

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

**CARRERA:
INGENIERÍA AMBIENTAL**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:
INGENIERO AMBIENTAL.**

**TEMA:
CUANTIFICACIÓN DE CARBONO EN BIOMASA AÉREA Y NECROMASA
EN ZONAS QUEMADAS DENTRO DE LA RESERVA ECOLÓGICA LOS
ILLINIZAS**

**AUTOR:
SAÚL ALEJANDRO NOBOA EGAS**

**TUTORA:
PATRICIA MARIBEL GUTIÉRREZ SALAZAR**

Quito, abril del 2016

Cesión de derechos de autor

Yo Saúl Alejandro Noboa Egas, con documento de identificación N° 1724986821, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del trabajo de titulación intitulado: CUANTIFICACIÓN DE CARBONO EN BIOMASA AÉREA Y NECROMASA EN ZONAS QUEMADAS DENTRO DE LA RESERVA ECOLÓGICA LOS ILLINIZAS, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: ingeniero ambiental, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

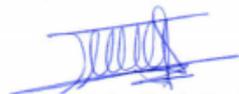
En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.


.....
Saúl Alejandro Noboa Egas
1724986821
Abril de 2016

Declaratoria de coautoría del docente tutora

Yo, declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de titulación CUANTIFICACIÓN DE CARBONO EN BIOMASA AÉREA Y NECROMASA EN ZONAS QUEMADAS DENTRO DE LA RESERVA ECOLÓGICA LOS ILLINIZAS realizado por Saúl Alejandro Noboa Egas, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, Abril de 2016



Patricia Maribel Gutiérrez Salazar

1718427220

ÍNDICE

Introducción	1
1. Objetivos.....	4
1.1. General	4
1.2. Específicos.....	4
2. Marco Teórico.....	5
2.1. El páramo	5
2.1.1. El páramo de la Reserva Ecológica los Illinizas.....	6
2.1.1.1. Aspectos ecológicos de la REI.....	7
2.1.1.2. Demanda del recurso hídrico.	8
2.2. Importancia del páramo	9
2.3. Impactos	10
2.4. Métodos de cuantificación de carbono en biomasa aérea	13
2.4.1. Método directo de cuantificación de carbono en páramo.....	14
2.5. Método de cuantificación de carbono en necromasa.....	15
3. Hipótesis	17
4. Ubicación.....	18
5. Materiales y Metodología	20
5.1. Materiales	20
5.2. Metodología.....	20
6. Resultados y discusión de resultados.....	23
6.1. Resultados	23
6.2. Discusión de resultados	25
7. Conclusiones.....	27
8. Recomendaciones	28
9. Referencias.....	29
10. Anexos	33

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Datos de Transectos	23
------------------------------------	----

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Uso del recurso hídrico proveniente del páramo de la REI.	8
Figura 2. Parcelas y subparcelas para recolección de biomasa en páramo.	14
Figura 3. Precipitación en la Zona Subtropical.	18
Figura 4. Precipitación en la Zona Andina.	18
Figura 5. Mapa de Microcuencas.	19
Figura 6. Trazado de la parcela.	20
Figura 7. Pesado de muestras y submuestras.	21
Figura 8. Secado de submuestras.	22
Figura 9. Mapa de ubicación de transectos y cuantificación de carbono en la REI... ..	24
Figura 10. Relación entre el tiempo transcurrido después del fuego (años) y la cantidad de carbono existente por metro cuadrado (g C/m^2).	25

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Mapa de Ubicación de la REI.....	34
Anexo 2. Datos obtenidos de muestras y submuestras.	35
Anexo 3. Comparación vehículos - quema	36

Resumen

La presente investigación se realizó en el páramo de la Reserva Ecológica Los Illinizas (REI), específicamente en zonas quemadas durante los últimos 5 años. La información de la ubicación de estas zonas fue proporcionada por el área administrativa de la reserva.

El propósito de la investigación fue cuantificar la cantidad de carbono contenido en la biomasa aérea y necromasa en zonas quemadas de la REI y correlacionarlo con el tiempo transcurrido después del incendio, con el objetivo de determinar la edad del fuego. Además, conocer la cantidad de vegetación que se perdería en caso de un incendio, así como su contenido de carbono y la emisión de CO₂ que se produciría hacia la atmósfera tras ser quemada.

Como resultado se obtuvo una ecuación ($R^2=0,9677$; $p=0,00249$) con la cual se podría estimar el tiempo que ha transcurrido después del fuego conociendo la cantidad de carbono contenida en la biomasa del páramo. Con respecto a la biomasa y cantidad de carbono acumulado, se determinó que entre 4 y 5 años después de producirse el incendio se acumula aproximadamente 24 ton/ha de biomasa y 7,57 ton C/ha. Es importante mencionar que no se encontró necromasa en la zona de estudio. En cuanto a la emisión de CO₂, esta dependerá de la cantidad de biomasa existente. Tomando como ejemplo la extensión más grande de las zonas estudiadas (850 ha en Agosto del año 2015) la cantidad de CO₂ estimada sería de 23.593 ton CO₂.

Abstract

This research was conducted in the moorland of the Ecological Reserve Illinizas (REI), specifically in areas burned during the last 5 years. The location of these areas was provided by the administrative area of the reserve.

The purpose of the research was to quantify the carbon in the air biomass and necromass in burned areas of REI and correlate with the time elapsed after the fire, in order to determine the age of the fire. Also, knowing the vegetation that would be lost in case of a fire, its carbon content and the CO₂ emissions that would produce to the atmosphere after being burned.

The result was an equation which could estimate the time that has elapsed after the fire knowing the carbon contained in biomass moorland. Regarding to the accumulated biomass and carbón, was obtained that from 4 to 5 years after the fire exist approximate 24 ton biomass / ha and 7.57 ton C / ha. It's important to mention that wasn't found necromass in the study area. Regarding CO₂ emissions, this will depend on the amount of biomass. Assuming for example the largest extension of the studied areas (850 ha in August 2015) the estimated amount of CO₂ would be 23,593 ton CO₂.

Introducción

“Los incendios y conatos de incendios de la cobertura vegetal constituyen en la actualidad uno de los temas de mayor registro en los medios de comunicación a nivel mundial, por su incremento en frecuencia, área afectada y sus impactos” (Armenteras Pascual, y otros, 2011, pág. 11). Año tras año, en temporada seca, estos han consumido varias hectáreas de bosque y páramo generando volúmenes considerables de CO₂ que van hacia la atmósfera producto de la quema de la biomasa. “En los países del trópico americano, el fenómeno genera alteración de sus ciclos naturales, afectando especialmente el potencial de producción de bienes y servicios ecosistémicos” (Armenteras Pascual, y otros, 2011, pág. 11).

Según Paguay (2011) los páramos cubren un 5% del territorio ecuatoriano, mientras que los bosques amazónicos ocupan el 45% del territorio (Secretaría Pro Tempore Tratado de Cooperación Amazónica, 1992). Esta relación haría pensar que los páramos tendrían una importancia relativamente baja en comparación con los bosques amazónicos. Conjetura totalmente fuera de la realidad. Los páramos son ecosistemas fundamentales para el desarrollo de la vida en los lugares donde se los puede encontrar.

El páramo es un ecosistema importante por su biodiversidad y su gran capacidad de regulación hídrica (Andrade Perez, 2007), almacena carbono atmosférico y sirve como corredor biológico para diversas especies de flora y fauna (Andrade & Yepez, 2014). “En los páramos se provee gran cantidad de agua para riego, agua potable y energía eléctrica de los países” (Paguay Flores, 2011, pág. 21).

En el páramo se puede encontrar pantanos, lagunas y ríos, por lo que son considerados humedales de altura, además poseen fundamental importancia en el ciclo hídrico de la Tierra ya que reciben el agua de los glaciares, lluvias y neblina (Andrade & Yepez, 2014). En los páramos, el recurso hídrico se encuentra disponible para el aprovechamiento en tierras bajas, asegurando el suministro de agua para las ciudades mediante la formación de grandes o pequeños reservorios donde se almacena (Andrade & Yepez, 2014).

Los páramos se encuentran atravesando grave peligro por incendios generados en actividades agrícolas y ganaderas. Los incendios, además de destruir la biodiversidad tanto de vegetación como de fauna existente, contribuyen al cambio climático por el aumento de emisión de gases de efecto invernadero. El pajonal y pequeños bosquetes

que se encuentran en este ecosistema al ser quemados se convierten en una importante fuente de emisión de CO₂ (Mena Vásconez & Hofstede, 2006).

En países como Colombia y Ecuador, los cuales poseen una vasta extensión de páramos (Mena Vásconez & Hofstede, 2006), la situación de incendios se ha tornado alarmante. En Colombia se quemaron 80 ha del páramo de Sumapaz, el más grande del mundo en su tipo y el cual contiene musgos y frailejones que tardan hasta 100 años en crecer un metro (Diario El Tiempo, 2007). Además, en este mismo país en Julio del 2015 se quemaron 200 ha del páramo de Romerales (Diario El Tiempo, 2007).

De igual manera en Ecuador, las superficies más afectadas por incendios fueron los páramos, para ese año se vieron afectadas 13.999 ha de las 21.570 ha incendiadas a nivel nacional (MAE, 2012). En la Reserva Ecológica Los Illinizas, lugar donde se desarrollará nuestra investigación, en el año 2012 alrededor de 800 a 1.000 ha se vieron afectadas por incendios (Diario La Hora, 2012). Además, en la Reserva Ecológica del Ángel, al norte del país, se consumieron alrededor de 3.000 ha de frailejones (Agencia Andes, 2015).

El páramo “es un gran reservorio para carbono y al conservarlo se evita mayor emisión de este elemento a la atmósfera” (Medina & Mena, 1999, pág. 8). “El pajonal de páramo contiene 40 toneladas por hectárea de materia seca y al quemarlo se pierde máximo 20 toneladas de carbono elemental” (Medina & Mena, 1999, pág. 8). Además, el suelo del páramo puede llegar a almacenar hasta 1.700 toneladas de carbono por hectárea y este podría salir a la atmósfera al ser quemada su superficie (Medina & Mena, 1999). “Al dejar la tierra expuesta al aire, se seca el suelo superficial y la descomposición aumenta, lo que resulta en una oxidación de la materia orgánica y una emisión de carbono a la atmósfera” (Medina & Mena, 1999, pág. 9).

El aumento en la frecuencia y áreas afectadas por los incendios, producto de actividades antrópicas, ha generado un crecimiento de los valores de CO₂ por metro cuadrado que se emanan a la atmósfera, contribuyendo de esta manera al cambio climático por motivo del aumento de gases de efecto invernadero.

Debido a que no existe en varias zonas registro de incendios a pesar de que estos son comunes en los páramos, el presente estudio busca estimar la cantidad de carbono contenido en la biomasa aérea y necromasa en zonas quemadas dentro del páramo de la Reserva Ecológica los Illinizas (REI) para correlacionar con el tiempo transcurrido

después del incendio, con el objetivo de determinar la edad del fuego. Además, se busca cuantificar la cantidad de biomasa que se pierde en el páramo de la REI y la cantidad de CO₂ por metro cuadrado que se emana a la atmósfera producto de incendios.

1. Objetivos

1.1. General

- Cuantificar el carbono contenido en la biomasa aérea y necromasa en zonas quemadas del páramo de la Reserva Ecológica “Los Illinizas”.

1.2. Específicos

- Determinar la cantidad de carbono existente en la biomasa aérea y necromasa en zonas quemadas en los últimos 10 años en el páramo de Los Illinizas.
- Determinar la relación que existe entre la cantidad de biomasa aérea y necromasa y el tiempo que ha transcurrido después del incendio.
- Generar un mapa que exprese la relación entre el tiempo que ha transcurrido desde el último incendio en la zona y la cantidad de biomasa existente.

2. Marco Teórico

2.1. El páramo

La palabra páramo “es el nombre que se les da a los ecosistemas típicos de las grandes alturas tropicales de América del Sur, es decir, de Venezuela, Colombia, Ecuador y el norte de Perú, con pequeñas extensiones en Panamá y Costa Rica” (Paguay Flores, 2011, pág. 28).

“El páramo es un ecosistema natural sobre el límite de bosque cerrado en los Andes del Norte, dominado por pajonal, rosetales, arbustales, humedales y pequeños bosquetes” (Mena Vásconez & Hofstede, 2006, pág. 91). “Se ubica discontinuamente en el Neotrópico desde altitudes de aproximadamente 2.900 msnm hasta la línea de nieves perpetuas, aproximadamente 5.000 msnm” (Paguay Flores, 2011, pág. 1). Además, “está caracterizado por una vegetación dominante no arbórea, alta irradiación ultravioleta, bajas temperaturas y alta humedad” (Baquero , Sierra , & Ordoñez, 2004, pág. 52).

“En Ecuador los páramos ocupan un total de 1'260.217,817 ha entre páramo de pajonal, de frailejones, herbáceo de almohadilla, arbustivo, páramo seco, páramo pantanoso y superpáramo” (Toasa Vargas, 2011, pág. 7). “En términos relativos, Ecuador es el país que más páramos tiene con respecto a su extensión total” (Mena Vásconez & Hofstede, 2006, pág. 92).

En el Ecuador, los páramos forman parte de una notable biodiversidad debido a su ubicación en la línea ecuatorial, la presencia de la cordillera de los Andes, la existencia de una fuente perhúmeda amazónica y de varias corrientes marinas frías cálidas frente a las costas (Mena Vásconez & Hofstede, 2006).

“La alta irradiación solar y las bajas temperaturas han generado una biodiversidad especial que presenta adaptaciones como la vellosidad, los colores oscuros, la pequeñez y dureza en las hojas, y la disminución del metabolismo en las horas de más frío” (Mena Vásconez & Hofstede, 2006, pág. 93).

La escalera ecológica que se crea en el páramo permite la existencia de una variada diversidad de especies vegetales y animales (Paguay Flores, 2011).

En el páramo podemos encontrar distintos tipos de vegetación como son: vegetación boscosa, matorrales, frailejonales, pajonales, rosetas, prados, chuscales, pastizales, vegetación de turbera, vegetación de cojines, vegetación acuática o de páramo (Rangel, 2000).

El páramo ecuatoriano se subdivide en tres grandes regiones. Los páramos de la Sierra norte se localizan en las provincias Carchi, Imbabura y Pichincha, los de la Sierra central pertenecen a las provincias Cotopaxi, Tungurahua, Chimborazo y Bolívar, y los de la Sierra Sur corresponden a las provincias de Cañar, Azuay y Loja (Damián Carrión, 2014).

En el Ecuador se pueden encontrar diez tipos diferentes de páramo: páramo de pajonal (cubren alrededor del 70% de la extensión de este ecosistema), páramo de frailejones (ubicados en las provincias de Carchi y Sucumbios, y una pequeña parte de los páramos de los Llanganates), páramo herbáceo de almohadillas (un ejemplo claro se encuentra en la Reserva Ecológica Cayambe Coca, en el sector de las antenas cerca al páramo de la Virgen), páramo herbáceo de pajonal y almohadillas, páramo pantanoso (Se encuentra principalmente en la cordillera oriental, en los páramos de Cayambe, Antisasa, Llanganates y Sangay), páramo seco (ubicado al sur del Azuay y norte de Loja), páramo de arenales, páramo arbustivo del sur (localizado en la provincia de Loja, llamado también “paramillo”), superpáramo (en páramos que superen los 4.200 msnm), superpáramo azonal (pueden estar a altitudes menores que el superparamo, la presencia de lahares recientes impiden que la vegetación pueda crecer. Un ejemplo claro son los páramos del Cotopaxi y del Antisana) (Mena Vásquez & Medina, 2001).

2.1.1. El páramo de la Reserva Ecológica los Illinizas.

Uno de los páramos más importantes que posee el Ecuador, es el de la Reserva Ecológica los Illinizas (REI), la segunda más grande del país en extensión (149.900 ha) después de la Reserva Ecológica Cotacachi Cayapas, y lugar donde se centrará el presente estudio. La REI “constituye uno de los principales sitios para la conservación de la biodiversidad en Ecuador, pues alberga un sin número de especies, debido a sus múltiples climas y formaciones vegetales, que abarcan desde bosques tropicales, hasta páramos andinos” (MAE, 2010).

Según Romeo – Torres (1997) en el folleto *Reserva Ecológica Los Illinizas* citado por Cerna (2006, pág. 40) de las 149.900 ha que conforma la reserva, “119.100 ha originalmente eran bosque nublado y 30.800 ha pertenecían al páramo”.

La REI posee un rango altitudinal que va desde 800 a 5.265 msnm., cuenta con una gran riqueza de flora y fauna representativa del Ecuador y recursos hídricos que son aprovechados para la generación de energía eléctrica (Ministerio del Ambiente; Dirección Nacional de Biodiversidad, 2008).

2.1.1.1. Aspectos ecológicos de la REI.

La REI posee fundamental importancia ecológica ya que sus extensiones de bosque es refugio para especies vegetales y animales consideradas endémicas en bosques occidentales, por lo que esta zona podría usarse en un futuro como bancos genéticos (Ministerio del Ambiente; Dirección Nacional de Biodiversidad, 2008). Además, el páramo de la REI sirve como lugar de almacenamiento de agua ya que capta el vapor de agua proveniente de las zonas costeras y de esta manera “favorece la formación de 8 microcuencas hidrográficas, en las cuales se originan afluentes importantes para las cuencas hidrográficas de Esmeraldas, Guayas y Pastaza” (Ministerio del Ambiente; Dirección Nacional de Biodiversidad, 2008, pág. 31).

En el páramo de la REI desde los 3.000 msnm hasta el límite nieval por encima de los 4.200 msnm, se puede encontrar a distintos niveles de altitud vegetación como: piquiles (*Gynoxys buxifolia*), colca (*Miconia crocea*), mortiño (*Vaccinium mortinia*), pumamaqui (*Oreopanax sp.*), sigse (*Cortaderia nitida*), cacho de venado (*Halenia weddeliana*), sisán (*Genciana sedifolia*, *Gentianella selaginifolia*, y *Gentianella difusa*), *Agrostis breviculmis*, aretillo (*Azorella pedunculata*), chuquiragua (*Chuquiraga jussieui*), valeriana (*Valeriana microphylla*), taruga (*Werneria nubigena*), trencilla (*Loricaria ilinisiae*), cola de caballo (*Ephedra americana*), ashpa chocho (*Lupinus microphyllus*), entre otras (Coloma Santos, 2007).

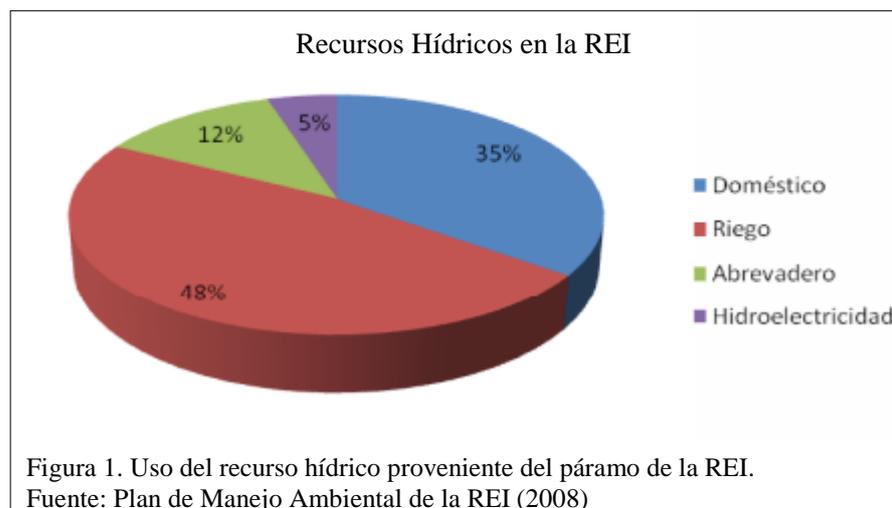
Además, En la *Guía del Patrimonio de Áreas Naturales Protegidas del Ecuador* “se enfatiza la posible existencia de 292 especies endémicas para la RELI, entre ellas 41 confirmadas” (Coloma Santos, 2007, pág. 144). Entra las más representativas podemos encontrar: *Anthurium subcoerulescens*, *Monticalia microdon*, *Draba aretioides*, *Eudema nubigena*, *Macleania loeseneriana*, *Geranium chimboracense*, *Calamagrostis aurea*, *Lachemilla jamesonii*, *Polylepis reticulata*, *Palicourea calothyrsus*, *Calceolaria odontophylla* (Coloma Santos, 2007).

En cuanto a la fauna existente en la REI, se han reportado alrededor de 50 mamíferos, de los cuales se destacan el oso de anteojos (*Tremarctos ornatus*), lobo de páramo (*Lycalopex culpaeus*), puma (*Puma concolor*), conejo (*Sylvilagus brasiliensis*), los murciélagos fruteros (*Sturnira sp.* y *Carollia sp.*), la guanta (*Cuniculus paca*), entre otros (Coloma Santos, 2007). Además se estima que en la REI existen 257 especies de aves, de las cuales especies como gralaria gigante (*Grallaria gigantea*), zamorrito canoso (*Haplophaedia lugens*) y corcovado dorsioscuro (*Odontophorus melanonotus*) están considerados como endémicas

(Coloma Santos, 2007). Con respecto a la presencia de anfibios y reptiles, existen alrededor de 30 especies de reptiles y 22 especies de anfibios (Coloma Santos, 2007).

2.1.1.2. *Demanda del recurso hídrico.*

De acuerdo con el Plan de Manejo de la Reserva Ecológica los Illinizas (2008, pág. 24) con respecto a la demanda de los recursos hídricos que provee el páramo de la REI “establece que los principales usos en la zona son: doméstico, riego, abrevadero e hidroeléctrico” (Ver Figura 1).



De acuerdo al último estudio realizado se ha concesionado alrededor de 1.362,97 l/s de agua para riego a un total de 969 usuarios que poseen alrededor de 3.612 ha (Ministerio del Ambiente; Dirección Nacional de Biodiversidad, 2008) . Además, la altitud de donde provienen el agua para riego varían desde los 2.500 a 4.700 msnm (Ministerio del Ambiente; Dirección Nacional de Biodiversidad, 2008).

El agua concesionada para el uso doméstico proviene de altitudes que van desde los 1.757 a 4.050 msnm, posee un caudal promedio de 1,58 l/s para las 51 concesiones registradas (Ministerio del Ambiente; Dirección Nacional de Biodiversidad, 2008).

En cuanto al uso del agua proveniente del páramo de la REI para abrevadero, se tiene datos de 18 concesiones registradas con un caudal promedio de 0,12 l/s (Ministerio del Ambiente; Dirección Nacional de Biodiversidad, 2008).

La hidroeléctrica Toachi – Pilaton es el proyecto más importante para generación de energía existente en la zona, aprovecha el agua de los ríos Pilatón y Toachi (Ministerio del Ambiente; Dirección Nacional de Biodiversidad, 2008). El proyecto, que finalizará su construcción a mediados del 2016, generará 254,40 MW de potencia y aprovechará “el potencial de los Ríos Toachi y Pilatón, con un caudal

medio anual de 41.30 m³/s y 28.65 m³/s respectivamente” (Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, 2016).

2.2. Importancia del páramo

Los páramos, también conocidos como ecosistemas tropicales húmedos altoandinos, “han sido reconocidos como un sistema de alta importancia para la conservación de la biodiversidad y los procesos biológicos” (Salcedo, 2014, pág. 11). Este ecosistema es el hogar de especies únicas en el mundo, “seis de cada diez especies de plantas que se encuentran en los páramos sólo habitan allí” (Herrera, 2003). “Debido a la geografía y condiciones climáticas extremas (baja presión atmosférica, fluctuaciones diarias y bruscas de temperatura, radiación intensa de luz, fuertes vientos) los organismos de este ecosistema exhiben altas tasas de evolución y niveles de endemismo de hasta 60%” (Salcedo, 2014, pág. 11).

El páramo es considerado como un medio de regulación de los fluidos hídricos gracias a su capacidad de almacenamiento de agua en periodos húmedos y liberación progresiva de este recurso en periodos secos (Ipial Guerrón, 2013). El suelo del páramo ayuda a controlar la intensidad de las crecidas de los ríos gracias a su alto poder de infiltración (Ipial Guerrón, 2013).

La gran cantidad de agua que se almacena en el ecosistema páramo ha sido usada por el ser humano a lo largo de la historia para riego, consumo y generación de energía eléctrica, “lo que le confiere a este ecosistema una importancia invaluable para el funcionamiento de las grandes metrópolis” (Ipial Guerrón, 2013, pág. 21). Claros ejemplos de esto son ciudades como Bogotá, Quito, Cali, Cuenca y Merida (Ipial Guerrón, 2013). Además, los páramos cumplen funciones de mitigación al cambio climático debido a que la concentración de materia orgánica en los suelos ayuda a almacenar carbono, permitiendo que este no salga a la atmósfera y contribuya al cambio climático por aumento de gases de efecto invernadero (Mena Vásconez & Hofstede, 2006).

El páramo también es capaz de brindar servicios ambientales a la sociedad, ya que al poseer una belleza escénica propia es muy atractivo para turistas nacionales e internacionales, generando de esta manera ingresos para las comunidades locales y empresas a través del ecoturismo (Mena Vásconez & Hofstede, 2006).

Debido a estas características y rasgos que presenta el ecosistema páramo en cuanto a biodiversidad, almacenamiento y regulación de recursos hídricos, y retención de

carbono se convierte en un lugar privilegiado e importante para realizar investigación científica.

2.3. Impactos

Los páramos Andinos han sido intervenidos por el ser humano desde hace miles de años. Toasa (2011) afirma:

El páramo se constituye actualmente en un ecosistema antrópico debido a la historia de la intervención humana en este, que data de miles de años. En una primera etapa, en la época pre incaica los pueblos andinos desde el *hanan* (la parte de arriba en kichwa) ejercían el poder determinado por la administración del territorio y de los recursos como el agua. Este piso de altura era considerado como una zona de producción no intensiva donde vivían los caciques, o principales. Una segunda época (del siglo XV al XIX) podemos relacionarla con del período de la conquista y establecimiento del poder español sobre los territorios amerindios en la región andina, que generó una colonización de los páramos y el desplazamiento de los campesinos e indígenas de tierras bajas con mayor potencial agroecológico hacia tierras altas menos productivas. En esta última, los colonizadores españoles y criollos se apropiaron de grandes territorios de páramo en los cuales se introdujeron además especies foráneas de flora y fauna, dentro de la modalidad productiva de la hacienda colonial, que perdura en lo posterior a la Independencia y conformación Republicana. Una tercera etapa de colonización del páramo se da en el período de reforma agraria de 1964 y 1973 que se prolonga hasta la década de los ochenta, en la que se producen transformaciones del agro por intervención del Estado; se generan afectaciones de los latifundios en el agro serrano y las comunidades indígenas acceden al reconocimiento de tierras en distintas modalidades. A partir de ello, se producen reconfiguraciones del espacio páramo para dichos pueblos (págs. 7 - 8).

En la época contemporánea, desde fines de los años setenta, el páramo deja de ser considerado una zona exclusivamente productiva y empieza a tener importancia ecológica (Toasa Vargas, 2011).

Entre los impactos más significativos para los páramos se encuentra la ganadería y agricultura extensiva (Hofstede, Segarra, & Mena Váscones, 2003), además de la deforestación y reforestación con especies foráneas (Herrera, 2003). En el Ecuador se estima que de “20.000 km² que podrían ser ocupados por páramos, el 40% ha sido transformado en cultivos, pastos sembrados o tierras erosionadas, y un 30% en pastizales que se queman regularmente y sufren pastoreo moderado” (Proyecto Páramo Andino, 2010). “La quema es utilizada como una práctica tradicional en la que el fuego consume la biomasa aérea de las plantas e induce el crecimiento de hojas nuevas que sirven de alimento para el ganado” (Salcedo, 2014, pág. 12).

En el páramo de Nevados en Colombia “se ha observado que la quema y el forrajeo provocaron diferencias significativas en la estructura de la vegetación explicados por cambios en las propiedades físicas del suelo (compactación y pérdida de humedad)” (Salcedo, 2014, pág. 13). Estos cambios podrían ser más graves si se considera un escenario donde exista aumento de la temperatura y las precipitaciones producto del cambio climático, ya que se podría acelerar los procesos de degradación del suelo (Salcedo, 2014).

Las consecuencias que generan sobre el medio ambiente actividades como los incendios producen pérdida de biodiversidad y contribuyen al aumento de gases de efecto invernadero en la atmósfera.

La biomasa que contiene el páramo convierte a este ecosistema en “un gran reservorio de carbono, y al conservarlo se evita una mayor emisión de este elemento en la atmósfera” (Medina & Mena, 1999, pág. 1). En el Ecuador se han desarrollado iniciativas como Socio Bosque y Socio Páramo que permiten la conservación de áreas protegidas mediante programas de incentivos (pagos) a los pobladores, “lo que ha permitido la conservación de 1’058.828 ha de bosques nativos y páramos de gran importancia para la protección, captura de carbono y regulación de recursos hídricos” (Andrade & Yepez, 2014, pág. 53).

“Las concentraciones de CO₂ han aumentado en un 32% desde la revolución industrial y más de las tres cuartas partes de este aumento se deben a la quema de combustibles fósiles y a los incendios forestales” (Andrade & Yepez, 2014, pág. 52).

Los incendios en el páramo y en zonas forestales en el país han aumentado en los últimos años, lo que ha generado más emisiones de carbono a la atmósfera producto de la quema de biomasa. En países agrícolas y ganaderos, como el Ecuador, se realizan técnicas tradicionales como la quema para la regeneración de la vegetación

que alimenta al ganado, “preparar terrenos para la siembra (roza) y eliminación de los residuos agrícolas antes ó después de la cosecha” (FAO, 2012, pág. 9). Estas técnicas al ser aplicadas en temporada de estiaje “aumentan la probabilidad de que los incendios controlados se propaguen hasta zonas boscosas, dando origen a incendios forestales no controlados” (Arellano & Castillo, 2014, pág. 855).

“Se ha calculado que anualmente se queman entre 800 y 1.200 millones de toneladas métricas de residuos agrícolas, lo que hace que esta práctica sea una fuente importante de contaminación atmosférica, principalmente en los trópicos” (OMS, 1999, pág. 3). “Por tradición, los incendios también son una práctica común para controlar la intrusión de arbustos y maleza en tierras de pastoreo y cultivo” (OMS, 1999, pág. 3).

“Los incendios forestales, además de provocar la deforestación y la pérdida de hábitats, son también responsables del 20% de las emisiones de CO₂ que se producen como consecuencia de las actividades humanas” (Bowman, 2009). Además, Bowman (2009) señala que las emisiones de CO₂ producto de la quema forestal supera a las emisiones producidas por los sistemas de transporte en la Tierra (vehículos, barcos y aviones).

Se estima que los páramos podría llegar a almacenar aproximadamente 1720 toneladas de carbono elemental por ha (considerando carbono aéreo y del suelo) (Medina & Mena, 1999), lo que representaría 6120 toneladas de CO₂ por ha. “Una unidad de carbono elemental (C) equivale a 3.6 unidades de CO₂” (Medina & Mena, 1999, pág. 1).

“Las partículas en suspensión y los humos de los fuegos dificultan el efecto albedo, que es el que refleja los rayos solares de nuevo hacia la atmósfera, contribuyendo al efecto invernadero y al calentamiento de la Tierra” (Bowman, 2009).

Por otro lado, a pesar de lo destructivos que pueden llegar a ser los incendios, muchos ecosistemas necesitan un régimen natural de incendios para su restauración y mantenimiento (Beckage, Platt, & Panko, 2005). En ecosistemas con larga historia de incendios, existen consecuencias cuando los incendios antrópicos se eliminan. La eliminación de los incendios puede generar que se pierda alrededor del 50% de las especies de plantas, donde las pequeñas plantas herbáceas con altos requerimientos de luz para su crecimiento y desarrollo son las más afectadas (Bond & Keeley, 2005).

Varios investigadores sostienen acerca de la tolerancia de ciertas plantas al fuego, y que los rayos y erupciones volcánicas han proporcionado fuentes naturales de ignición en los páramos (White, 2013).

Los incendios que se produzcan fuera de los regímenes naturales tienen efectos negativos sobre la estructura comunitaria y la composición de las especies (Beckage, Platt, & Panko, 2005). Lamentablemente, debido a la ausencia de datos históricos sobre el momento y la frecuencia de los incendios se dificulta definir éste régimen (Beckage, Platt, & Panko, 2005).

En el Ecuador se han realizado algunos estudios referentes a la cuantificación de carbono en páramo, de las cuales citamos: *Cuantificación de carbono en los páramos del parque nacional Yacuri, provincia de Loja y Zamora Chinchipe, Ecuador*, realizada por la Universidad Nacional de Loja, *Almacenamiento de agua y cuantificación de carbono en el ecosistema páramo dentro de un esquema Global Environment Outlook (GEO), caso de estudio: Páramo Pintag-Cuenca Alta del Río Pita*, realizada por la Facultad de Ingeniería Civil de la Escuela Politécnica Nacional y *Cuantificación de Contenido de Carbono en una Plantación de Pino Insigne (Pinus radiata) y en Estrato de Páramo de Ozogoché Bajo, Parque Nacional Sangay, Ecuador*, realizado por la Universidad Nacional de Chimborazo.

2.4. Métodos de cuantificación de carbono en biomasa aérea

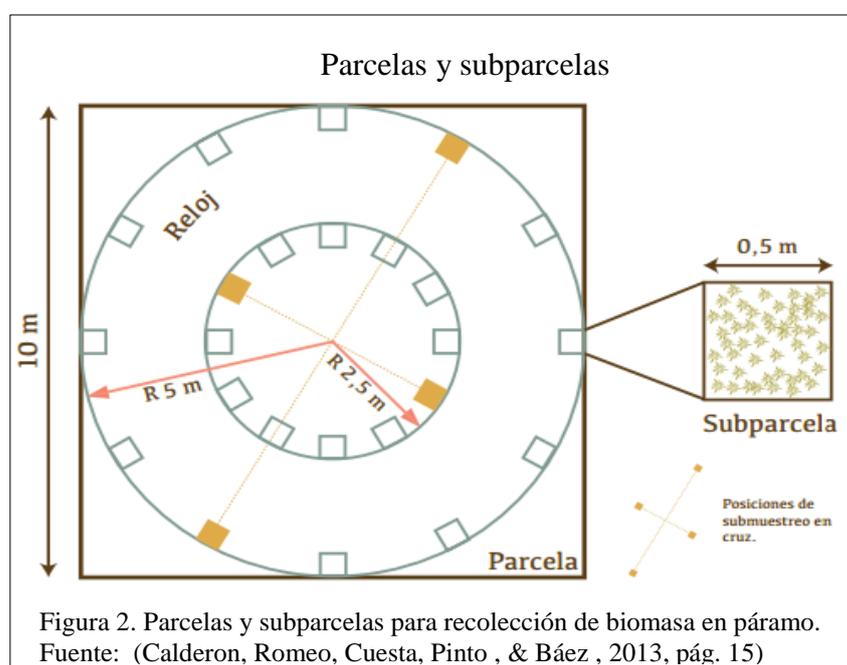
Existen dos métodos para cuantificar carbono. El primero, un método directo o también llamado destructivo, el cual “consiste en cortar uno o más individuos, determinar la biomasa por medio del peso directo de los componentes, y extrapolar los resultados para el área total” (Rugnitz, Chacón, & Porro, 2009, pág. 28). El segundo, un método indirecto, el cual “consiste en utilizar ecuaciones o factores de expansión que permitan relacionar algunas dimensiones básicas obtenidas en campo (de fácil medición) con características de interés, de forma que no sea necesario medir estas últimas” (Rugnitz, Chacón, & Porro, 2009, pág. 28).

Cada uno de estos métodos para la cuantificación de carbono en biomasa aérea puede ser adaptado dependiendo del ecosistema en el que se esté trabajando. Debido a que la altura y la estructura de la vegetación variarán según el ecosistema (ejemplos: bosque, selva, páramo, etc.), será necesario elegir el método idóneo para cada caso.

A continuación se explica la metodología directa a usar en el ecosistema páramo.

2.4.1. Método directo de cuantificación de carbono en páramo.

Para muestreo de biomasa en páramos, superpáramos u otros ecosistemas similares, se realizan dos círculos imaginarios de 2,5 y 5 m de radio dentro de cada parcela cuadrada de 10X10 m (Calderon, Romeo, Cuesta, Pinto , & Báez , 2013). Estos círculos definirán a manera de reloj, 12 posiciones de muestreo. En cada posición existe una subparcela de 50 × 50 cm, que se considera la unidad de submuestreo. “De estas 12 subparcelas, se escogen cuatro subparcelas para cada período de muestreo: dos en el círculo exterior y dos en el círculo interior, formando una cruz. La dirección de la cruz se define al azar” (Calderon, Romeo, Cuesta, Pinto , & Báez , 2013, pág. 15). En la Figura 2 se aprecia la elaboración de la parcela.



Se debe cosechar toda la vegetación presente en las cuatro subparcelas de 50 x 50 cm. “Las muestras colectadas deberán ser pesadas en campo para obtener su peso fresco, a partir de esta se tomará una submuestra representativa que será empacada herméticamente y transportadas al laboratorio para determinar su biomasa y contenido de carbono” (Calderon, Romeo, Cuesta, Pinto , & Báez , 2013, págs. 15,16).

“Para obtener la biomasa de la muestra a partir de la submuestra, se calculará el contenido de humedad de la submuestra, mediante la siguiente ecuación” (Calderon, Romeo, Cuesta, Pinto , & Báez , 2013, pág. 16):

$$CH = \frac{pf - ps}{pf} \times 100$$

Donde:

CH = Contenido de Humedad.

pf = Peso fresco de la submuestra.

ps = Peso seco de la submuestra.

“A partir del contenido de humedad de la submuestra se calculará el peso total de la muestra con la siguiente ecuación” (Calderon, Romeo, Cuesta, Pinto , & Báez , 2013, pág. 16):

$$Ps = Biomasa = Pf - (Pf \times CH)$$

Donde:

Ps = Peso seco de la muestra.

Pf = Peso fresco de la muestra (Pesada en campo).

CH = Contenido de humedad de la submuestra.

“Las muestras de biomasa aérea y necromasa frescas deben secarse hasta alcanzar un peso seco estable (entre 48 y 72 horas) a 70°C” (Rugnitz, Chacón, & Porro, 2009). “El peso seco es la biomasa. La concentración de carbono en una muestra (g C/g muestra) puede asumirse que es igual al 50% del peso seco de una muestra” (Calderon, Romeo, Cuesta, Pinto , & Báez , 2013, pág. 16).

2.5. Método de cuantificación de carbono en necromasa.

Se define a la necromasa como “parte de la biomasa de un ecosistema, formada por órganos muertos, en ocasiones unidos aún a los seres vivos, como es el caso de las ramas, hojas e inflorescencias muertas”(Castellanos Bandera, 2009).

La cuantificación de carbono en necromasa en el páramo presenta la misma metodología que la usada para la biomasa aérea. En base a la Figura 2, se cosecha la necromasa presente en los cuadrantes de 50 X 50 cm. Las muestras ó submuestras deben ser empacadas herméticamente para el posterior análisis en el laboratorio, donde se determinará su peso seco (Calderon, Romeo, Cuesta, Pinto , & Báez , 2013).

“Para determinar la necromasa de una muestra cuando solamente se ha colectado una submuestra de ésta, debe calcularse primero el contenido de humedad de la submuestra”, mediante la siguiente ecuación (Calderon, Romeo, Cuesta, Pinto , & Báez , 2013, pág. 19).

$$CH = \frac{pf - ps}{pf} \times 100$$

De igual manera que en la biomasa aérea, para determinar el peso seco total de la muestra, se utilizará la siguiente ecuación (Calderon, Romeo, Cuesta, Pinto , & Báez , 2013)

$$Ps = Biomasa = Pf - (Pf \times CH)$$

3. Hipótesis

Hi: La estimación de la cantidad de carbono contenida en la biomasa del páramo permite conocer el tiempo en el que se produjo el último incendio.

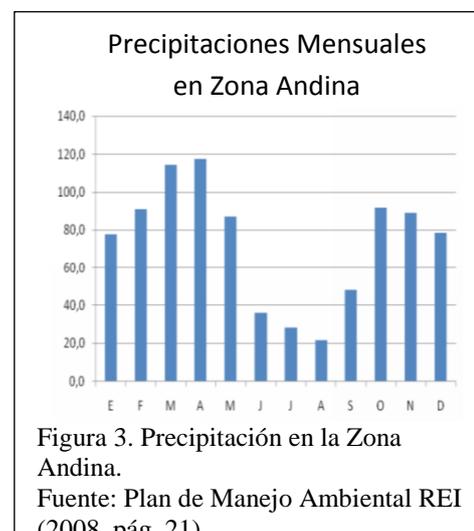
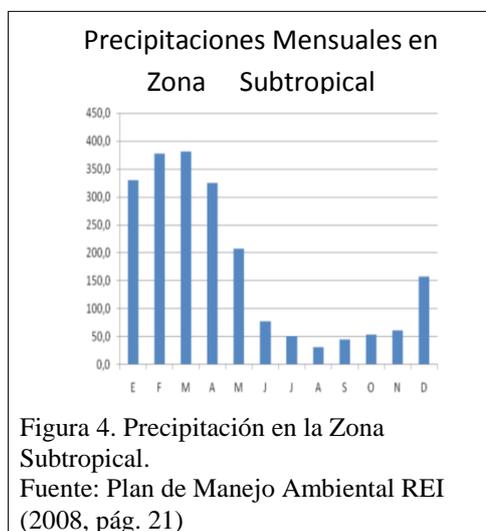
Ho: La estimación de la cantidad de carbono contenida en la biomasa del páramo no permite conocer el tiempo en el que se produjo el último incendio.

4. Ubicación

El estudio se desarrolló en la Reserva Ecológica “Los Illinizas” (REI), tomando en consideración las coordenadas de los lugares donde han existido incendios en los últimos años. Esta información fue proporcionada por la administración de la REI.

La REI, “ubicada en el sector Centro Sierra y en particular en la Cordillera Occidental de los Andes, entre los sectores de la Cordillera Lelia, Cerros Illinizas, El Corazón, Jaligua Alto, Tenufuerte y la Laguna Quiltoa entre los ríos Toachi y Angamarca” (Ministerio del Ambiente; Dirección Nacional de Biodiversidad, 2008, pág. 2), posee una extensión de 149.900 ha y una altitud que va entre los 800 a 5265 msnm (Ministerio del Ambiente, 2014), temperaturas medias que varía entre 9 y 11 °C, y temperaturas extrema absolutas de 0 y 22 °C (Coloma Santos, 2007). El área donde se encuentra la reserva corresponde a las provincias de Cotopaxi, Pichincha y Santo Domingo de los Tsachilas (Ministerio del Ambiente; Dirección Nacional de Biodiversidad, 2008). Ver Anexo 1.

“El clima en la zona de la REI se encuentra influenciado por la Zona Subtropical y la Zona Andina” (Ministerio del Ambiente; Dirección Nacional de Biodiversidad, 2008, pág. 19). Las precipitaciones varían desde los 500 – 4000 mm al año (Ministerio del Ambiente; Dirección Nacional de Biodiversidad, 2008). En la Zona Subtropical, el periodo seco comprende los meses de julio a noviembre, mientras que el periodo de lluvias entre diciembre y mayo (Ver Figura 3); en la Zona Andina el periodo seco comprende los meses de Junio a Agosto, presentando un comportamiento bimodal ya que las precipitaciones presentan picos en los meses de Abril y Octubre (Ver Figura 4) (Ministerio del Ambiente; Dirección Nacional de Biodiversidad, 2008).



La REI está conformada al norte por las microcuencas del sector alto del río Pilatón y el río San Pedro, además de la microcuenca del río Sarapullo, continuando con la parte baja de la microcuenca del río Toachi. Hacia el sur están las microcuencas del sector alto de los ríos Rayo y Quindigua. La REI se encuentra separada por la microcuenca del río San Pablo, para luego continuar por la microcuenca del río Chuquiraguas (Ministerio del Ambiente; Dirección Nacional de Biodiversidad, 2008, pág. 17). Ver Figura 5.



Figura 5. Mapa de Microcuencas.
Fuente: Plan de Manejo Ambiental REI (2008, pág. 18).

La REI posee como suelos dominantes los llamados ANDEPTS, los cuales presentan alto contenido de alofana y materiales amorfos. Estos tipos de suelos se caracterizan por poseer texturas limosas con presencia de arena muy fina, “gran capacidad de retención de agua, color negro en las partes altas templadas y frías, y pardo oscuros y amarillentos o pardo oliva en las áreas más bajas, baja densidad aparente < 0.85 g/cc y la baja fertilidad natural” (Ministerio del Ambiente; Dirección Nacional de Biodiversidad, 2008, pág. 29).

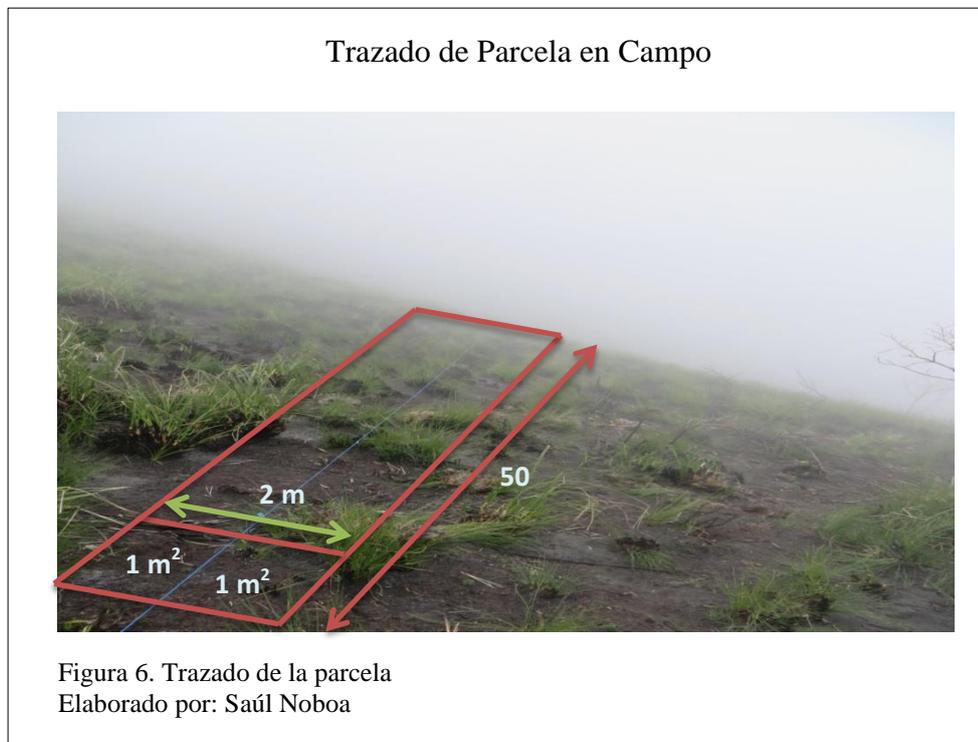
5. Materiales y Metodología

5.1. Materiales

- Balanza.
- Tijera podadora.
- Fundas plástica.
- Fundas plásticas herméticas.
- GPS.
- Estufa.
- Programa estadístico Microsoft Excel.
- Sistema de información geográfica (ArcGis)

5.2. Metodología

Para el estudio se utilizó la metodología propuesta por Calderón *et al.* (2013) modificada en cuanto al trazado de la parcela. Se tomó como unidad experimental parcelas de 100 m² (50mx2m), la cual se dividió en 100 cuadrantes de 1m² cada uno. Se escogieron 3 cuadrantes a los 0, 24 y 49 metros, en donde se cosechó toda la vegetación presente (biomasa aérea y necromasa), cortándola al ras del suelo con una tijera podadora (Figura 6).



Se procedió a pesar las muestras colectadas en campo para obtener su peso fresco, a partir de esta se obtuvo una submuestra representativa la cual fue empacada herméticamente y llevada al laboratorio para la cuantificación de su biomasa y contenido de carbono. (Calderon, Romeo, Cuesta, Pinto , & Báez , 2013). Ver figura 7.



Para obtener la biomasa de la muestra, se calculó el contenido de humedad presente en la submuestra, mediante la siguiente ecuación (Calderon, Romeo, Cuesta, Pinto , & Báez , 2013):

$$CH = \frac{pf - ps}{pf} \times 100$$

Donde:

CH = Contenido de Humedad.

pf = Peso fresco de la submuestra.

ps = Peso seco de la submuestra.

A continuación, mediante la siguiente ecuación se calculó el peso total de la muestra (Calderon, Romeo, Cuesta, Pinto , & Báez , 2013):

$$Ps = Biomasa = Pf - (Pf \times CH)$$

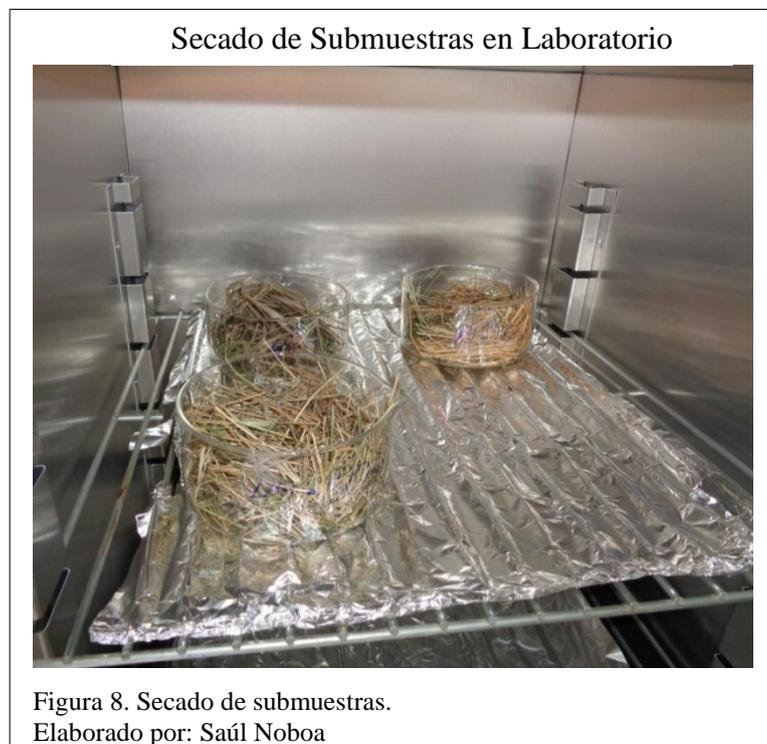
Donde:

P_s = *Peso seco de la muestra.*

P_f = *Peso fresco de la muestra (Pesada en campo).*

CH = *Contenido de humedad de la submuestra.*

Las submuestras de biomasa aérea fueron secadas en la estufa a una temperatura de 70°C durante 72 horas para alcanzar su peso seco estable (Rugnitz, Chacón, & Porro, 2009) (Ver Figura 8). “El peso seco es la biomasa. La concentración de carbono en una muestra (g C/g muestra) puede asumirse que es igual al 50% del peso seco de una muestra” (Calderon, Romeo, Cuesta, Pinto, & Báez, 2013, pág. 16).



Para calcular la cantidad de CO₂ a partir del carbono contenido en la biomasa se utilizó la ecuación propuesta por Chambi (2001):

$$CO_2 = C \times Kr$$

Donde:

CO_2 = Toneladas de Dióxido de Carbono.

C = Carbono (Ton.)

Kr = 44/12

6. Resultados y discusión de resultados

6.1. Resultados

Mediante los informes de incendios proporcionados por el área administrativa de la REI, se procedió a localizar las zonas de estudio y delimitar los transectos en cada punto. Esta información se detalla en la tabla 1.

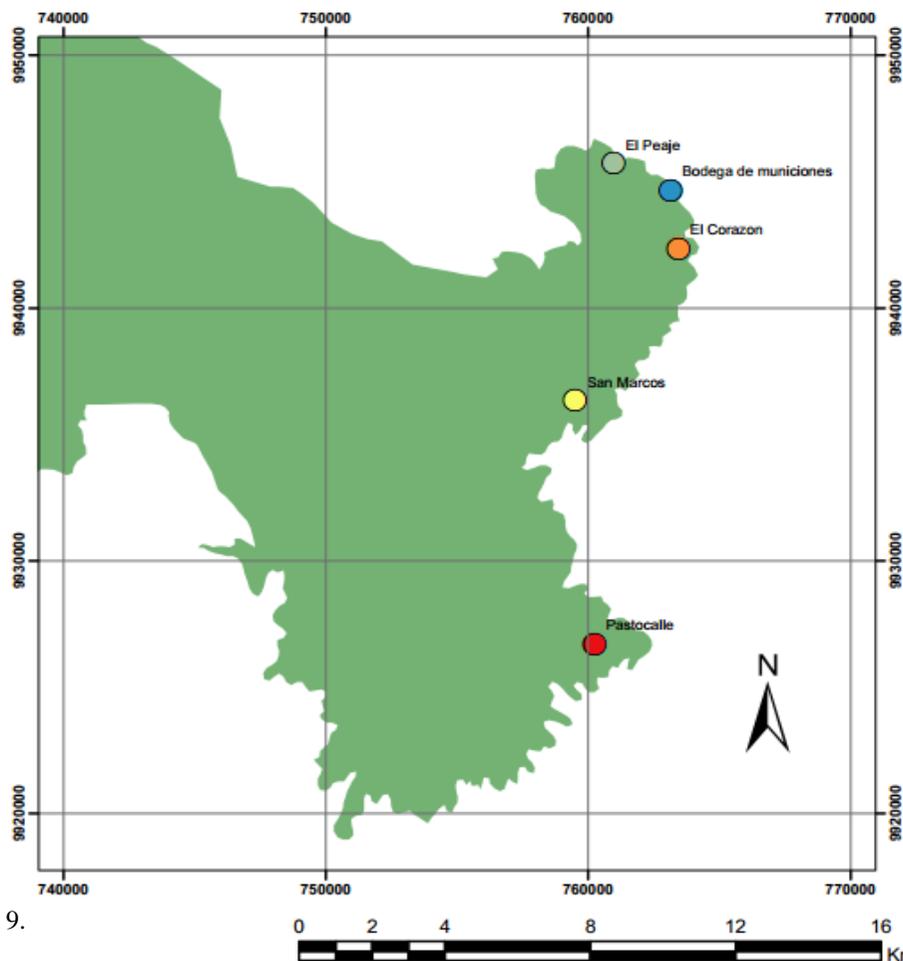
Tabla 1.
Datos de Transectos

Transecto	Ubicación	Fecha de incendio	Fecha de muestreo	Tiempo después del incendio (años)	COORDENADAS DE LAS PARCELAS			
					0m		50m	
I01	El Corazón	10/08/2012	28/10/2015	3,22	763449	9942358	763446	9942409
I02	Bodega de Municiones	01/08/2015	04/11/2015	0,26	763642	9944635	763657	9944604
I03	Peaje	01/08/2015	11/11/2015	0,28	760986	9945709	760951	9945749
I04	Pastocalle	01/01/2011	08/12/2015	4,94	760236	9926686	760285	9926684
I05	San Marcos	04/09/2012	08/12/2015	3,26	759508	9936313	759543	9936345

Nota: Elaborado por Saúl Noboa

Durante la recolección de muestras y submuestras en el campo no se encontró necromasa, por lo que solo se trabajó con la biomasa aérea (en su totalidad pajonal). La información obtenida durante la fase de laboratorio se precisa en la Anexo 2. A continuación se presenta el mapa con la ubicación de los transectos y la cantidad de carbono en gramos por metro cuadrado (g/m^2) de cada uno de estos (Figura 9).

MAPA DE UBICACIÓN DE TRANSECTOS Y CUANTIFICACIÓN DE CARBONO EN LA REI



Leyenda

Reserva los Illinizas

- Transecto

Carbono (g/m²) / Año de Incendio

- 8,56 / 2015
- 7,17 / 2015
- 551,86 / 2012
- 636,28 / 2012
- 756,96 / 2011

Ubicación

REI

Esc: 1:2.000.000

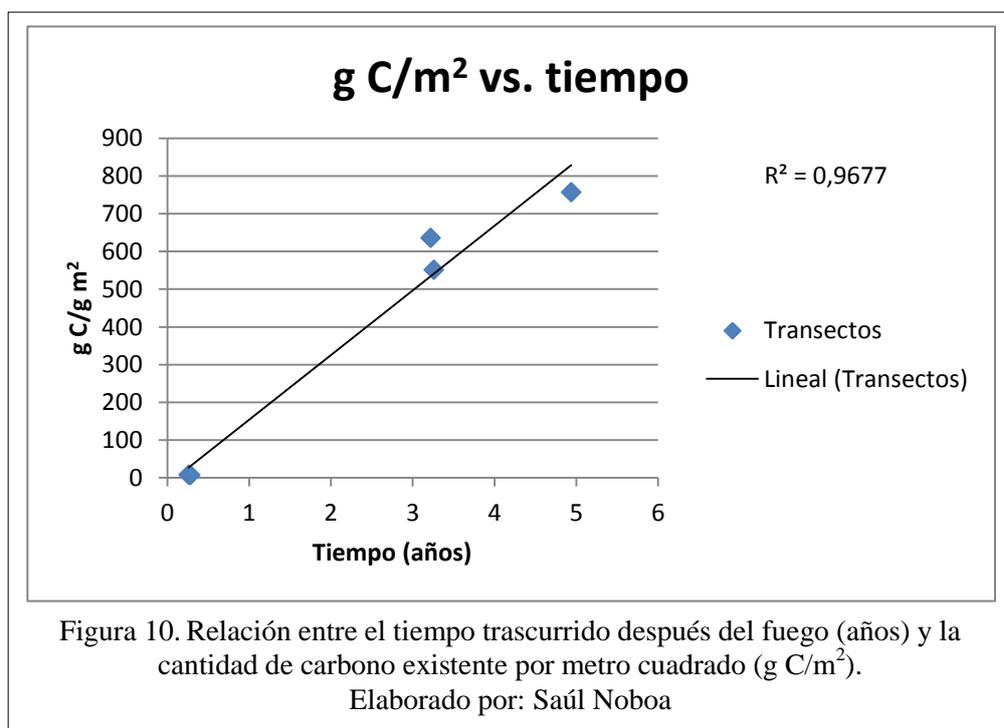
Ecuador

Esc: 1:20.000.000

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA			
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL			
PROYECTO DE TITULACIÓN CUANTIFICACIÓN DE CARBONO EN BIOMASA AEREA Y NECROMASA EN ZONAS QUEMADAS DE LA REI			
Mapa de Ubicación de Transectos y Cuantificación de Carbono en las Zonas de estudio			
Elaborado por: Saúl Noboa	Proyección: WGS84 17S	Fecha de elaboración: 27 /01/2016	

Figura 9.
Elaborado por: Saúl Noboa

Usando los valores de tiempo después del fuego (Tabla 1) y la cantidad de carbono obtenido en cada parcela (g C/m^2), se realizó una correlación lineal entre ambas variables, dando como resultado un R^2 de 0,9677 ($p=0,00249$) (Figura 10).



A partir de la Figura 10 se obtuvo una ecuación, la cual puede ser utilizada para estimar la edad del fuego conociendo la cantidad de carbono contenido en la biomasa aérea. A continuación se presenta la ecuación:

$$Y = 171,29 X - 17,561$$

Donde:

Y = Cantidad de carbono contenida en la biomasa aérea (g C./m^2)

X = Tiempo después del fuego (años).

6.2. Discusión de resultados

Los resultados obtenidos indican que existe crecimiento de la vegetación después 0.26 años (aproximadamente 3 meses), indicativo de la que la vegetación del páramo está adaptada a las quemadas (Ramsay & Oxley, 1996); (Hofstede, 2001)).

A pesar de que en San Marcos el incendio se produjo hace 3.26 años tiene menor cantidad de biomasa que el Corazón donde el incendio fue hace 3.22 años. Se debe considerar que los páramos tienen diferente comportamiento entre si según su altitud,

clima, sustratos que posea el suelo, humedad, frecuencia de incendios y presencia de ganado, lo que afectará al desarrollo de la vegetación y generará que no posean características iguales en cantidad de biomasa y acumulación de carbono (Vargas, 2013).

La no presencia de necromasa en las zonas estudiadas, respondería a que estas zonas no se encuentran recuperadas tras el incendio. Hofstede (2001) en su trabajo menciona que a pesar de que la paja alcanza su altura original al año de la quema, la recuperación total del páramo tarda entre 8 y 10 años. Cabe mencionar que se considera que el páramo está completamente recuperado cuando ha encontrado su estructura natural, incluyendo su composición en hojas muertas (Hofstede, 2001).

A partir de los resultados obtenidos y considerando que las hojas de la paja y otras plantas son el combustible para los incendios (Hofstede, 2001), una vez que han transcurrido entre 4 y 5 años después del incendio la biomasa flamable sería aproximadamente de 24 ton/ha convertibles en 7,57 ton C./ha. Es decir que del incendio en la zona del Peaje, donde se quemaron 850 ha en Agosto del año 2015 (la extensión más grande de las zonas estudiadas y de la cual se desconoce la historia del fuego), la cantidad de CO₂ estimada que se emitió a la atmósfera podría haber superado las 23.593 ton CO₂. Este valor de CO₂ sería equivalente a 1'933.220 carros/día que usen 1,43 galones de gasolina/día (aproximadamente 10 galones de gasolina/semana) con una densidad de 0,73 kg/l (Ver Anexo 3).

Con el presente estudio se determinó que existe una correlación entre las dos variables analizadas. Entre mayor tiempo haya transcurrido desde el último incendio mayor será la cantidad de carbono acumulado en la biomasa. Es así que, la cantidad de carbono acumulado en la vegetación podría ser utilizado como un indicador la historia del fuego en el páramo (validando de esta manera la hipótesis de investigación y rechazando la hipótesis nula planteada). Hasta la fecha solo se reportan dos indicadores de la historia del fuego en páramos del norte de Ecuador *Puya hamata* (Garcia Meneses & Ramsay, 2014) y *Espeletia pycnophylla* (Ramsay P. , 2014).

7. Conclusiones

- La biomasa existente en las zonas de estudio dentro de la REI se encuentra en un rango que van desde los 22 g/m² (aproximadamente 3 meses después del incendio) hasta los 2.378 g/m² (aproximadamente 5 años después del incendio). Es importante señalar que no se evidencio necromasa en las zonas de estudio.
- Se obtuvo una buena correlación entre las variables gramos de carbono / m² y tiempo transcurrido después del incendio ($R^2=0,9677$; $p=0,00249$), lo que posibilitaría estimar el tiempo transcurrido desde el último evento a partir de la cantidad de carbono contenido en 1 m² de biomasa.
- Mediante la ecuación obtenida se estima que cada año se acumula en la biomasa de la REI aproximadamente 154 g C/m², es decir 1,54 ton C/ha. Esta biomasa en caso de quemarse emitiría a la atmósfera aproximadamente 5,65 ton CO₂ /ha quemada. Es decir, entre más tiempo haya transcurrido desde el último incendio existirá mayor cantidad de carbono contenido en la biomasa.

8. Recomendaciones

- Efectuar estudios dentro de la REI asociados a la cuantificación de carbono subterráneo para conocer la cantidad total de este elemento que puede almacenar la reserva.
- Realizar seguimiento al crecimiento de la vegetación para estudios sobre el tiempo de recuperación de la REI después de generarse incendios.

9. Referencias

- Agencia Andes. (17 de Septiembre de 2015). Recuperado el 27 de Octubre de 2015, de <http://www.andes.info.ec/es/noticias/bomberos-civiles-militares-controlan-incendios-paramos-norte-ecuatoriano.html>
- Andrade Perez, Á. (2007). *Aplicación del Enfoque Ecosistémico en Latinoamérica*. Villa de Leyva, Colombia: Universidad Nacional de Colombia - Unibiblos.
- Andrade, A., & Yopez, H. (2014). *Almacenamiento de Agua y Cuantificación de Carbono en el Ecosistema Páramo Dentro de un Esquema Global Environment Outlook (GEO), Caso de Estudio: Páramo de Píntag-Cuenca Alta del Río Pita*. Escuela Politécnica Nacional, Quito.
- Arellano, L., & Castillo, C. (2014). *Efecto de los incendios forestales no controlados en el ensamble de escarabajos coprófagos (Coleoptera: Scarabaeidae) en un bosque templado del centro de Mexico*. Tlaxcala: Universidad Autónoma de Tlaxcala.
- Armenteras Pascual, D., Bernal Toro, F. H., Gonzales Alonso, F., Morales Rivas, M., Pabón Caicedo, J. D., Páramo Rocha, G. E., & Parra Lara, A. (2011). *Incendios de la cobertura vegetal en Colombia*. Cali, Colombia: Programa Editorial Dirección de Investigaciones y Desarrollo Tecnológico.
- Baquero, F., Sierra, R., & Ordoñez, L. (2004). *La Vegetación de los Andes del Ecuador*. Quito: División Geográfica-IGM.
- Beckage, B., Platt, W., & Panko, B. (2005). *A Climate - Based Approach to the Restoration of Fire-Dependent Ecosystems*. L.A. - U.S.A: Society for Ecological International.
- Bond, W., & Keeley, J. (2005). Fire as a global 'herbivore': the ecology and evolution of flammable ecosystems. *TRENDS in Ecology and Evolution*, 387 - 393.
- Bowman, D. (2009). Fire in the Earth System. *Science*, 481-484.
- Calderon, M., Romeo, H., Cuesta, F., Pinto, E., & Báez, S. (2013). *Monitoreo de Contenidos y Flujos de Carbono en Gradientes Altitudinales Altoandinos. Protocolo 1*. Quito, Ecuador: CONDESAN/COSUDE.
- Castellanos Bandera, N. M. (2009). *Monitoreo y Evaluación de Captura de CO2 en Especies Nativas del Bosque Andino - Caso Parque Ecológico La Poma*. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander.

- Cerna, M. (2006). Participación de la Universidad Politécnica Salesiana en la exploración Florística de la Reserva Ecológica Los Ilinizas. *La Granja*, 40-43.
- Chambi Condori, P. P. (2001). *Valoración económica de secuestro de carbono mediante simulación aplicado a la zona boscosa del Río Inambari y Madre de Dios*. Tacna, Perú: Instituto de Investigación y Capacitación para el Fomento de Oportunidades Económicas con Base en la Conservación de Recursos Naturales (IICFOE).
- Coloma Santos, A. (2007). *Guía Patrimonial de Áreas Protegidas del Ecuador*. Quito: ECOFUND.
- Damián Carrión, D. A. (2014). *Comparación de variables edafoclimáticas, en zonas de bosques y páramo utilizando modelo de interpolación Kriging en la parroquia Achupallas, cantón Alusí, provincia de Chimborazo*. Riobamba: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Diario El Tiempo*. (7 de Febrero de 2007). Recuperado el 3 de Septiembre de 2015, de <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-2381051>
- Diario La Hora*. (17 de Septiembre de 2012). Recuperado el 10 de Septiembre de 2015, de http://www.lahora.com.ec/index.php/noticias/show/1101394668/-1/Incendio_forestal_consume_el_sur_de_los_Ilinizas.html#.VghDL_mt-KJ
- FAO. (2012). *Transición de la Quema a la Práctica de no Quema*. Ciudad de Guatemala: Estúdio Púrpura.
- García Meneses, P., & Ramsay, P. (2014). PUYA HAMATA DEMOGRAPHY AS AN INDICATOR OF RECENT FIRE HISTORY IN THE PÁRAMO OF EL ÁNGEL AND VOLCÁN CHILES, ECUADOR-COLOMBIA. *SciELO*, 53-69.
- Herrera, H. (4 de Marzo de 2003). *Asociación Interamericana para la Defensa del Ambiente*. Recuperado el 13 de Enero de 2016, de <http://www.aida-americas.org/es/blog/p%C3%A1ramos-agua-vida>
- Hofstede, R. (2001). *El impacto de las actividades humanas en el páramo*. Quito - Ecuador: Abya Yaka.
- Hofstede, R., Segarra, P., & Mena Váscones, P. (2003). *Los Paramos del Mundo*. Quito: EcoCiencia.
- Ipiál Guerrón, S. A. (2013). *Caracterización de Suelo e Infiltración en el Páramo del Volcán Chiles en Tulcán Aplicadas a la Reducción de Emisiones Derivadas*

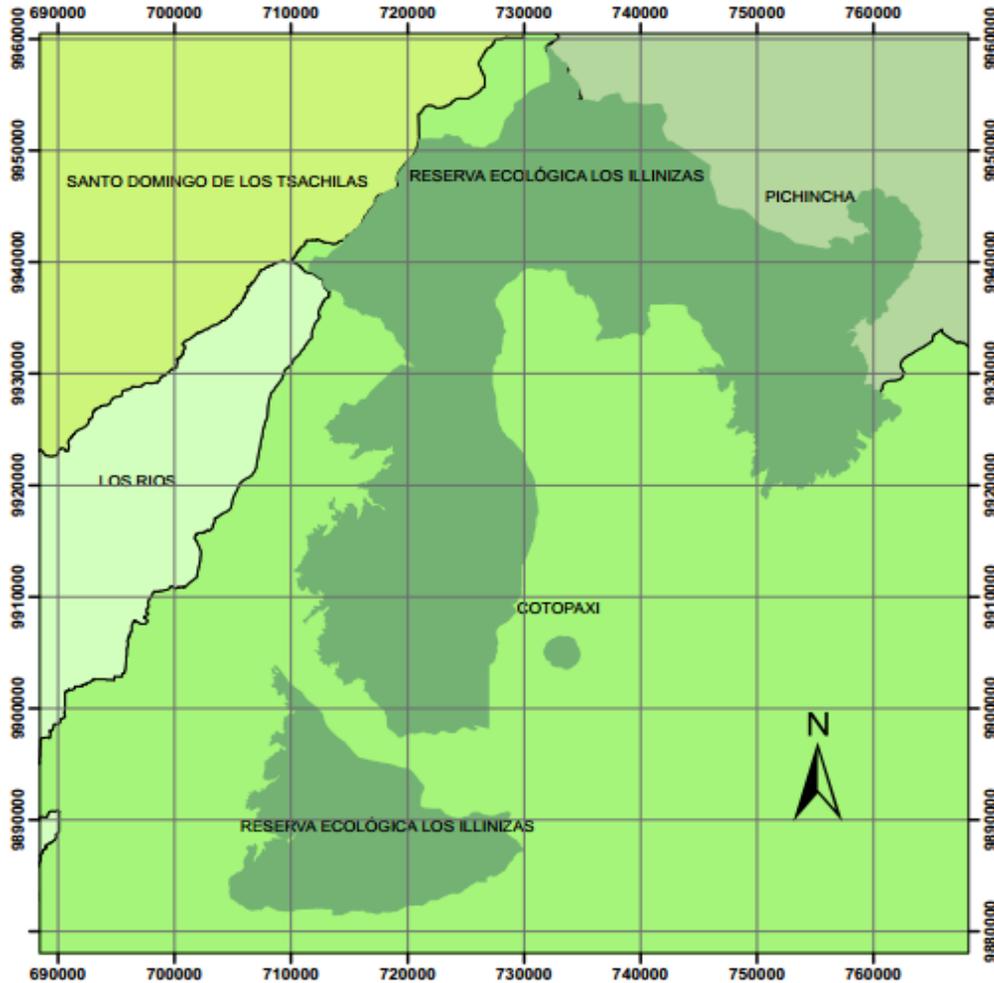
- de la Deforestación y la Degradación Forestal (REDD+)*. Quito: Universidad Central del Ecuador, Carrera de Ingeniería Ambiental.
- MAE. (2010). *Ministerio de Ambiente*. Recuperado el 12 de Enero de 2016, de <http://www.ambiente.gob.ec/mae-conserva-reserva-ecologica-los-ilinizas-tesoro-natural-de-los-andes-ecuatorianos/>
- MAE. (8 de Noviembre de 2012). *MINISTERIO DEL AMBIENTE*. Recuperado el 5 de Septiembre de 2015, de <http://www.ambiente.gob.ec/mae-reforestara-mas-de-7-mil-hectareas/>
- MAE. (10 de Marzo de 2014). Recuperado el 16 de Septiembre de 2015, de Ministerio del Ambiente: <http://www.ambiente.gob.ec/mae-conserva-reserva-ecologica-los-ilinizas-tesoro-natural-de-los-andes-ecuatorianos/>
- Medina , G., & Mena, P. (1999). *El Páramo como Espacio de Mitigación de Carbono Atmosférico*. Quito: GTP/Abya Yala. Recuperado el 15 de Septiembre de 2015, de El páramo como espacio para la fijación de carbono atmosférico: <http://www.condesan.org/eforos/paramos2/PonenciaRHTema3.htm>
- Mena Vásconez, P., & Hofstede, R. (2006). *Los Páramos ecuatorianos*. CONDESAN. Quito: Botánica Económica de los Andes Centrales.
- Mena Vásconez, P., & Medina, G. (2001). *La Biodiversidad de los Páramos en el Ecuador*. Quito: EcoCiencia.
- Ministerio de Electricidad y Energía Renovable. (15 de Enero de 2016). *Portal Web del Ministerio de Electricidad y Energía Renovable*. Obtenido de <http://www.energia.gob.ec/toachi-pilaton/>
- Ministerio del Ambiente; Dirección Nacional de Biodiversidad. (2008). *Plan de Manejo Reserva Ecológica Ilinizas*. Quito.
- OMS. (1999). *Guías de Salud para Incendios de Vegetación*. Lima: Organización Mundial de la Salud.
- Paguay Flores, H. (2011). *Plan de Manejo del Páramo de la Comunidad Calera Grande Pomalo, Parroquia San Juan, Provincia de Chimborazo*. Riobamba: Escuela de Ingeniería Forestal.
- Proyecto Páramo Andino. (2010). *Mecanismos de Información de Páramos*. Obtenido de <http://www.paramo.org/poblacion/uso>
- Ramsay , P. (2014). Giant rosette plant morphology as an indicator of recent fire history in Andean páramo grasslands. *Ecological Indicators*, 37-43.

- Ramsay , P., & Oxley, E. (1996). *Fire temperatures and postfire plant community dynamics in Ecuadorian grass páramo*. Bangor: School of Biological Science - University of Wales.
- Rangel, O. (2000). *Colombia, Diversidad Biótica - La Región de Vida Paramuna*. Santafé de Bogota: Universidad Nacional de Colombia.
- Rugnitz, M., Chacón, M., & Porro, R. (2009). *Guía para la Determinación de Carbono en Pequeñas Propiedades Rurales*. Lima: Centro Mundial Agroforestal (ICRAF) / Consórcio Iniciativa Amazónica (IA).
- Salcedo, A. I. (2014). *Efectos del incremento de la temperatura y las quemadas sobre la Mesofauna (Artrópodos) del suelo y la descomposición de hojarasca en un ecosistema de páramo en el norte del Ecuador*. Quito: Universidad San Francisco de Quito.
- Secretaría Pro Tempore Tratado de Cooperación Amazónica. (1992). *Políticas y Estrategias Regionales para el Aprovechamiento Sustentable de los Recursos Forestales de la Amazonía*. Secretaría Pro Tempore Tratado de Cooperación Amazónica, Quito.
- Toasa Vargas, A. A. (2011). *Manejo de páramos y uso vertical de pisos ecológicos: Estudio comparativo entre comuneros indígenas del Parque Nacional Cayambe Coca y hacendados del Parque Nacional Cotopaxi*. Quito: Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales Sede Ecuador.
- Vargas, O. (2013). *Disturbios en los páramos andinos*. Bogota: Universidad Nacional de Colombia.
- White, S. (2013). Grass páramo as hunter-gatherer landscape. *The Holocene*, 898 - 911.

10. Anexos

Anexo 1.

MAPA DE UBICACIÓN DE LA RESERVA ECOLÓGICA LOS ILLINIZAS



**Ubicación
Ecuador**



Esc: 1:15.000.000



Elaborado por: Saúl Noboa

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA		
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL		
PROYECTO DE TITULACIÓN CUANTIFICACIÓN DE CARBONO EN BIOMASA AÉREA Y NECROMASA EN ZONAS QUEMADAS DE LA REI		
Mapa de Ubicación de la REI		
Elaborado por: Saúl Noboa	Proyección: WGS84 17S	Fecha de Elaboración: 27/01/2016

Anexo 2.

Datos obtenidos de muestras y submuestras.

		Dist. Transecto (m)	Peso Fresco M. (g/m²)	Peso Fresco Sm. (g)	Peso Seco Sm. (g)	Humedad Sm. (CH)	Peso Seco Muestra (g)	Carbono (g C/g muestra)	PROMEDIO (g C/g muestra)	Desviación estándar
EL CORAZON	Parcela 1	0-1	2065,00	15,00	9,27	38,21	1275,91	637,95	636,28	159,20
		24-25	1705,00	15,00	8,38	44,14	952,49	476,25		
		49-50	2280,00	20,00	13,94	30,30	1589,26	794,63		
BODEGA DE MUNICIONES	Parcela 2	0-1	15,00	15,00	9,83	34,44	9,83	4,92	8,56	4,89
		24-25	30,00	30,00	28,25	5,84	28,25	14,12		
		49-50	20,00	20,00	13,29	33,57	13,29	6,64		
PEAJE	Parcela 3	0-1	35,00	35,00	0,78	97,79	0,77	0,39	7,17	7,44
		24-25	45,00	30,00	4,19	86,04	6,28	3,14		
		49-50	30,00	25,00	1,92	92,30	2,31	1,15		
PEAJE	Parcela 4	0-1	90,00	10,00	4,49	55,10	40,41	20,21	7,17	7,44
		24-25	45,00	10,00	4,40	56,00	19,80	9,90		
		49-50	55,00	10,00	3,00	69,96	16,52	8,26		
PASTOCALLE	Parcela 5	0-1	2565,00	15,00	9,97	33,57	1704,02	852,01	756,96	228,14
		24-25	3080,00	20,00	11,98	40,12	1844,43	922,21		
		49-50	1490,00	15,00	10,00	33,33	993,33	496,67		
SAN MARCOS	Parcela 6	0-1	2500,00	20,00	14,50	27,51	1812,34	906,17	551,86	345,58
		24-25	2285,00	45,00	21,02	53,29	1067,36	533,68		
		49-50	740,00	25,00	14,58	41,70	431,46	215,73		

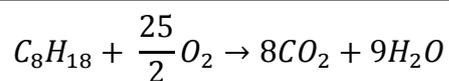
Anexo 3. Comparación vehículos - quema

Datos:

- Fórmula de gasolina: C_8H_{18}
- Cantidad asumida de gasolina consumida por vehículo: 10 gal C_8H_{18} /semana
- Densidad de gasolina: 0,73 kg/l
- Ton de CO_2 emitidas por posible quema de vegetación: 23.593 ton CO_2

Resolución:

Combustión de la gasolina



$$C_8H_{18} = 114 \text{ g } C_8H_{18}$$

$$8CO_2 = 352 \text{ g } CO_2$$

$$\frac{10 \text{ gal } C_8H_{18}}{\text{semana}} \times \frac{1 \text{ sem}}{7 \text{ dias}} \times \frac{352 \text{ g } CO_2}{114 \text{ g } C_8H_{18}} \times \frac{3,79 \text{ l } C_8H_{18}}{1 \text{ gal } C_8H_{18}} \times$$

$$\frac{0,73 \text{ kg } C_8H_{18}}{1 \text{ l } C_8H_{18}} \times \frac{1000 \text{ g } C_8H_{18}}{1 \text{ kg } C_8H_{18}} \times \frac{1 \text{ ton } CO_2}{1 \times 10^6 \text{ g } CO_2} = 0,0122 \text{ ton } CO_2/\text{día}$$

$$\frac{23.593 \text{ ton } CO_2}{0,0122 \text{ ton } CO_2/\text{carro/día}} = 1'933.852 \text{ carros/día}$$