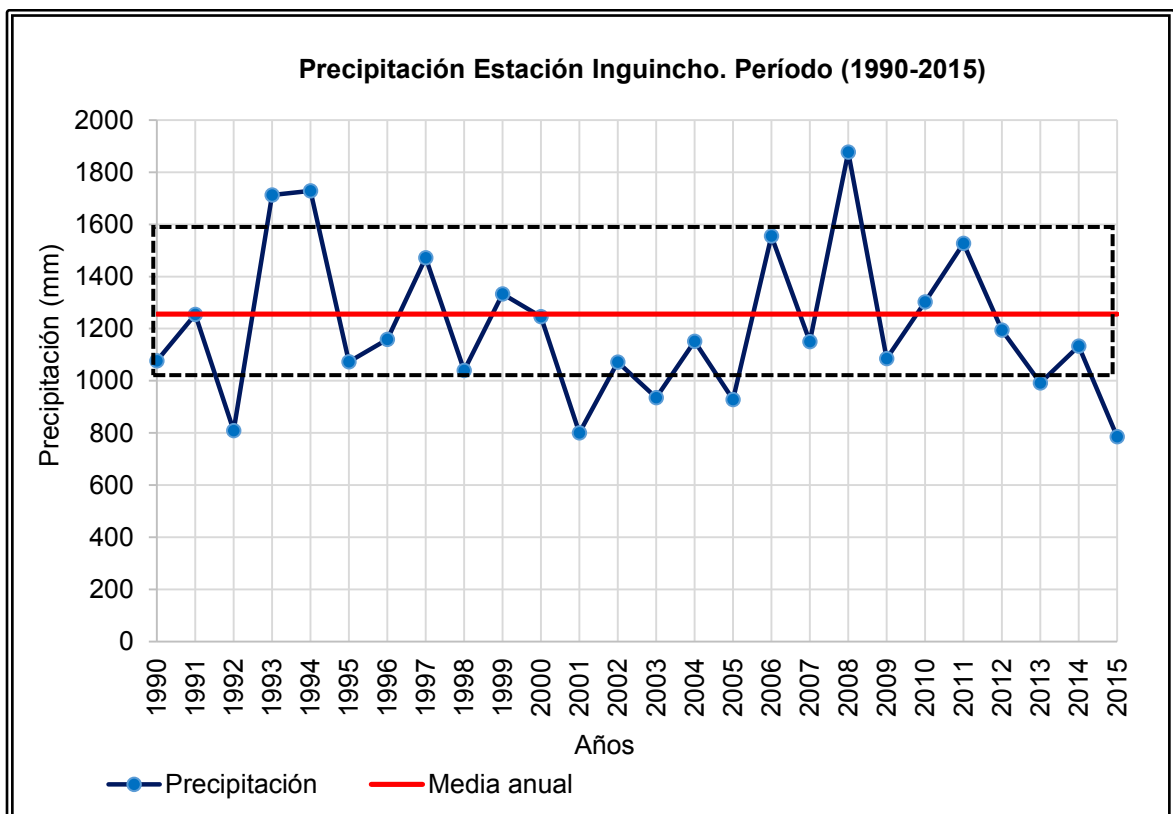


Figura 5-10: Precipitación Estación Inguincho.

La Figura 5-10 muestra que la estación más lejana (Inguincho) a los Escenarios de estudio arrojó valores de precipitación entre 1.000 y 1.600 mm es decir, valores mucho más altos en comparación con las dos estaciones meteorológicas más cercanas. Dado que la misma se encuentra a prácticamente el doble de distancia de las otras estaciones (respecto a los mencionados escenarios) y a una relevante mayor altitud, los datos de esta estación no fueron incorporados al cálculo.

La temperatura ambiental fue otra variable que se tomó en cuenta para determinar la Oferta Hídrica por lo que, se calcularon los estadísticos básicos de esta variable con los datos históricos de las tres estaciones meteorológicas más cercanas al área de estudio como se observa en la Tabla 5-7.

Tabla 5-7: Estadísticos descriptivos de temperatura (°C). Período (1990-2015). Elaboración propia.

Nombre	Inguincho	Otavaló	Tomalón-Tabacundo
Media anual	10,4	13,6	14,9
Máximo	12,0	16,2	17,2
Mínimo	8,7	13,6	13,3
Desviación estándar	0,54	0,49	0,70
Coeficiente de variación (%)	5,21	3,35	4,69

La estación Otavaló obtuvo el menor coeficiente de variación, seguido por la estación Tomalón-Tabacundo lo cual indicó datos con mayor homogeneidad y menor dispersión. Además, las variaciones de temperatura en las estaciones Otavaló y Tomalón-Tabacundo no son significativas ya que su amplitud (diferencia entre los máximos y mínimos) está alrededor de 3 °C.

Adicionalmente, se calculó las temperaturas medias mensuales y anuales de las estaciones Inguincho, Otavaló y Tomalón-Tabacundo como muestra la Tabla 5-8.

Tabla 5-8: Temperatura media mensual y anual (°C). Período (1995-2015). Elaboración propia.

Meses	Ene Feb Mar Abr May Jun Jul Ago Sep Oct Nov Dic Anual												
	INGUINCHO	10,4	10,3	10,5	10,6	10,7	10,3	10,1	10,2	10,4	10,6	10,5	10,5
OTAVALO	14,7	14,6	14,8	14,9	14,8	14,6	14,3	14,4	14,7	15,0	15,0	14,9	14,7
TOMALÓN-TABACUNDO	14,7	14,7	14,7	14,7	14,9	15,1	15,1	15,4	15,3	15,1	14,8	14,7	14,9

En la Figura 5-11 se representó las temperaturas medias mensuales registradas en la Tabla 5-8 y se observó que las variaciones mensuales de temperatura de las estaciones Otavaló y Tomalón-Tabacundo son similares. Mientras que, los datos de la estación Inguincho, la más lejana al área de estudio, presentó valores muy diferentes.

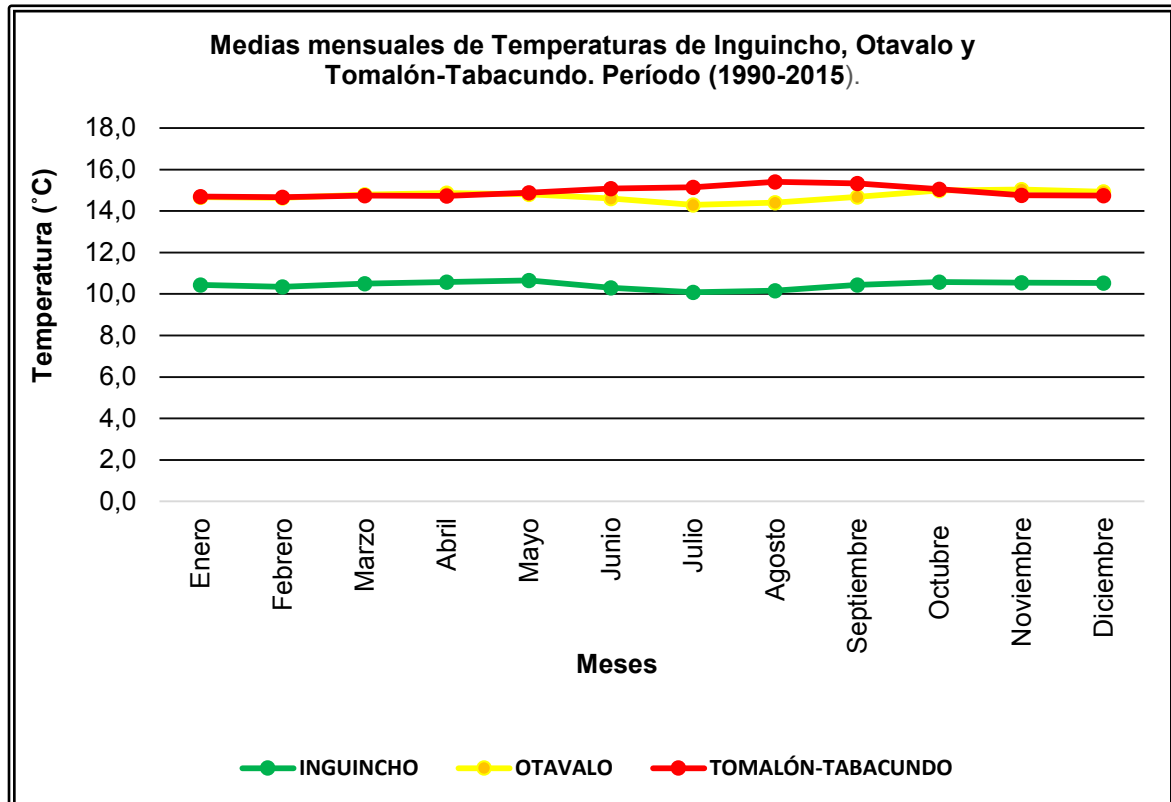


Figura 5-11: Medias mensuales de Temperaturas.

Por lo tanto y tomando en cuenta las consideraciones descriptas con anterioridad, se procedió a trabajar con los valores de precipitación y temperatura de la estación meteorológica Tomalón-Tabacundo.

Estación meteorológica Tomalón-Tabacundo

En la Figura 5-12 se muestran los valores de precipitación y temperatura anuales correspondientes al período 1990-2015. Se calculó una media de temperatura de 15°C, los valores que se encuentran por debajo de la media fueron coincidentes con valores altos de precipitación registradas en los años 1999, 2000 y 2008. El caso particular se registró en el 2011, pese a no tener una temperatura tan baja el valor de precipitación es alto.

Por otro lado, la Figura 5-12 permitió observar que las temperaturas más altas es decir, las que están sobre la media no siempre corresponden a los períodos de precipitación más bajos; a excepción de los años 1990, 1992, 2001 y 2015 en donde sí se observa una relación inversamente proporcional, a mayor temperatura menor precipitación. El caso que saltó a la vista es el 2015, en donde se observa un repunte de la temperatura con precipitaciones muy bajas.

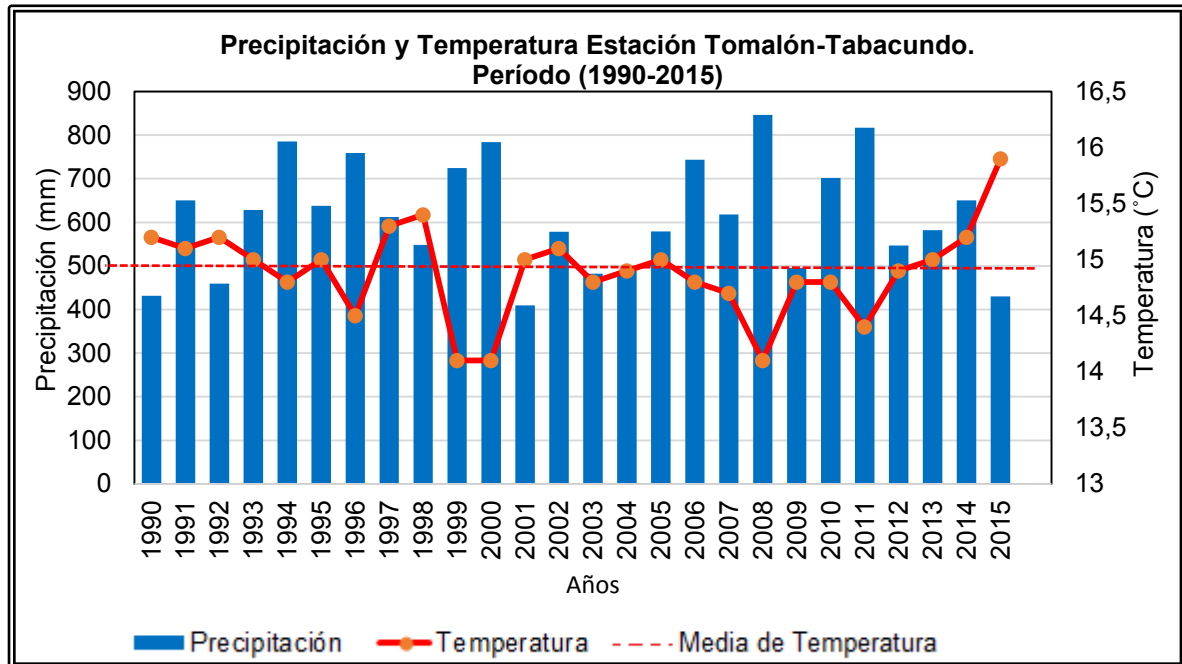


Figura 5-12: Precipitación y temperatura. Estación Tomalón-Tabacundo.

Adicionalmente se realizó un Diagrama Ombrotérmico de Gausson con las variables de temperatura y precipitación de la estación Tomalón-Tabacundo. En la Figura 5-13 se observa una temperatura media con muy pocas variaciones a lo largo de los meses del período estudiado (1990-2015). El aumento de temperatura es ligeramente mayor en los meses que presentaron una disminución del nivel de precipitación, es decir, desde junio hasta septiembre sería considerado como un período de escasa pluviosidad pero no de ausencia de la misma.

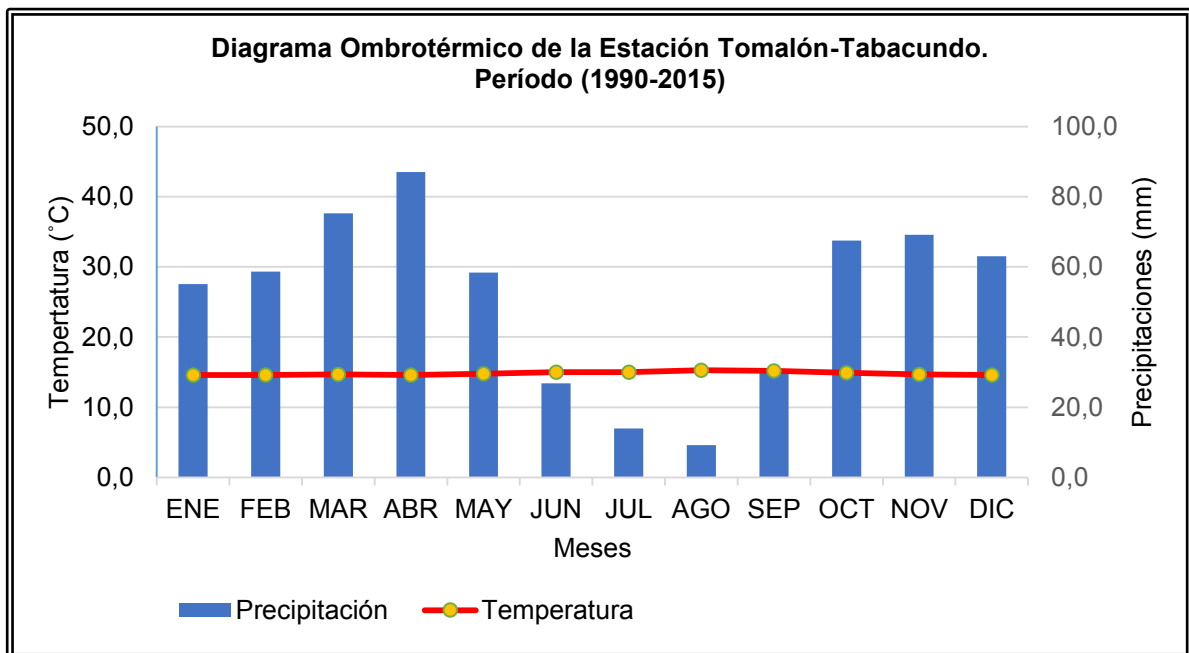


Figura 5-13: Diagrama Ombrotérmico.

Recopilando todo lo anteriormente desarrollado para el cálculo de la Oferta Hídrica se consideraron los niveles de precipitación presentes en la cuenca, así como la estimación de la evapotranspiración. Seguidamente se presentan las estimaciones correspondientes:

Precipitación promedio

En términos generales se estimó el rango de precipitación anual que varía desde los 410 hasta los 846 mm, dando un promedio de **639 mm**.

Estimación de la evapotranspiración potencial

Para la posterior aplicación de la ecuación [3-6] que permite el cálculo de la evapotranspiración real, fue necesario antes estimar la biotemperatura media anual, la cual fue obtenida previamente del análisis de los valores de las estaciones meteorológicas, resultando un valor de **15 °C**. Con este insumo se calculó la evapotranspiración potencial con la ecuación [3-1] dando un valor de 883,95 mm/año.

Relación entre la evapotranspiración potencial y la real

Posteriormente, se desarrolló la ecuación [3-2], cuyo resultado fue:

$$RE = 1,38$$

Tomando en cuenta el valor de RE se aplicó la ecuación [3-3] cuyo valor final fue:

$$F = 0,513$$

Cálculo de la evapotranspiración real

Finalmente aplicando la ecuación [3-6] se obtuvo:

$$EVT_R = 453,47 \text{ mm}$$

Una vez que se lograron obtener todos los insumos previos se procedió al cálculo de la Oferta Hídrica total y disponible para el Escenario 1 y 2.

Empleando la ecuación [3-7] para el cálculo de la Oferta Hídrica total en el Escenario 1 se obtuvo un valor de 3.959,87 m³/año y para el Escenario 2 el valor fue de 8.457,66 m³/año

Finalmente aplicando la ecuación [3-8] para el cálculo de la Oferta Hídrica disponible, para el escenario 1 dio un valor de **1.149,72 m³/año** y para el Escenario 2 un valor de **2.455,63 m³/año**.

En términos generales, comparados los resultados obtenidos con estudios realizados en otras zonas del páramo del Ecuador donde fue posible constatar la oferta hídrica disponible respecto del área real del bofedal, por ejemplo los de Oña-Saraguro-Yacuambi con 417.000 m³/año de OHD y 218 ha de bofedal (Castro, 2011), los valores obtenidos han sido del mismo orden de magnitud, esto es, 1.800 a 1.900 m³/ha año.

Al transformar la evapotranspiración anual a mm/día se obtuvo un valor de 1,24 mm/día el cual se encuentra dentro del rango de las estimaciones realizadas para el páramo, cuyos valores median entre 1 mm/día y 1,5 mm/día (Hofstede, 1995; Buytaert, 2004). Estos valores se estiman como bajos debido a que la vegetación de este ecosistema tiene un metabolismo bajo, lo que a su vez se asocia con un mínimo consumo de agua y por lo tanto una baja transpiración (Buytaert, 2006).

Además, la presencia de pajonales y hierbas xerofíticas que se constataron existen en la zona de estudio tienen características de baja evaporación, a pesar de la radiación alta en esta altura y altitud (De Bièvre et al., 2006). Al parecer la estructura compleja de esta vegetación garantiza la protección del suelo y a su vez la captura de neblina (Hofstede et al., 2014). Para Buytaert (2004), la presencia de pajonales y hierbas xerofíticas contribuyen a reducir la evaporación, a pesar de la alta radiación de la zona de los páramos. (Hofstede, 1995; Buytaert, 2006)

Por otro lado, si comparamos el valor de evapotranspiración obtenido como resultado de este estudio con los registrados en los páramos del Frente Sur Occidental de Tungurahua (405,77 mm) y los páramos de Oña-Nabón-Saraguro-Yacuambi en la provincia del Azuay (313,77 mm); el valor de la evapotranspiración obtenido para la zona de estudio en Mojanda resultó ser mayor.

El área de estudio si bien pertenece a una zona de páramo tiene una característica un tanto particular que es su cercanía a la línea ecuatorial (latitud 0°). Para Llambi et al. (2012) la cantidad de radiación en zonas cercanas a la línea ecuatorial por metro cuadrado es mayor que en otras zonas de alta montaña. Además, la temperatura media del aire calculada en la zona de estudio fue de 15 °C siendo que, en los páramos ecuatoriales (más alejados de la línea ecuatorial) en donde se llevó la misma metodología el valor promedio de temperatura estuvo entre 7 y 10 °C.

Si bien la variación de la evapotranspiración no necesariamente sigue un patrón geográfico. Mena y Hofstede (2006), califican el estado de conservación del páramo como un mosaico de estados (desde bien conservado hasta degradado) que influye en la hidrología del mismo. Por otro lado Coppus et al. (2001), manifiesta que los estudios han demostrado que sí hay un patrón de conservación y se constituye en una “C invertida” es decir, los páramos del norte, sur y oriente están en un mejor estado de conservación que los páramos centrales y occidentales.

Ambos Escenarios muestreados se encuentran en una zona de vegetación natural según el mapa de usos del suelo del 2008 realizado por EcoCiencia, mediante las visitas de campo se pudo constatar que el grado de conservación es diferente para los Escenarios objetos de estudio pues, se observó la existencia de varios lugares con intervención de actividades antrópicas enfocadas al turismo que han ocasionado básicamente la pérdida de cobertura vegetal en el Escenario 1.

Otro factor importante que contribuye al aumento de un suelo desnudo en el páramo de Mojanda son los incendios. Uno de los últimos impactos en este sector ocurrió en el 2014, en donde se contabilizó 1.069 hectáreas que quedaron reducidas a cenizas. De ellas 526 están ubicadas en el cantón Quito y 483 en el cantón Pedro Moncayo, en Pichincha y 60 hectáreas en el cantón Otavalo, en Imbabura (El Comercio, 2014). En este estudio se observó que los Escenarios muestreados no habían sufrido incendios en grandes magnitudes pero sí se pudo constatar algunos parches sin vegetación causados pequeñas fogatas al aire libre por el incremento de la presencia humana en el sector.

5.3 Determinación de agua en suelo

Para determinar la capacidad de almacenamiento hídrico del suelo en los dos Escenarios, se aplicó la metodología propuesta en cada uno de ellos y se estimó algunas relaciones volumétricas y gravimétricas descritas en las ecuaciones [3-9], [3-10] y [3-11]. Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 5-9.

Tabla 5-9: Datos para calcular la Humedad volumétrica de los sitios de muestreo. Elaboración propia

Escenarios	Peso suelo húmedo (g)	Peso suelo seco (g)	Densidad aparente (g/cm ³)	Humedad gravimétrica (%)	Humedad volumétrica (%)
Escenario 1	223	156	0,80	42,95	34,26
Escenario 2	255	111	0,57	129,73	73,63

La densidad aparente permitió relacionar el peso del suelo seco versus el volumen total del suelo cuando se ha extraído toda el agua del mismo, los valores obtenidos en este estudio oscilaron entre 0,57 g/cm³ y 0,8 g/cm³, siendo el primer valor del Escenario mejor conservado y el segundo valor del Escenario con mayor intervención antrópica. Los diferentes valores de la densidad aparente están relacionados con los tipos de suelos, en el caso de los valores inferiores a 0,1 g/cm³ se los relaciona inmediatamente con suelos orgánicos o también llamados histosoles⁸

En cuanto a la Humedad gravimétrica resalta el 129,73% obtenido en el Escenario 2. En términos generales, este valor no supera el 100%. Sin embargo, existen investigaciones desarrolladas en los páramos colombianos en donde también se obtuvieron valores superiores al 100%.

Camargo-García et al. (2012), reportaron en el Parque Nacional Natural de Los Nevados en Colombia que forma parte del ecosistema páramo valores de humedad gravimétrica y volumétrica superiores a 100% los cuales, se manifestaron en lugares donde las tensiones (impactos ambientales) fueron las más bajas.

De manera complementaria, Moyano (2018) manifiesta que los suelos del páramo de Siscunsi-Boyacá (Colombia) han registrado valores que superan la relación de peso en el sistema suelo-agua, esta situación se debe a las características de los suelos hallados, estos suelos poseen fracciones de ceniza volcánica y esto podría explicar la alta retención de humedad entre otras características físicas como la baja densidad o la alta plasticidad. Es conocido que gran parte de los páramos todo el centro y norte del Ecuador, el Macizo colombiano y toda la Cordillera Central colombiana están ubicados sobre volcanes activos, por lo tanto se desarrollan a partir de la intemperización de cenizas volcánicas (Hofstede et al., 2014).

En la Figura 5-14 se puede observar que ambos bofedales pertenecen al mismo tipo de suelo (Andept), el cual se caracteriza por tener materiales volcánicos y una capacidad alta para retención de humedad (Sánchez, 1981).

⁸ www.agrarias.una.ac.cr/index.php

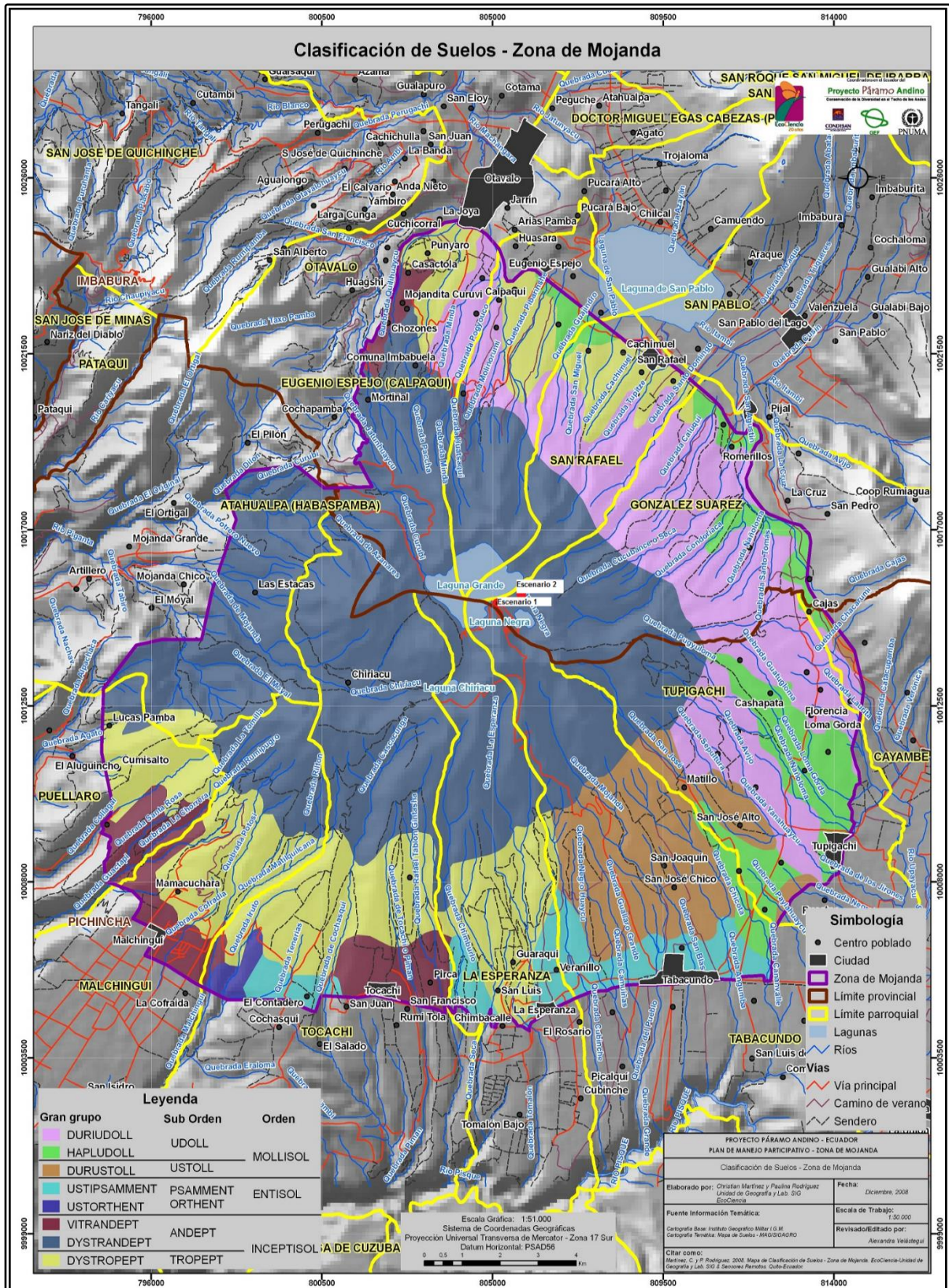


Figura 5-14: Clasificación del suelo en el páramo de Mojanda. Fuente: EcoCiencia 2008

Además, la Figura 5-15 basada en datos del Ministerio del Ambiente del Ecuador muestra que ambos sitios de estudio pertenecen a la misma cobertura de uso del suelo

(páramo). Pese a estas similitudes, los valores de almacenamiento de agua en suelo arrojaron diferencias.

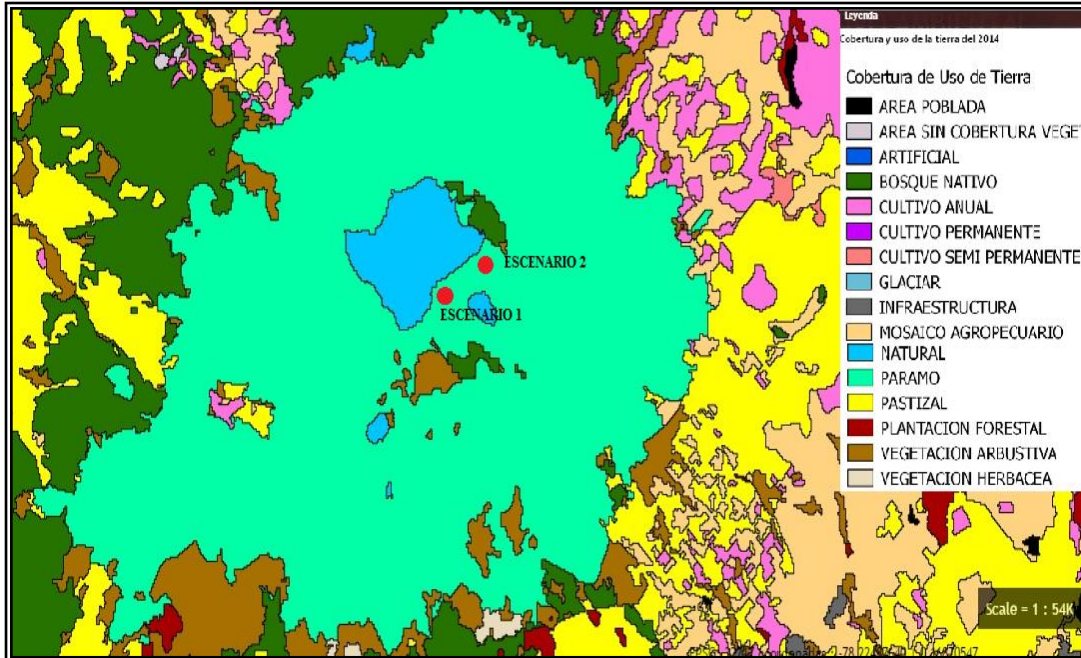


Figura 5-15: Cobertura de Uso de la Tierra en el área de estudio. **Fuente:** <http://mapainteractivo.ambiente.gob.ec/>

Complementando los resultados de la densidad aparente, se llegó a estimar la humedad volumétrica, es decir; se calculó el porcentaje del volumen del suelo que es ocupado por agua. En la Figura 5-16 se observa que el Escenario 1 tuvo el menor porcentaje de agua en el suelo con un valor de 34,36% mientras que, el Escenario 2 obtuvo 73,63% de agua almacenada.

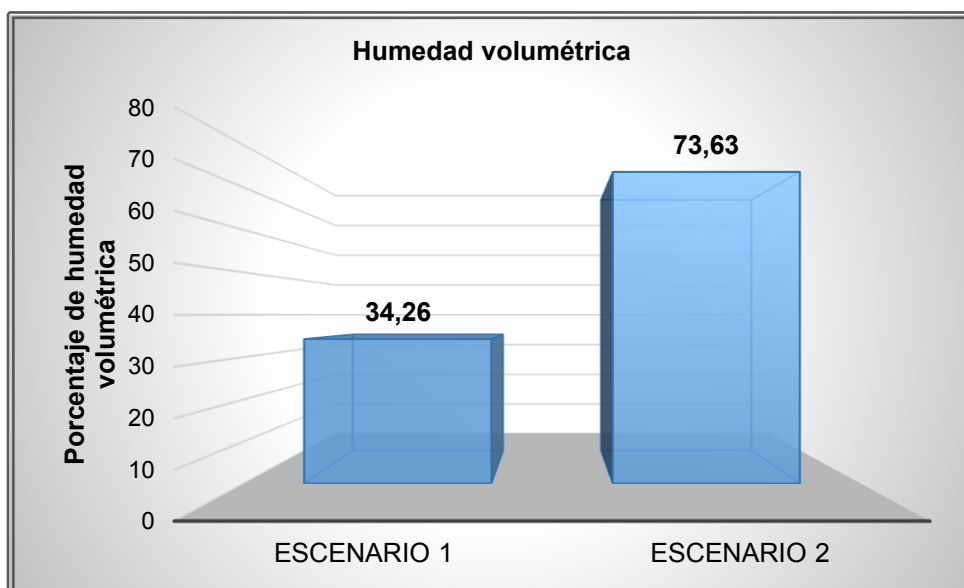


Figura 5-16: Cantidad de agua en suelo.

Los dos Escenarios evaluados tuvieron similitudes en cuanto a variables ambientales (temperatura, presión atmosférica, en fin), ubicación, material parental y uso del suelo. Sin embargo, los resultados mostraron que existió una diferencia en la capacidad para almacenar agua en cada lugar, lo cual se atribuye principalmente al grado de intervención antrópica que tuvo cada bofedal.

El primer Escenario se caracterizó, como se mostró en la Tabla 5-1, por ser de fácil acceso para actividades antrópicas como el turismo con pesca deportiva y sitios para acampar, se observó en este lugar compactación del suelo y parches de suelo desnudo es decir, sin vegetación (Figura 5-17). Para De Bièvre et al. (2006), estas características descritas en el Escenario 1 que indican que la presencia humana en la zona tiene un impacto directo en el ciclo del agua por medio de cambios en las propiedades del suelo, agua y vegetación.



Figura 5-17: Parches de suelo sin cubierta vegetal en el Escenario 1.

El documento del Proyecto Páramo Andino (sin fecha), se señala que sobre la cota de los 3.500 m.s.n.m. el ecosistema páramo se caracteriza por poseer suelos negros y con una retención de agua del 50% al 80%. Sin embargo, este estudio arrojó para el Escenario 1 un valor inferior al límite menor propuesto para esta altitud y latitud, demostrando que el impacto que causan las actividades antrópicas no controladas (turismo no controlado) influye sobre la cantidad de agua que retiene el suelo.

Por el contrario, el Escenario 2 calificado con el menor grado de intervención humana, registró mayor volumen de agua en suelo (73%).

La principal diferencia que se registró entre un Escenario y otro aparte de la superficie fue la presencia de parches sin vegetación del Escenario 1. Para Mena y Hofstede (2006), la vegetación está relacionada indirectamente pero de manera importante con dos servicios ambientales: la provisión de agua y la retención de carbono. Si bien son los suelos parameros los que realizan estas funciones de manera directa, es la vegetación quien contribuye tanto en su formación como en su conservación y retención.

5.4 Almacenamiento de materia orgánica en suelo (Carbono)

En los dos Escenarios propuestos la cantidad de carbono se determinó siguiendo la metodología antes descrita y se obtuvo los resultados que se grafican en la Figura 5-18.

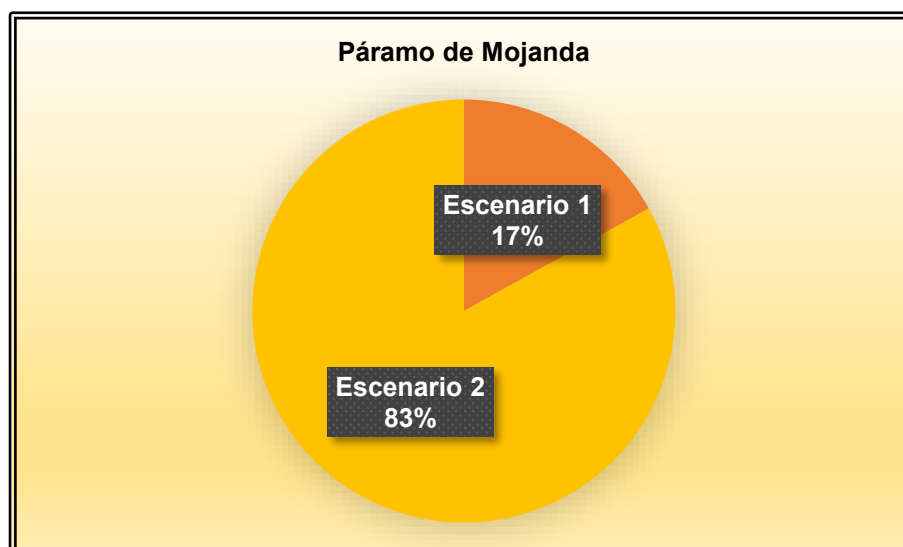


Figura 5-18: Materia orgánica en los suelos.

La Figura antes mencionada muestra los porcentajes de carbono correspondientes a cada bofedal analizado. En ambos bofedales altoandinos, el suelo tuvo la capacidad de almacenaje para carbono, sin embargo, se observó una diferencia entre el sitio mejor conservado versus el lugar con mayor intervención antrópica.

La presencia de materia orgánica en suelo y su diferente capacidad para almacenar el carbono pueden ser atribuidas a varios factores:

1. El origen de los suelos

- El material parental de los suelos determina su composición, características físicas y químicas. En este caso de estudio, ambos lugares tienen el mismo material parental.
- En el mapa de Clasificación de suelos expuesto en el Plan de Manejo y Desarrollo de Mojanda ambos sitios son clasificados como Andosoles. Por otro lado, "Soil Taxonomy" los clasifica como Andisoles. Cualquier clasificación nos indica que son suelos que se caracterizan porque los materiales parentales son de origen volcánico y poseen un alto contenido de carbón orgánico.
- Cómo se observó en la Figura 5-2 la selección de Escenarios fue bastante cercana hablando en términos de distancia ya que lo que primó para la selección fue el grado de intervención antrópica que tenía cada lugar y se quiso evitar la influencia de otras variables como la altitud.

2. Variables ambientales

- Los humedales seleccionados están ubicados en la biorregión páramo el cual, tiene particularidades ambientales como el clima frío y húmedo además existe una baja presión atmosférica; todos estos factores retrasan la descomposición de la materia orgánica en el suelo (Buytaert et al., sin fecha).

En añadidura, también se observó en la visita de campo un perfil del suelo con una coloración negra característica de la presencia de materia orgánica como se puede ver en la Figura 5-19.



Figura 5-19: Perfil del suelo del páramo de Mojanda.

Sin embargo, la cantidad de materia orgánica que posee el suelo no fue igual en ambos Escenarios planteados.

El Escenario 1 con mayor grado de intervención antrópica demostró tener la menor cantidad de materia orgánica en suelo y por lo tanto menor capacidad de almacenar el carbono. La diferencia de ambos Escenarios radica en la presencia de parches sin cobertura vegetal, no presentes en el Escenario 2.

Kalbitz (2009), menciona la existencia de procesos que desestabilizan la cantidad de MO en el suelo ya que, producen un aumento en la descomposición del material orgánico y la consecuente liberación del Carbono a la atmósfera en forma de CO₂. Entre los principales factores que promueven estos procesos están: los cambios en la cobertura vegetal (forestación o reforestación), el drenaje, los cambios en la intensidad de las quemas y el pastoreo y la conversión de los pajonales en tierras aradas para la agricultura.

Sin embargo, en el caso particular de los Escenarios propuestos para este estudio se observó que un elemento desestabilizador de la cantidad de MO en el suelo también pudo ser la pérdida de la cobertura vegetal.

Por otro lado, los valores altos de materia orgánica en el Escenario 2 pueden ser según Kalbitz (2009) causa de los factores estabilizadores los cuales, disminuyen la descomposición y aumentan la retención de carbono en suelo. La estabilización puede deberse a tres factores: recalcitrancia, interacción con superficies minerales e inaccesibilidad. La recalcitrancia se refiere a la presencia de grupos químicos que limitan la mineralización de la MO por microorganismos o sus enzimas. El segundo mecanismo ocurre cuando la superficie de un mineral se recubre con fragmentos de materia orgánica formando enlaces que pueden ser muy estables, reduciendo de esta manera la biodisponibilidad de la materia orgánica o haciéndola tóxica para los organismos descomponedores. En el caso de los páramos los minerales como Al y Fe pueden precipitar la materia orgánica formando compuestos cuya descomposición es difícil (Kalbitz, 2009).

Adicionalmente, se observó durante la visita de campo que el Escenario 2 estaba mejor conservado pues no se determinó parches sin vegetación, ni evidencias de actividades antrópicas en el sector.

Según la FAO (2002), el efecto general del incremento de la materia orgánica del suelo es un mejoramiento de la capacidad amortiguadora y de la resiliencia del suelo a diferentes tipos de degradación o estrés.

Tomando en cuenta las dos variables estudiadas en los Bofedales altoandinos de Mojanda (capacidad de almacenamiento de agua y carbono en suelo) se visualizó una correlación entre ambas. El Escenario 2, que se caracterizó por tener un bajo grado de intervención antrópica el valor de almacenamiento de agua en suelo fue alto (Humedad volumétrica 73,63%) coincidente con el valor alto de contenido de Materia Orgánica (83,8%) como se observa en la Figura 5-20.

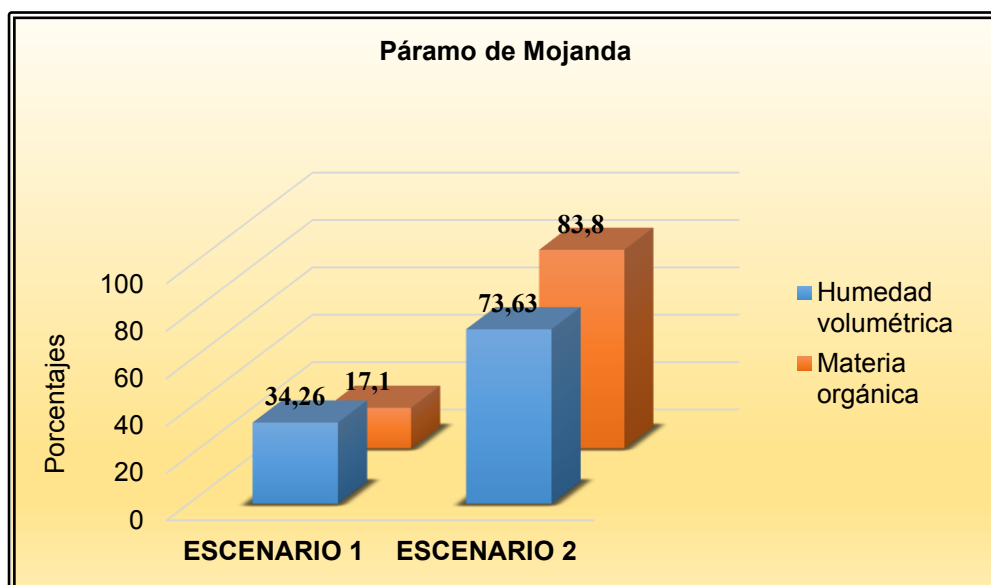


Figura 5-20: Agua y materia orgánica en suelo.

Autores como Buytaert et al. (2006) y Shoji et al. (1993), manifiestan que la enorme capacidad de retención de agua de los suelos del páramo, es debida principalmente a la materia orgánica y que se han encontrado altas correlaciones entre el contenido de humedad del suelo y el porcentaje de materia orgánica. Tanta agua puede ser retenida, gracias al volumen de mesoporos y microporos. Estos poros se encuentran dentro de los agregados, cuya formación se ve incrementada por la materia orgánica y los complejos que forman con metales y minerales. De manera complementaria, Kalbitz (2009) asegura que la materia orgánica es esencial para el mantenimiento de propiedades químicas del suelo, y mejora su estructura incidiendo en la retención del agua.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El presente trabajo de tesis dio énfasis en determinar la Oferta Hídrica y capacidad de almacenamiento de carbono de una zona importante del páramo del Ecuador (Mojanda). Con base a la metodología aplicada y a los resultados obtenidos a través del desarrollo de la investigación se desprenden las siguientes conclusiones:

- El páramo de Mojanda tiene la capacidad de ofertar una serie de servicios ambientales, entre los principales están: servicios de regulación (almacenamiento de carbono y agua en suelo) y servicios de provisión (Oferta Hídrica).
- Las características biofísicas, ambientales y geográficas han permitido la existencia de dos tipos de humedales altoandinos dentro del páramo de Mojanda, humedales lacustres y palustres.
- Las variables precipitación y temperatura ambiental demostraron que en la zona de estudio existen dos períodos climáticos: 1) con altas precipitaciones desde octubre hasta mayo y 2) con bajas, pero no nulas precipitaciones desde septiembre hasta junio.
- Las variaciones mensuales de temperatura no son significativas ya que la amplitud (diferencia entre la mínima y la máxima) está alrededor de 3 °C.
- La temperatura promedio de la zona de estudio fue de 10 °C, siendo mayor que en otras zonas del Páramo ecuatoriano.
- La Oferta Hídrica disponible en los dos bofedales de estudio en el páramo de Mojanda fue para el Escenario con intervención antrópica: 1.149,72 m³/año y para el Escenario mejor conservado: 2.455,63 m³/año.
- La cantidad de agua y carbono almacenados en el suelo de ambos Escenarios permitieron concluir que el mejor conservado es aquel que tiene los valores más altos en capacidad de almacenamiento para estas dos variables, es decir; el segundo Escenario está en mejor estado de conservación porque la intervención antrópica fue mínima.
- Se observó que existe una relación directamente proporcional entre la capacidad de almacenamiento de agua en el suelo con el contenido de materia orgánica (carbono). A mayor capacidad de almacenar agua existe mayor capacidad de almacenar carbono.
- El valor alto para almacenamiento de agua y carbono en el Escenario mejor conservado tuvo una relación con la cobertura vegetal, que en esta zona fue de un 90% aproximadamente ya que, el tipo de vegetación presente ayuda a retener el agua y disminuye la evapotranspiración. Mientras que, el Escenario 2 con intervención antrópica mostró parches sin cobertura vegetal causados por actividades recreativas del sector) lo que influyó en valores menores de retención de agua y carbono en el suelo.

- Finalmente, el páramo de Mojanda cuenta con bofedales altoandinos con diferente grado de conservación. Sin embargo, es necesario mantenerlos y fortalecer las políticas de manejo para proteger esta fuente agua y demás servicios ambientales.

A lo largo del presente trabajo se ha descrito la importancia de las zonas de páramo en el Ecuador, concretamente el de Mojanda y a su vez se ha identificado la vulnerabilidad que tiene debido a las diferentes presiones antrópicas a las que se somete. Este trabajo de investigativo de tesis buscó ser una base para desarrollar futuros estudios más completos y de esta manera contribuir a una conservación integral del páramo de Mojanda. A continuación se listan las siguientes:

- Ampliar el estudio de Oferta Hídrica y almacenamiento de carbono a todo el páramo de Mojanda para obtener resultados más precisos y añadir datos de otras estaciones meteorológicas.
- Continuar con estudios técnicos para realizar una valoración socio-económica del sector ya que las cifras causan mayor impacto en la socialización de proyectos.
- Ampliar y actualizar las series de precipitaciones para obtener una mayor comprensión de la dinámica hídrica.
- Difundir este tipo de estudios a otros páramos del Ecuador para no subvalorar los servicios ambientales que ofrecen.
- El turismo es una fuente de ingreso al sector y una parte de los servicios ambientales; sin embargo, debe ser controlado y guiado adecuadamente para evitar la disminución en la calidad de oferta de dichos servicios ambientales.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Alm, M.** (2004), "Plantas xerófilas". (en línea). Disponible en:
<http://www.jardineriaon.com/plantas-xerofilas-o-plantas-del-desierto.html> Recuperado el: 10/12/14)
- Alvarado, J.** (2012), "Almacenamiento de Carbono Orgánico en suelos en sistemas de producción de café (*Coffea arabica* L.) en el Municipio de Líbano", Departamento del Tolima. Ibagué- Colombia.
- Ander, E.** (1991), "El desafío ecológico". Editorial Universidad Estatal a Distancia UNED. San José de Costa Rica.
- Andrade, A.** (Ed.) (2007), "Aplicación del Enfoque Ecosistémico en Latinoamérica". CEM - UICN. Bogotá, Colombia.
- Armijos, MT.** (2014), "El manejo comunitario del agua en Mojanda, Ecuador: Política, derechos y recursos naturales". En: Cuesta F, Sevink J, Llambí LD, De Bièvre B, Posner J, Editores. Avances en investigación para la conservación de los páramos andinos, CONDESAN.
- Asamblea Nacional Constituyente.** (2008), "Constitución de la República del Ecuador. Montecristi".
- Asamblea Nacional del Ecuador.** (2014), "Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua". (en línea). Disponible en:
<http://www.asambleanacional.gob.ec/noticia/asamblea-aprobo-la-ley-de-recursoshidricos>. Recuperado el: 18/05/15
- Astrálaga, M.** (2006), "Conservación de Humedales en América Latina". (en línea). Disponible en:
http://archive.ramsar.org/cda/es/ramsar-documents-speeches-wetland-conservation-in-21713/main/ramsar/1-31-117%5E21713_4000_2__. Recuperado el:25/04/2017.
- Astudillo, D., López, F. y Rodas, M.** (2010), "Valoración Socioeconómica de Humedales Altoandinos Guía Didáctica". UTPL. Ecuador.
- Baquero, F., Sierra, R., Ordoñez, M., Tipán, L., Espinosa, L., Rivera, B., y Soria, P.** (2004), "Mapa de Vegetación de los Andes del Ecuador". EcoCiencia-Lab.SIG y Sensores Remotos, CESLA, Ecopar, MAG/SIGAGRO, Alianza Jatun Sacha/CDC, División Geográfica-IGM. Quito.
- Barbier, E., Acreman, M., y Knowler, D.** (1997), "Valoración Económica de los Humedales. Guía para decisores y planificadores". Oficina de la Convención Ramsar.
- Barrantes, G. y Vega, M.** (2001), "Evaluación del Servicio Ambiental Hídrico en la Cuenca del Río Savegre con fines de Ordenamiento Territorial. Desarrollo Sostenible de la Cuenca hidrográfica del Río Savegre". Costa Rica.
- Barrera, A.** (2004), "Técnicas de completado de series mensuales y aplicación al estudio de la influencia de la NAO en la distribución de precipitaciones en España". (en línea).

Disponible en: <http://zucaina.net/Publicaciones/barrera-dea.pdf>. Recuperado el 17/08/2015.

Biao, Z., Wenhua, L., Gaudi, X. y Yu, X. (2010), "Water conservation of forest ecosystem in Beijing and its value". *Ecological Economics*, 69 (7), 1416-1426.

Brechelt, A. (2004), "Manejo Ecológico del Suelo. Fundación de Agricultura y Medio Ambiente (FAMA)". Santiago de Chil. Editorial RAP-AL.

Buytaert, W. (2006), "Human impact on the hydrology of the Andean páramos". *Earth science reviews* 79: 53-72

Buytaert, W., Célleri, R., De Bièvre, B., y Cisneros, F. (sin fecha), "HIDROLOGÍA DEL PÁRAMO ANDINO: PROPIEDADES, IMPORTANCIA Y VULNERABILIDAD". (en línea). Disponible en: <http://paramo.cc.ic.ac.uk/pubs/ES/Hidroparamo2.pdf>. Recuperado el 18/04/2016.

Camargo-García, J., Dossman, M., Rodríguez, J., Arias, L. y Galvis-Quintero, J. (2012). Cambios en las propiedades del suelo, posteriores a un incendio en el Parque Nacional Natural de Los Nevados, Colombia. *Acta Agronómica*, Volumen 61, Número 2, Págs 151-165.

Cappato, J. y Peteán, L. (Eds.) (2005), "Humedales fluviales de América del Sur: hacia un manejo sostenible". En: Stolk, M.E., Verweij, P.A., Struip, M., Baker, C.J. y Oosterberg, W. 2006. Valoración Socioeconómica de los Humedales en América Latina y el Caribe. Wetlands International. Los Países Bajos.

Castañeda, ME. (2008), "Las prácticas de gobierno comunitario: el caso de las comunidades de la parroquia González Suárez. Políticas Públicas". Quito: Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales. Desarrollo Local y Territorio.

Castro, M. (2009), "Valoración Económica del Agua de los Bofedales Secundarios de las Lagunas Negras de Jimbura, Nudo de Sabanilla". *EcoCiencia*. MAE. Quito. Ecuador.

Célleri, R. (2009), "Estado del conocimiento técnico sobre los servicios ambientales hidrológicos generados en los Andes. Servicios ambientales para la conservación de los recursos hídricos: lecciones desde los Andes". Síntesis Regional CONDESAN.

Fassbender, H. (1993), "Modelos edafológicos de los sistemas de producción agroforestales". 2da. Edición. Costa Rica. Catie-GTZ. Pág.530.

Castro, M. (2011), "Una valoración económica del almacenamiento de agua y carbono en los bofedales de los páramos ecuatorianos – la experiencia en Oña-NabónSaraguro-Yacuambi y el Frente Suroccidental de Tungurahua". *EcoCiencia/Wetlands International/UTPL/MAE*. Quito.

Ciclo del Carbono ¿sabes en qué consiste?. (en línea). Disponible en: <https://www.guioteca.com/educacion-para-ninos/ciclo-del-carbono-sabes-en-que-consiste/>. Recuperado el: 03/05/2017.

Convención de Ramsar y Grupo de Contacto EHAA. (2008), "Estrategia Regional para la Conservación y Uso Sostenible de los Humedales Altoandinos". Gobiernos de Ecuador y Chile. CONDESAN y TNC-Chile.

- Coppus, R., Endara, L., Nonhebel, M., Mera, V., León-Yáñez, S., Mena, P., Wolf, J., y Hofstede, R.** (2001), "El estado de salud de algunos páramos del Ecuador: Una metodología de campo". Págs. 219-240.
- Costanza, R., Faber, S.C., y Maxwell, J.** (1989), "Valuation and Management of Wetland Ecosystems". *Ecological Economics* 1: 335-361.
- De Bièvre, B., Iñiguez, V., y Buytaert, W.** (2006), "Hidrología del páramo: Importancia, propiedades y vulnerabilidad". *Páramo* 21.
- De Groot, R., Wilson, M., y Boumans, R.M.** (2002), "A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services". *Ecological Economics* 41 (3): 393-408.
- De Groot, R., Stuij, M., Finlayson, M., y Davidson, N.** (2007), "Valoración de humedales Lineamientos para valorar los beneficios derivados de los servicios de los ecosistemas de humedales". Convención Ramsar. Convenio sobre la biodiversidad biológica. Suiza. (en línea). Disponible en <http://www.ambiente.gob.ec/userfiles/50>. Recuperado el 18/04/2016. Recuperado el: 18/05/15.
- Echevarría, H.** (2008), "Convención Ramsar en el Ecuador. Guía sobre la conservación y uso racional de los humedales". Centro Ecuatoriano de Derecho Ambiental. Quito-Ecuador.
- Echeverría, X. y López, M.** (2013), "GENERACIÓN DE GEOINFORMACIÓN PARA LA GESTIÓN DEL TERRITORIO A NIVEL NACIONAL ESCALA 1:25.000. Memoria Técnica.
- EcoCiencia.** (2008), "Plan de Manejo y Desarrollo de Mojanda". Proyecto Páramo Andino Conservación de la Diversidad en el Techo de los Andes. (en línea). Disponible en: <http://documentslide.com/documents/plan-de-manejo-y-desarrollo-de-la-zona-de-mojanda.html>. Recuperado el: 18/05/15
- Ecosistemas** (en línea). Disponible en: <http://ecosistemadcc.weebly.com/bofedal.html>. Recuperado el: 03/05/2017.
- EL COMERCIO.** (2014), (en línea). Disponible en: <http://www.elcomercio.com/actualidad/mojanda-recuperara-incendio-forestal-ambiente.html>. Recuperado el: 18/04/2016
- Fisher, B. y Turner, R.K.** (2008), "Ecosystem services: classification for valuation". *Biological Conservation* 141: 1167-1169.
- Flachier, A., Santos, F., Gortaire, E., Villaroel, M. y Calderón, M.J.** (2010), "DISEÑO METODOLÓGICO PARA LA VALORACIÓN SOCIOECONÓMICA DE LOS BOFEDALES ALTOANDINOS". Ecuador.
- FAO/ISRIC/ISS,** (1998), "World Reference Base for Soil Resources". No. 84 in World Soil Resources Reporte. FAO. Rome. Pág. 88.
- FAO,** (2002), Captura de Carbono en los suelos para un mejor manejo de la Tierra. Informes sobre recursos mundiales de suelos.

- FAO**, (2016), “Enfoque ecosistémico”. (en línea). Disponible en:
<http://www.fao.org/biodiversity/asuntos-intersectoriales/enfoque-ecosistemico/es/>.
Recuperado el 19/04/2016.
- Gilbert, A.** (1988), “Monografías de economía y medio ambiente”. La contabilidad de los Recursos Naturales. Número 3.
- Gobierno Autónomo Descentralizado de Pedro Moncayo (GAD-Pedro Moncayo).** (2015), Disponible en:
www.pedromoncayo.gob.ec/index.php/2013-11-09-19-23-06/turismop/mojanda.
Recuperado el: 18/05/15
- González, A., Maldonado, F., y Mejía, L.** (1986), “Memoria explicativa del mapa general de suelos del Ecuador”. Quito:CLIRSEN.
- Gómez, A., Ramírez, M., y Tafur, H.** (2001), “Balance hídrico en tresfincas de la cuenca media del río Nima, eco-región andina de Colombia.” Acta Agronómica Vol. 51(344). 2001-2002: 131-139.
- Hofstede, R.** (1995), “Effects of burning and grazing on a Colombian páramo ecosystem”. Ph.D. thesis. Universiteit van Amsterdam.
- Hofstede, R., Segarra, P., y Mena, P. (Eds.)**. (2003), “Los páramos del mundo. Proyecto Atlas mundial de los páramos”. Global Petland Initiative/NC/-IUCN/EcoCiencia. Quito.
- Hofstede, R., Calles, J., López, V., Polanco, R., Torres F., Ulloa, J., Vásquez, A., y Cerra, M.** (2014), “Los páramos andinos ¿Qué sabemos?. Estado de conocimiento sobre el impacto del cambio climático en el ecosistema páramo”.
- Holdridge, L.** (1978), “El diagrama de las zonas de vida. En ecología basada en zonas de vida”. San José, IICA. Págs.13-28.
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología del Ecuador (INAMHI).** (en línea). Disponible en: <http://www.serviciometeorologico.gob.ec/>. Recuperado el: 18/05/15.
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología del Ecuador (INAMHI).** “Mapa de Climas Ecuador”. (en línea). Disponible en: https://issuu.com/inamhi/docs/atlas_estudiantil/4. Recuperado el: 18/05/2017.
- Kalbitz, K.** (2009), “Estabilización y desestabilización de materia orgánica del suelo de los páramos: procesos y parámetros”. En: TALLER REGIONAL – CUANTIFICACIÓN Y ESTIMACIÓN DE LOS STOCKS DE CARBONO EN ECOSISTEMAS DE ALTA MONTAÑA.
- Lal, R., Kimble, KM., Stewart, BA.** (Eds.) (1998). “Soil processes and the carbon cycle”. Estados Unidos. CRC Pres. Págs. 1-8.
- Ley de Gestión Ambiental del Ecuador.** Ley N° 37. RO/ 245 de 30 de julio de 1999.
- Llambi, L., Soto-W, A., Céleri, R., De Bievre, B., Ochoa, B., y Borja, P.** (2012), “Ecología, hidrología y suelos de páramos”. Proyecto Páramo Andino.

- MAE (Ministerio del Ambiente del Ecuador).** (2008), “Política de ecosistemas andinos del Ecuador”. Dirección Nacional Forestal. Dirección de Biodiversidad. Quito- Ecuador. Pág.73.
- MEA- Millenium Ecosystem Assessment.** (2005), “Ecosystems and Human Well-being Wetlands and Water Synthesis”. World Resources Institute, Washington DC.
- Ministerio del Ambiente del Ecuador.** (2017), “Sistema Único de Información Ambiental”. (en línea). Disponible en: <http://www.ambiente.gob.ec/sistema-unico-de-informacion-ambiental-suia/>. Recuperado el 30/04/2017.
- Mena, P., Medina, G., y Hofstede, R.** (Eds.) (2001), “Los páramos del Ecuador. Particularidades, Problemas y Perspectivas”. Editorial Abya Yala/Proyecto páramo. Quito. Mena-Vásconez, P. & R. Hofstede. 2006. Botánica Económica de los Andes Centrales. Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, 2006: 91-109.
- Mena, P. y Hofstede, R.** (2006), “Los páramos ecuatorianos. Botánica Económica de los Andes Centrales”. Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, 2006: 91-109.
- Morocho, D., Cisneros, R., Coronel, R., Nogales, F., Ramón, C., Samaniego, C., y Borja, J.** (2008), “Estudio de alternativas de manejo para el bloque sur del bosque y vegetación protector Colambo-Yacuri”. (en línea). Disponible en: <http://www.ambiente.gob.ec/userfiles/51/file/Planes%20de%20Manejo/Estudio%20%20Alternativa%20Yacuri%20OFICIAL%20enviado%20por%20correo%20desde%20Loja%20080110.pdf>. Recuperado el: 09/12/2015.
- Moyano, J.** (2018). Método de Correlación de Humedad Edáfica en suelos intervenidos forestalmente y protegidos en el páramo de Siscunsi, Boyacá. Universidad Santo Tomás. Bogotá D.C.
- Odum, E.** (1986), “Fundamentos de Ecología”. Editorial Interamericana México D.F.
- Ramón, G.** (2002), “Visiones, usos e intervenciones en los páramos del Ecuador”. Serie Páramo 12: 43-50.
- Ramsar-CoP9.** (2005), “Estrategia Regional de Conservación y Uso Sostenible de los Humedales Altoandinos”. (en línea). Disponible en: http://ramsar.rgis.ch/pdf/cop9/cop9_doc26_s.pdf. Recuperado el: 09/12/2015.
- Reynolds, J.** (1997), “Evaluación de los recursos hídricos en Costa Rica: Disponibilidad y utilización”. Proyecto de Cuentas Ambientales. CINPE-UNA-CCT.
- Rivera, J.** (2007), “Parque Nacional Cajas”. ECOLAP y MAE. Guía del Patrimonio de Áreas Naturales Protegidas del Ecuador. ECOFUND, FAN, DarwinNet, IGM. Quito-Ecuador. (en línea). Disponible en: http://www.ambiente.gob.ec/paginas_espanol/4ecuador/docs/libro/24-SS-PN%20Cajas.pdf. Recuperado el: 09/12/2015.
- Samaniego, C., Cisneros, R., Coronel, R., Nogales, F., Ramón, C., y Morocho, D.** (2007), “Estudio de alternativas para el bosque protector Yacuambi, provincia de Zamora Chinchipe Cantón Yacuambi” (documento digital). Fundación Ecológica Arcoiris, Proloza y Ministerio del Ambiente. Loja- Ecuador. Pág.150.

- Sevink, J.** (2009), "TALLER REGIONAL-CUANTIFICACIÓN Y ESTIMACIÓN DE LOS STOCKS DE CARBONO EN ECOSISTEMAS DE ALTA MONTAÑA". Lima-Perú. (en línea). Disponible en: <http://www.condesan.org/ppa/node/3793>. Recuperado el 18/04/2015.
- UNEP.** (2014), "Year Book 2014 emerging issues update. Securing Soil Carbon Benefits"
- RAMSAR.** (2016), (en línea). Disponible en: <http://www.ramsar.org/es>. Recuperado el:03/05/2017.
- Turner, K., Van den Bergh, J., Söderqvist, T., Barendregt A., Van der Straaten, J., Maltby, E. y Van Ierland, E.** (2000), "Ecological-economic analysis of wetlands: scientific integration for management and policy". Ecological Economics. Volumen 35. Número 1. Págs. 7-23.
- Sánchez, P.** (1981), "SUELOS DEL TRÓPICO CARACTERÍSTICAS Y MANEJO". Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. Costa Rica.
- Sierra, R. (Ed.)** (1999), "Propuesta preliminar de un Sistema de clasificación de vegetación para el Ecuador continental". Proyecto INEFAN/GEF-BIRF y EcoCiencia-Quito.
- Shoji, S., Nancyo, M. y Dahigren, R.** (2003). Volcanic AshSoils, génesis, properties and utilization. Development in Soil Science 21. Elsevier. Soil Survey Staff. Keys to soil Taxonomy. Tenth Edition. United States Department of Agriculture, Washington D.C.
- Sosa, D.** (sin fecha), "Manejo de Suelos TÉCNICAS DE TOMA Y REMISIÓN DE MUESTRAS DE SUELO". Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. (documento digital).
- Stolk, M.E., Verweij, P.A., Struip, M., Baker, C.J. y Oosterberg, W.** (2006), "Valoración Socioeconómica de los Humedales en América Latina y el Caribe". Wetlands International. Los Países Bajos.
- Tiner, R.W.** (1984), "Wetlands of the United States: Current Status and Trends". US Fish and Wildlife Service.
- Vonada, R.** (2010), "Introducción a los Servicios Ambientales". (en línea). Recuperado el: 19/05/2015. Disponible en: <http://es.slideshare.net/eltislides/honduras-course-introduccion-a-los-servicios-ambientales-rebecca-vonada>.
- Zamora, P.M.** (1984), "Philippine Mangroves: Assessment Status, Enviromental Problems, Conservation and Management Strategies". En: Barbier, E., Acreman, M., y Knowler, D. 1997. Valoración Económica de los Humedales. Guía para decisores y planificadores. Oficina de la Convención Ramsar.

8. ANEXOS

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA														
Temperatura Media Mensual (°C)														
SERIES MENSUALES DE DATOS METEOROLOGICOS														
NOMBRE: TOMALON-TABACUNDO CODIGO: M1094														
PERIODO: 1900 - 2017 LATITUD: 0G 0' 40.16" N LONGITUD: 78G 15' 18.19"W ELEVACION: 2790.00														
AÑOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	SUMA	MEDIA
1990	15.1	15.6	15.4	14.8	14.7	15.1	15.1	15.5	16.1	14.4	15.4	15.0	182.0	15.1
1991	15.6	15.4	15.3	14.9	15.4	15.3	15.1	15.0	15.3	15.2	14.6	15.2	183.4	15.2
1992	14.3	14.1	15.8	15.5	14.7	16.4	15.0	15.2	14.6	15.0	15.0	15.0		
1993	14.4	14.3	14.0	14.5	14.6	16.3	15.3	15.5	15.0	15.8	14.8	14.8		
1994	15.4	15.2	15.0	15.5	15.1	15.4	15.3	15.3	15.6	15.0	14.1	15.0	178.2	14.8
1995	13.7	13.9	14.1	14.3	14.2	14.5	14.7	15.2	15.9	14.2	14.2	14.0	180.9	15.0
1996	16.9	16.2	15.3	14.8	15.5	14.8	15.8	16.4	16.0	14.2	14.7	14.8	174.2	14.5
1997	14.2	13.5	15.8	15.5	15.8	15.2	14.7	15.2	15.3	15.2	14.7	16.0	183.9	15.3
1998	13.5	13.5	14.1	14.4	14.1	13.7	14.9	14.9	13.7	14.3	14.5	14.8	185.3	15.4
1999	13.8	14.8	14.3	14.0	13.7	14.1	14.4	14.9	13.8	15.6	14.5	13.6	169.9	14.1
2000	15.6	15.0	15.0	14.4	15.7	15.0	15.1	16.1	14.6	16.3	14.9	14.5	170.1	14.1
2001	14.7	15.4	14.4	14.9	14.8	14.3	15.1	15.7	15.7	14.8	14.6	14.8	180.1	15.0
2002	14.6	14.3	15.8	14.8	14.9	15.2	14.4	16.0	15.7	15.3	14.6	14.8	182.3	15.1
2003	14.1	14.5	14.4	14.9	14.8	14.3	15.1	15.7	15.0	14.5	14.6	14.5	178.3	14.8
2004	15.6	15.0	14.4	14.4	15.2	15.0	16.1	16.0	14.9	14.9	15.2	14.6	179.6	14.9
2005	14.7	15.0	14.4	14.9	15.0	15.1	15.5	16.0	15.7	14.8	15.1	13.8	180.0	15.0
2006	14.1	14.5	14.4	14.3	15.2	15.0	16.1	16.1	15.4	15.0	13.7	14.3	178.1	14.8
2007	15.6	14.9	14.6	13.9	14.9	14.8	15.5	15.1	15.6	14.5	14.2	13.3	176.9	14.7
2008	14.2	13.6	13.6	14.0	14.1	14.5	14.3	14.3	14.9	14.0	14.3	14.3	170.1	14.1
2009	13.7	13.6	14.4	14.6	14.4	14.8	15.1	15.2	16.2	15.8	15.9	15.0	178.7	14.8
2010	15.5	15.7	15.6	15.0	16.2	14.7	14.3	14.5	14.6	14.8	14.1	13.7	178.7	14.8
2011	13.9	14.3	13.9	13.8	15.2	14.6	14.3	14.8	15.0	14.4	14.8	14.0	173.0	14.4
2012	13.3	13.9	15.2	14.2	14.6	15.5	16.1	15.6	16.1	15.2	14.9	15.2	179.8	14.9
2013	15.9	14.3	15.3	15.3	14.0	15.6	14.8	14.9	15.6	14.5	15.3	15.1	180.6	15.0
2014	14.8	14.9	14.8	15.4	14.8	15.3	16.3	15.4	15.2	15.5	15.3	15.0	182.7	15.2
2015	15.2	15.4	15.1	15.7	15.7	16.3	15.8	16.8	16.8	16.2	15.5	17.2	191.7	15.9
2016	16.4	16.7												
media	14.7	14.7	14.7	14.7	14.8	15.0	15.1	15.4	15.3	15.0	14.7	14.7	179.3	14.9
minima	13.3	13.5	13.5	13.8	13.7	13.7	14.3	14.3	13.7	14.0	13.7	13.3		13.3
maxima	16.9	16.7	15.8	15.7	16.2	16.4	16.3	16.8	16.8	16.3	15.9	17.2		17.2

Anexo 1: Temperatura de la Estación Tomalón-Tabacundo. Período 1990-2016.

salmi094rr: Bloc de notas														
Archivo Edición Formato Ver Ayuda														
INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA														
Precipitación Total Mensual (mm)														
SERIES MENSUALES DE DATOS METEOROLOGICOS														
NOMBRE: TOMALON-TABACUNDO CODIGO: M1094														
PERIODO: 1900 - 2017 LATITUD: 0G 0' 40.16" N LONGITUD: 78G 15' 18.19"W ELEVACION: 2790.00														
AÑOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	SUMA	MEDIA
1990	99.4	15.5	36.4	58.2	32.1	19.4	9.4	4.4	10.9	134.7	25.9	27.4	650.2	54.1
1991	27.7	69.7	111.3	56.6	88.3	14.3	18.0	10.4	46.0	38.3	82.7	69.4	459.2	38.2
1992	35.3	96.2	46.5	86.5	51.7	14.6	5.7	6.7	39.4	44.3	41.5	24.9		
1993	98.6	53.4	112.4	198.2	43.8	2.4	9.5	9.8	17.7	55.6	129.0	55.1	785.5	65.4
1994	18.8	27.3	85.4	62.2	49.4	24.5	30.0	41.8	11.7	76.7	153.1	57.3	638.2	53.1
1995	90.2	74.0	101.0	85.5	123.5	71.7	4.3	19.4	19.3	89.7	22.0	58.3	758.9	63.2
1996	116.5	31.6	106.4	70.4	35.1	27.8	0.0	0.3	52.3	36.7	88.3	46.6	612.0	51.0
1997	20.9	68.1	79.6	73.0	85.1	14.7	26.8	4.9	22.1	55.7	61.8	35.4	548.1	45.6
1998	76.4	116.9	68.1	84.0	56.5	34.3	8.9	9.6	79.6	55.3	32.8	102.1	724.5	60.3
1999	78.5	99.0	72.0	93.7	167.1	61.5	6.2	4.2	99.4	35.5	32.4	34.8	784.3	65.3
2000	50.1	37.8	59.0	43.4	33.6	13.0	25.1	0.0	36.0	28.8	45.3	37.4	409.5	34.1
2001	23.9	33.1	26.7	109.2	32.9	41.3	1.4	6.3	9.9	114.3	80.7	98.4	578.1	48.1
2002	38.8	54.3	32.5	75.7	14.4	35.3	24.6	0.0	20.5	83.7	63.4	38.7	481.9	40.1
2003	38.6	20.5	16.3	84.3	63.6	1.5	4.5	0.6	50.3	48.0	54.4	106.5	489.1	40.7
2004	38.3	63.2	68.2	54.8	30.2	21.8	7.6	6.6	40.3	45.1	33.6	169.1	578.8	48.2
2005	41.2	83.4	108.6	88.2	38.5	62.3	3.5	4.9	4.6	72.7	134.2	101.5	743.6	61.9
2006	18.8	18.5	84.8	140.1	41.6	31.8	5.0	12.3	8.6	102.7	81.5	72.0	617.7	51.4
2007	73.8	82.0	145.9	108.4	91.7	37.8	9.5	22.8	39.4	123.0	57.8	53.9	846.0	70.5
2008	75.2	43.5	105.0	37.7	26.5	48.5	1.7	1.3	14.6	42.6	31.4	67.4	495.4	41.2
2009	22.6	39.1	23.3	108.5	60.2	48.6	63.1	10.2	47.6	57.7	113.5	105.1	701.5	58.4
2010	56.0	69.3	88.4	170.8	39.7	26.2	58.8	31.4	14.9	77.1	59.0	86.0	817.3	68.1
2011	86.0	69.3	52.7	112.7	6.7	7.7	3.2	5.6	9.5	59.8	113.9	19.4	546.5	45.5
2012	31.7	99.6	69.2	75.0	124.5	2.5	3.8	22.9	4.7	82.3	23.8	42.6	582.6	48.5
2013	72.9	39.6	75.1	40.8	98.6	25.0	2.2	3.3	56.6	123.2	78.8	34.0	650.1	54.1
2014	66.9	43.5	73.8	63.7	23.7	3.1	21.8	0.7	14.1	56.5	61.5	1.0	430.3	35.8
2015	60.8	6.1												
2016	1457.9	1494.2	1957.2	2263.1	1518.8	698.5	363.3	240.6	799.8	1754.2	1797.8	1544.3	15889.7	1324.1
suma	56.0	57.4	75.2	87.0	58.4	26.8	13.9	9.2	30.7	67.4	69.1	61.7	613.5	51.1
media	18.8	6.1	16.3	37.7	6.7	1.5	0.0	0.0	4.6	14.2	22.0	1.0		0.0
minima	116.5	116.9	145.9	198.2	167.1	71.7	63.1	41.8	99.4	134.7	153.1	169.1		198.2
maxima														

Anexo 2: Precipitación de la Estación Tomalón-Tabacundo. Período 1990-2016.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA

precipitación Total Mensual (mm)

SERIES MENSUALES DE DATOS METEOROLOGICOS

NOMBRE: INGUINCHO CODIGO: M0001

PERIODO: 1900 - 2017 LATITUD: 0g 15' 30" N LONGITUD: 78g 24' 3" W ELEVACION: 3140.00

AÑOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	SUMA	MEDIA
1964														
1965														
1966														
1967														
1968														
1969														
1970														
1971														
1972														
1973														
1974														
1975														
1976														
1977														
1978														
1979														
1980														
1981														
1982														
1983														
1984														
1985														
1986														
1987														
1988														
1989														
1990														
1991														
1992														
1993														
1994														
1995														
1996														
1997														
1998														
1999														
2000														
2001														
2002														
2003														
2004														
2005														
2006														
2007														
2008														
2009														
2010														
2011														
2012														
2013														
2014														
2015														
Suma	4691.5	4589.5	6400.3	6948.4	5127.4	1918.8	907.8	917.3	2720.9	4601.0	5235.1	4798.3	48856.3	4071.3
media	123.4	120.7	168.4	182.8	134.9	49.2	23.2	23.5	69.7	117.9	134.2	123.0	1271.4	105.9
minima	20.2	35.7	20.7	18.1	1.6	1.2	1.8	0.0	2.6	11.8	15.3	6.3	0.0	0.0
maxima	347.9	319.6	614.1	334.1	302.4	177.7	122.1	104.8	184.2	213.6	360.2	288.4	1712.3	614.1

Anexo 5: Precipitación total mensual de la Estación Inguincho. Período 1964-2015.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA

Temperatura Media Mensual (°C)

SERIES MENSUALES DE DATOS METEOROLOGICOS

NOMBRE: INGUINCHO CODIGO: M0001

PERIODO: 1900 - 2017 LATITUD: 06 15' 30" N LONGITUD: 78 24' 3" W ELEVACION: 3140.00

ANOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	SUMA	MEDIA
1978	10.0	10.8	10.2	10.3	10.2	9.5	9.2	9.3	9.7	9.6	11.3	10.2	120.3	10.0
1979	10.3	10.3	10.3	10.4	10.3	10.0	9.6	9.5	10.2	10.3	10.3	10.3	121.8	10.1
1980	10.6	10.0	10.4	10.5	10.5	10.1	9.7	9.6	10.4	10.3	10.4	10.3	122.8	10.2
1981	10.3	10.5	10.5	10.6	10.3	9.9	9.3	9.7	10.0	10.5	10.1	10.3	122.0	10.1
1982	9.9	10.4	10.3	10.4	10.4	10.2	9.4	9.5	10.1	10.0	10.7	10.7	122.0	10.1
1983	11.4	11.0	11.4	10.9	11.1	10.4	9.9	9.8	9.9	10.0	10.9	9.7	126.4	10.5
1984	9.3	9.6	10.3	9.9	9.9	9.7	9.0	10.0	9.2	10.0	9.7	10.4	117.0	9.7
1985	9.6	9.4	9.9	10.1	10.1	9.7	8.7	9.3	10.0	10.2	10.5	10.2	121.1	10.0
1986	10.1	9.4	9.5	10.1	10.5	10.1	9.4	9.9	10.5	10.1	10.5	10.6	129.7	10.8
1987	10.7	11.0	10.7	10.8	10.8	11.0	10.5	10.4	11.0	10.7	11.1	11.0	123.0	10.2
1988	11.1	10.6	10.2	10.4	10.5	10.3	9.8	10.3	10.1	10.3	10.8	9.8	121.4	10.1
1989	10.0	9.8	9.6	10.2	10.2	9.8	10.1	10.0	10.1	10.3	10.8	10.5	124.3	10.3
1990	10.4	10.2	10.3	10.2	10.5	10.2	10.0	10.3	10.4	10.5	10.8	10.5	124.6	10.3
1991	10.7	10.7	10.8	10.5	10.6	10.7	9.8	9.5	10.3	10.1	10.3	10.6	123.2	10.2
1992	10.7	10.2	10.6	10.4	10.3	10.4	9.5	9.7	9.8	10.3	10.6	10.7	125.2	10.4
1993	10.4	10.5	10.2	10.5	10.4	10.2	10.0	10.5	10.2	10.7	10.8	10.8	125.2	10.4
1994	10.7	10.9	10.9	10.9	11.0	10.6	10.6	10.0	11.0	10.9	10.5	11.0	135.8	11.3
1995	11.1	11.0	10.8	11.1	11.3	11.5	11.1	11.4	11.6	11.7	11.7	11.5	128.4	10.7
1996	11.3	11.2	11.0	11.4	11.0	10.6	10.4	10.5	10.8	10.0	10.1	10.1	121.5	10.1
1997	9.6	9.7	9.8	9.7	10.6	9.9	10.4	10.2	10.1	10.7	10.0	10.8	127.2	10.6
1998	11.6	12.0	11.3	11.6	11.0	9.9	9.4	9.6	10.1	10.3	10.0	10.4	112.5	9.3
1999	9.3	8.8	9.5	9.5	9.2	9.2	8.7	9.2	9.1	9.8	10.4	9.8	116.1	9.6
2000	9.2	9.2	9.8	10.1	10.0	9.7	9.1	9.3	9.5	10.3	9.8	10.1	122.7	10.2
2001	9.5	9.8	9.9	10.2	10.6	9.9	9.9	10.2	10.1	11.1	10.6	10.9	123.1	10.4
2002	10.4	10.3	10.8	10.3	10.8	9.7	10.1	10.2	10.8	10.5	10.2	11.0	127.2	10.6
2003	10.8	11.0	10.4	10.7	10.9	10.2	9.9	10.6	10.6	11.0	10.9	10.2	126.1	10.5
2004	10.8	10.7	11.0	10.9	11.2	10.3	10.0	9.9	10.1	10.3	10.4	10.5	127.4	10.6
2005	10.4	10.9	10.7	10.8	10.6	10.2	10.2	10.4	11.2	11.2	11.0	9.8	124.4	10.6
2006	10.2	10.6	10.4	10.3	10.8	10.3	10.0	10.0	10.2	10.5	10.4	10.7	126.1	10.3
2007	11.0	10.3	10.8	10.8	11.2	10.2	10.8	9.9	10.0	10.4	10.7	10.0	123.3	10.2
2008	10.1	9.7	9.8	10.2	10.2	10.5	9.7	10.3	11.0	10.7	10.9	10.2	126.7	10.5
2009	10.2	10.2	10.5	10.6	11.1	10.5	10.3	10.3	10.6	10.7	10.8	10.9	126.0	10.5
2010	10.9	11.0	11.2	11.1	11.0	10.6	10.4	10.1	10.2	10.2	9.6	9.7	121.1	10.0
2011	9.9	9.5	9.9	9.9	10.6	10.5	9.9	10.6	10.0	9.8	10.3	10.2	123.9	10.3
2012	10.0	9.2	10.2	9.9	10.1	10.3	10.6	10.5	10.9	10.8	10.8	10.6	127.9	10.6
2013	11.0	10.3	11.0	11.1	10.5	10.6	10.2	10.3	10.9	10.7	10.6	10.7	126.7	10.5
2014	10.9	10.9	10.5	11.3	10.6	10.1	10.6	9.9	10.5	10.3	10.6	10.5	126.7	10.5
2015	10.3	10.8	10.7	10.8	10.9	10.8	10.6	10.8	11.5	11.4	11.2	11.7	131.5	10.9
media	10.3	10.3	10.4	10.5	10.5	10.2	9.9	10.0	10.3	10.4	10.5	10.4	124.1	10.3
minima	9.2	8.8	9.5	9.5	9.2	9.2	8.7	9.2	9.1	9.6	9.6	9.7	117.7	8.7
maxima	11.6	12.0	11.4	11.6	11.3	11.5	11.1	11.4	11.6	11.7	11.7	11.7	131.5	12.0

Anexo 6: Temperatura media mensual de la Estación Inguincho. Período 1978-2015