

**Universidad Andina Simón Bolívar**

**Sede Ecuador**

**Área de Ambiente y Sustentabilidad**

Maestría de Investigación en Cambio Climático, Sustentabilidad y Desarrollo

**Patrones de descomposición de hojarasca de *Calamagrostis intermedia*  
en un gradiente altitudinal de los páramos del Parque Nacional  
Cayambe Coca y la Reserva Hídrica Atacazo**

Mayra Alejandra Ramírez Gallegos

Tutor: Esteban Suárez Robalino

Quito, 2024





## Cláusula de cesión de derecho de publicación

Yo, Mayra Alejandra Ramírez Gallegos, autor de la tesis intitulada “Patrones de descomposición de hojarasca de *Calamagrostis intermedia* en un gradiente altitudinal de los páramos del Parque Nacional Cayambe Coca y la Reserva Hídrica Atacazo”, mediante el presente documento dejo constancia de que la obra es de mi exclusiva autoría y producción, que la he elaborado para cumplir con uno de los requisitos previos para la obtención del título de Magíster de Investigación en Cambio Climático, Sustentabilidad y Desarrollo en la Universidad Andina Simón Bolívar, Sede Ecuador.

- Cedo a la Universidad Andina Simón Bolívar, Sede Ecuador, los derechos exclusivos de reproducción, comunicación pública, distribución y divulgación, durante 36 meses a partir de mi graduación, pudiendo por lo tanto la Universidad, utilizar y usar esta obra por cualquier medio conocido o por conocer, siempre y cuando no se lo haga para obtener beneficio económico. Esta autorización incluye la reproducción total o parcial en los formatos virtual, electrónico, digital, óptico, como usos en red local y en internet.
- Declaro que en caso de presentarse cualquier reclamación de parte de terceros respecto de los derechos de autor/a de la obra antes referida, yo asumiré toda responsabilidad frente a terceros y a la Universidad.
- En esta fecha entrego a la Secretaría General, el ejemplar respectivo y sus anexos en formato impreso y digital o electrónico.

[14-07-2024]

Firma: \_\_\_\_\_



## Resumen

Los páramos del Ecuador presentan un gran valor científico y ecológico por su alto nivel de endemismo florístico, su paisaje montañoso y las funciones que desempeñan como reguladores hídricos y sumideros de carbono, convirtiéndose en ecosistemas estratégicos para la mitigación del cambio climático. En gran medida, la gran capacidad de los páramos para almacenar carbono y regular la hidrología, dependen de la dinámica de carbono y, específicamente, de su paso desde la biomasa vegetal hacia el suelo, mediado por los procesos de descomposición.

A pesar la importancia de estos procesos se conoce poco sobre su magnitud bajo las condiciones específicas de los páramos andinos. En este contexto se analizó los patrones de descomposición de hojarasca de *Calamagrostis intermedia* en un gradiente altitudinal en dos ecosistemas de páramo correspondientes al Parque Nacional Cayambe Coca y a la Reserva Hídrica Atacazo.

Específicamente en este estudio se utilizó la gradiente de temperatura que se produce a través del cambio en elevación, para estimar como varían los procesos de descomposición de hojarasca en función de la temperatura ambiental. De esta manera, el presente estudio permite evaluar en qué medida diferentes niveles de calentamiento global podrían alterar la dinámica de la materia orgánica en el páramo y los servicios ecosistémicos que dependen de estos procesos.

Palabras clave: cambio climático, páramos, gradiente altitudinal, hojarasca, descomposición, carbono, servicios ecosistémicos.



## Tabla de contenidos

Figuras y tablas .....	8
Abreviaturas.....	9
Glosario.....	11
Introducción .....	13
Hipótesis .....	16
Capítulo primero .....	17
Marco teórico.....	17
2. Cambio climático y sus efectos sobre la dinámica de la materia orgánica en ecosistemas de montaña.....	18
Capítulo segundo Marco metodológico.....	23
1. Área de estudio .....	23
1.1 Reserva Hídrica Atacazo.....	23
2. Metodología .....	25
3. Análisis de datos .....	27
3.1 Porcentaje de remanente vegetal.....	28
3.2 Promedio Temperatura del aire y la macolla por hora.....	30
3.3 Análisis de variables: periodo de tiempo (días), altitud y porcentaje de remanente vegetal.....	30
Capítulo tercero Presentación de datos y resultados.....	31
Capítulo cuarto Análisis y discusión.....	39
Conclusiones.....	43
Recomendaciones .....	45
Obras citadas.....	47
Anexos .....	53
Anexo 1. Promedio de temperatura por hora de la RHA.....	53
Anexo 2. Promedio de temperatura por hora del PNCC.....	54
Anexo 3. Matriz de datos de porcentaje de remanente vegetal en diferentes tiempos (días) del gradiente altitudinal de la RHA y PNCC.....	55

## Figuras y tablas

Figura 1. Mapa del área de estudio .....	25
Figura 2. Diseño de bloques en el que se ubicaron las muestras de <i>Calamagrostis intermedia</i> .....	26
Figura 3. Ejemplo del primer retiro de las muestras de <i>Calamagrostis intermedia</i> en el gradiente altitudinal .....	27
Figura 4. Promedio de temperatura (cada hora) del aire y de la macolla de <i>Calamagrostis intermedia</i> en el gradiente altitudinal del PNCC .....	32
Figura 5. Promedio de temperatura (cada hora) del aire y de la macolla de <i>Calamagrostis intermedia</i> en el gradiente altitudinal del PNCC .....	33
Figura 6. Promedio de temperatura (cada hora) del aire y de la macolla de <i>Calamagrostis intermedia</i> en el gradiente altitudinal del PNCC .....	33
Figura 7. Promedio de temperatura (cada hora) del aire y de la macolla de <i>Calamagrostis intermedia</i> en el gradiente altitudinal de la RHA .....	34
Figura 8. Promedio de temperatura (cada hora) del aire y de la macolla de <i>Calamagrostis intermedia</i> en el gradiente altitudinal de la RHA .....	34
Figura 9. Promedio de temperatura (cada hora) del aire y de la macolla de <i>Calamagrostis intermedia</i> en el gradiente altitudinal de la RHA .....	35
Figura 10. Porcentaje (%) de remanente vegetal en diferentes tiempos (días) en el PNCC .....	35
Figura 11. Porcentaje (%) de remanente vegetal en diferentes tiempos (días) en el PNCC .....	36
Figura 12. Porcentaje (%) de remanente vegetal en diferentes tiempos (días) en el PNCC .....	36
Figura 13. Porcentaje (%) de remanente vegetal en diferentes tiempos (días) en la RHA	37
Figura 14. Porcentaje (%) de remanente vegetal en diferentes tiempos (días) en la RHA	37
Figura 15. Porcentaje (%) de remanente vegetal en diferentes tiempos (días) en la RHA	38
Tabla 1. Datos de temperatura y descomposición del gradiente altitudinal del PNCC y RHA .....	31
Tabla 2. Índice de ANOVA de 2 vías, entre las dos áreas de estudio del PNCC y RHA, con el gradiente altitudinal y la temperatura. ....	31



## Abreviaturas

C: Carbono

°C: Grados centígrados

CH<sub>4</sub>: Metano

CO: Monóxido de carbono

CO<sub>2</sub>: Dióxido de carbono

g= gramos

H<sub>2</sub>O: Agua

H<sub>2</sub>S: Ácido sulfhídrico

IPCC: Panel Intergubernamental de Cambio Climático

m: metros

msnm: metros sobre el nivel del mar

MO: Materia orgánica

N: Nitrógeno

NH<sub>4</sub>: Amonio

PNCC: Parque Nacional Cayambe Coca

RHA: Reserva Hídrica Atacazo

T: Temperatura



## Glosario

**Calentamiento global** se genera por el cambio climático, por consecuencia del incremento de temperatura del planeta. Los cambios de temperatura aumentan por las emisiones de los gases de efecto invernadero (GEI), generadas en mayor proporción por actividades antrópicas (Kennedy y Lindsey 2018).

**Data- loggers:** son instrumentos que se utilizan en la medición de datos de temperatura, en el caso del presente estudio se utilizaron para medir datos de temperatura del aire y datos de temperatura dentro de la macolla de *Calamagrostis intermedia*.

**Ecotono:** se considera a una zona natural de transformación que se da entre dos sistemas ecológicos diferentes, es la demarcación ecológica entre ellos, con variación de distancia en metros o kilómetros (Conciencia 2015).

**Feedback:** o también se conoce como realimentación la cual depende de las consecuencias que se ejecuten en un momento dado o dentro de un funcionamiento. El Feedback puede ser positivo o negativo. Cuando es positivo significa que existe un progreso o evolución hacia un nuevo equilibrio y cuando es negativo se refiere a lo contrario y busca ayudar a mantener el equilibrio de un sistema (Hofstede et al. 2014).

**Gradiente altitudinal:** está relacionado con gradientes climáticos, se distribuye de manera vertical formando diferentes ecotonos con variación biótica y abiótica.

**Hojarasca:** corresponde a hojas o ramas que se caen de los árboles, arbustos o hierbas, las cuales cubren el suelo.

**Humedales:** corresponde a una superficie de tierra que se inunda de manera permanente o intermitente. Es un ecosistema híbrido entre acuático y terrestre (Marín y Hernández 2010).

**Lignina:** es una clase de polímeros orgánicos que forman parte de la pared celular de células vegetales, tiene la función de dar dureza, resistencia y rigidez al tallo de la planta (Ecured 2012).



## Introducción

El Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) ofrece una visión científica sobre este tema y sus posibles repercusiones medioambientales (Gómez 2019); en su informe se señala la probabilidad de superar la temperatura global de 1.5°C en las próximas décadas, por lo que recomienda con gran énfasis que se reduzcan a nivel mundial las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), lo que podría limitar el calentamiento de 1.5°C o 2°C. En tal sentido, es importante conocer que el aumento de 1.5°C de temperatura provocaría olas de calor y disminución de estaciones frías; mientras que los 2°C pueden tener impacto en la agricultura y la salud, mayores precipitaciones, inundaciones y sequías con fuertes consecuencias en latitudes altas (IPCC 2021).

Es así como, a finales del siglo XXI, en los ecosistemas de montaña, especialmente en los Andes Tropicales, se podría experimentar un mayor aumento de temperatura y evapotranspiración entre 4.5 a 5 °C (Gutiérrez y Medrano 2019; Urrutia y Vuille 2008; Uribe 2015; Menzel et al. 2006; Hribljan et al. 2017). Cabe indicar, que los ecosistemas de este tipo, con mayor impacto negativo por aumento de temperatura, son los páramos, que se ubican entre los 3200 y 3800 msnm (M. Castañeda 2017; Beltrán et al. 2009).

Estos se tomarán como ecosistemas modelo para entender los impactos del cambio climático por sus bajas tasas de descomposición, la dinámica de carbono y los servicios ambientales relacionados con los regímenes hidrológicos y la biodiversidad (Menzel et al. 2006; Hribljan et al. 2017). Considerando que, lamentablemente, la población en general conoce muy poco sobre los páramos, pese a su importancia biótica, funcionalidad ecosistémica y las gradientes de temperatura que presentan, formando varios microclimas con variantes bióticas y abióticas (Cuesta et al. 2012).

Los ecosistemas de páramo representan menos del 1% de la superficie total del Ecuador, pero exhiben características geológicas y climáticas particulares, que les permiten albergar grandes extensiones de lagunas, cursos de agua, y humedales asociados a riachuelos que se originan en los glaciares, siendo estos vulnerables por la dependencia del agua, así como frágiles a los cambios de temperatura y vulnerables a actividades antrópicas. La vegetación de los páramos se encuentra dominada por un sistema de

pajonales y matorrales; los pajonales particularmente se caracterizan por su dominancia de especies de los géneros *Calamagrostis* y *Festuca*.

La vegetación ha ido desarrollando habilidades de adaptación a los cambios de temperatura de diferentes meses del año, donde las lluvias pueden ser escasas y crear un déficit hídrico en el ecosistema (Cuesta et al. 2012). Su temperatura depende del gradiente altitudinal y de la humedad del aire, aspectos que son controlados por las condiciones locales de la orografía andina. La tasa de cambio con respecto a la altitud varía entre 0.6°C y 0.7°C por cada 100m (Cuesta et al. 2012), con disminución de temperatura en el gradiente de elevación, el cual influye en la variación diaria de la temperatura con lloviznas frecuentes y a veces nieve o granizo (Buytaert et al. 2006).

La temperatura del aire en el páramo puede fluctuar entre 20°C durante el día y menos de 0°C por la noche. Su temperatura mensual promedio es de 8°C, y es común que la precipitación ocurra en dos estaciones de lluvia, la primera y con mayor intensidad se da de enero a mayo, y la segunda, en menor proporción, de septiembre a noviembre. El periodo más seco, con fuertes vientos, tiene lugar en los meses de julio y agosto (Podwojewski et al. 2002).

Sus condiciones ambientales, como son el clima, la calidad de hojarasca y los organismos del suelo, permiten que el proceso de descomposición de la hojarasca sea lento, llegando a un 40% anual (Gutiérrez y Medrano 2019). Este componente es clave en la dinámica del carbono (Espín 2012) por ello los ecosistemas de páramo son considerados como estratégicos en la mitigación del cambio climático, debido a que poseen grandes cantidades de carbono orgánico en su suelo (~500 toneladas/Ha), además de que presentan bajas tasas de descomposición a diferencia de otros ecosistemas (Cuesta et al. 2012).

Desde esta perspectiva, si aumenta la temperatura 1°C en estos ecosistemas, se incrementaría la tasa de descomposición en un 10% o más, junto con la liberación de carbono del suelo y aumento de CO<sub>2</sub> en la atmósfera (Gutiérrez y Medrano 2019; Dangles et al. 2017); ya que la contribución de nutrientes al suelo, producto de la descomposición de materia orgánica, aporta a la formación de complejos órganos metálicos que resisten a la descomposición microbiana (Buytaert et al. 2006), lo que a su vez produce la liberación de nutrientes que contribuyen al funcionamiento de los ciclos biogeoquímicos, los cuales benefician las condiciones físicas, químicas y biológicas (Julca et al. 2006), por lo que relacionar las variables de descomposición y temperatura en diferentes tiempos y en biomas fríos, como el ecosistema de páramo, ha permitido

crear la hipótesis sobre el aumento de la tasa de descomposición y de temperatura con respecto al calentamiento global que produce, en consecuencia, un mayor flujo de CO<sub>2</sub> a la atmósfera (Espín 2012; D. Suárez et al. 2016; A. Castañeda y Montes 2017).

En este escenario, el presente estudio pretende describir las tasas de descomposición de hojarasca de pajonales de páramo y su relación con la temperatura, debido a que estos ecosistemas son estratégicos por su diversidad y contribuyen a los múltiples sistemas económicos, además de que tienen un papel fundamental en la mitigación del cambio climático, ya que sus suelos húmicos almacenan grandes cantidades de carbono, lo que evita un incremento de GEI de la atmósfera. En gran medida, esta capacidad depende de su estructura y de las bajas tasas de descomposición de materia orgánica resultante de las bajas temperaturas.

La dominancia de su vegetación herbácea y de pajonal aportan de manera significativa en el almacenamiento de carbono en el suelo, biomasa y necromasa, ya que, a diferencia de otros ecosistemas, la vegetación de los pajonales de la familia Poaceae, género *Festuca* y *Calamagrostis* (especies dominantes en los páramos) tiene hojas que no caen, sino se quedan en la macolla en forma de necromasa y biomasa, contribuyendo con la acumulación de carbono en esta zona debido a su fisionomía.

A pesar de la importancia de estos procesos, aún se conoce muy poco acerca de cómo podrían responder ante los efectos del cambio de temperatura global. Por ejemplo, si el incremento de la temperatura produce una intensificación de la descomposición de materia orgánica, se podría liberar más CO<sub>2</sub> a la atmósfera, contribuyendo a un mecanismo de retroalimentación (*feedback*), que incrementaría la temperatura y afectaría a los sumideros de carbono, además de la tasa de descomposición y la regulación hídrica.

Por ello, con esta investigación se pretende cubrir dos vacíos importantes de información: primero, la utilización de las gradientes de elevación en dos ecosistemas de páramo que permitirán evaluar la influencia de la temperatura sobre los procesos de descomposición de hojarasca en dos páramos con características ambientales diferentes; y segundo, en lugar de utilizar bolsas de hojarasca como se hace en la técnica estándar, se utilizará atados de hojas de la especie de *Calamagrostis intermedia*, que se colocará simulando la posición natural de las hojas en los penachos de esta especie.

De esta manera, se caracterizará los patrones de descomposición de hojarasca de *Calamagrostis intermedia* en un gradiente altitudinal de los páramos del Parque Nacional Cayambe Coca y la Reserva Hídrica Atacazo, mismos que suelen aportar mayor biomasa vegetal y necromasa en los páramos ecuatorianos, simulando las condiciones naturales en

las que se da el proceso. Con base en los resultados, este estudio permitirá evaluar y entender hasta qué punto los procesos de descomposición en los ecosistemas de páramo podrían verse afectados en diferentes escenarios de cambio climático.

### **Hipótesis**

H<sup>1</sup>: La tasa de descomposición de hojarasca de *Calamagrostis intermedia* de ecosistemas de páramos del Parque Nacional Cayambe Coca y la Reserva hídrica Atacazo, son influenciados por el aumento o la disminución de la variable de temperatura y el gradiente altitudinal.

H<sup>0</sup>: La tasa de descomposición de hojarasca de *Calamagrostis intermedia* de ecosistemas de páramos del Parque Nacional Cayambe Coca y la Reserva hídrica Atacazo, no dependen del aumento o la disminución de la variable de temperatura y del gradiente altitudinal.



## Capítulo primero

### Marco teórico

#### 1. Descomposición de materia orgánica y dinámica de carbono

La descomposición de materia orgánica, animales, plantas y microbios se desintegran en compuesto más pequeños. Este proceso se divide en tres fases principales: primero, el lavado y descomposición de sustancias solubles; segundo, la fragmentación física que da lugar a la descomposición del sustrato convirtiéndolo en partículas más pequeñas (catabolismo); y tercero, la transformación química, en donde “las moléculas orgánicas complejas de gran tamaño son degradadas por procesos hidrolíticos bióticos y abióticos en compuestos de menor peso molecular” dando como resultado una oxidación con producción de compuestos inorgánicos simples (Álvarez 2005).

El catabolismo se da en materiales orgánicos, los cuales son integrados como biomasa en diferentes organismos detritívoros (Álvarez 2005). Las tasas de descomposición dependen de factores bióticos, es decir, de la actividad microbiana, en especial de bacterias y hongos, protozoos y nematodos que pueden alterar la descomposición de la hojarasca, y el recambio de nutrientes y también dependen de factores abióticos (Álvarez 2005). En este sentido, el procesamiento por los invertebrados, la composición química del material y el clima (temperatura y humedad) también inciden directamente (Rien Aerts 1997; Steven y Lu Ying 2013).

La descomposición se considera como un proceso clave e indispensable en el funcionamiento ecosistémico porque aporta en los ciclos de macronutrientes a nivel de comunidad, por lo que se considera como un proceso compuesto e integrado (Álvarez 2005). Se estima que aproximadamente el 99% de los recursos orgánicos que se descomponen en un ecosistema terrestre son derivados de plantas, por ejemplo, hojarasca, exudados de raíces y tallos (Carter, Yellowlees, y Tibbett 2007).

Los procesos de descomposición de la hojarasca permiten una liberación de 50-75% de CO<sub>2</sub> a nivel global, es decir, casi 10 veces el porcentaje de emisiones de combustibles fósiles en carbono (Wall et al. 2008). Se predice que habrá un aumento de CO<sub>2</sub> entre 10% y 50% por el incremento de las tasas de descomposición en los próximos 100 años en las tundras, un alza entre 40% y 50% en los bosques boreales y más del 10%

en las demás condiciones climáticas no dominadas por una mayor aridez (Tuomi et al. 2009).

En este punto, cabe indicar que el reciclaje de carbono y nutrientes durante la descomposición es un proceso indispensable para el ecosistema como un control importante sobre el ciclo del carbono y la disponibilidad de nutrientes para el desarrollo, el crecimiento vegetal y la estructura de la comunidad. La hojarasca es un determinante primordial de la descomposición de un clima determinado y varía según la especie (Ha¨ttenschwiler et al. 2005).

Debido a que la materia orgánica producto de la descomposición en el suelo resulta del equilibrio entre entradas y salidas de carbono dentro del ambiente subterráneo, proveniente de los detritos de hojarasca y raíces, las salidas se generan por la producción de CO<sub>2</sub> en los suelos, por la respiración de las raíces y la descomposición microbiana de la materia orgánica; aunque el CH<sub>4</sub>, el flujo y la lixiviación hidrológica de compuestos de carbono disueltos y partículas también pueden ser importantes (Davidson y Janssens 2006). Por otra parte, las entradas se realizan por procesos fotosintéticos de las plantas con absorción de CO<sub>2</sub> y acumulación de carbono en su biomasa y suelo.

De esta manera, las reacciones químicas de los procesos de descomposición y acumulación de carbono están influenciadas por la temperatura; mientras que la respiración de raíces y descomposición microbiana se vincula con la limitación del agua (Davidson y Janssens 2006). Por la tanto, los impactos generados en el suelo afectan los reservorios de carbono y agua, provocando en gran parte, condiciones secas, donde el contenido de carbono es inferior al 1% y la cobertura orgánica del suelo es pequeña (Bottner et al. 2006; Álvarez 2005; Davidson y Janssens 2006).

## **2. Cambio climático y sus efectos sobre la dinámica de la materia orgánica en ecosistemas de montaña**

El clima de la Tierra se ha calentado aproximadamente 0,6°C durante el siglo pasado, con dos períodos principales de calentamiento, el primero entre 1910 y 1945 y el segundo desde 1976 en adelante, donde se han dado aumentos de temperatura de casi el doble. En tal sentido, los escenarios climáticos para el siglo XXI predicen un mayor calentamiento en los sitios de alta latitud del norte (con excepción de Groenlandia), pudiendo darse un aumento entre 1.5°C y 5°C, con importantes cambios en los patrones

de precipitación (R. Aerts 2006) y cambios en la intensidad y frecuencia de los vientos climáticos (IPCC 2007).

Lo más probable es que la precipitación sube en latitudes altas y en la zona ecuatorial y que baje en zonas subtropicales. Por su parte, los ecosistemas de alta montaña presentan mayor vulnerabilidad a los cambios de temperatura porque su estructura y dinámica está fuertemente ligada con las severas condiciones ambientales en las que se han desarrollado, estos representan aproximadamente una cuarta parte de la superficie del planeta y son hogar de al menos una cuarta parte de su biodiversidad (Llambí et al. 2012; R. Sánchez 2013).

En este contexto, son ideales para estudiar los impactos del cambio climático, pues sus amplios gradientes altitudinales producen importantes variaciones en la temperatura, de hecho, estudios anteriores han mostrado que el incremento de la temperatura en las elevaciones superiores ( $1.7 \pm 0.6$  décimas de grado por década) es mayor que en las zonas más bajas (1.4 décimas de grado por década (Llambí et al. 2012)).

En tanto, en zonas templadas y subtropicales, el impacto y los cambios en la duración y cantidad de la capa de nieve como consecuencia de cambios climáticos serán factores cruciales en la disponibilidad de agua para las cuencas hidrológicas, y se predice que estos cambios en la escorrentía fluvial también afecten a los ecosistemas y las poblaciones humanas de regiones de tierras bajas que dependen del agua de la montaña para subsistir (Beniston 2003; Uribe 2015).

En el caso de las montañas tropicales, la provisión de agua depende menos de los glaciares, pero el cambio climático también impactará directamente los servicios ecosistémicos por su efecto sobre el tamaño y la distribución de los humedales, y por los posibles cambios en la dinámica del carbono en los suelos. Específicamente, el aumento de temperatura generará condiciones más secas y cálidas en los ecosistemas de páramo, lo que podría alterar las tasas de descomposición de materia orgánica, provocando una disminución de los contenidos de carbono en el suelo, de esta forma, estos factores podrían afectar directamente su capacidad para almacenar agua y regular su flujo, afectando así a la provisión de este líquido vital para millones de personas (Buytaert, Cuesta, y Tobón 2011).

El clima tiene un papel fundamental como controlador de la descomposición, ya que incide directamente en el metabolismo de las bacterias y hongos, con ello el balance global de carbono a través de los efectos de descomposición, y al suelo (Rien Aerts 1997). Los cambios de temperatura generan impactos negativos en la producción y la

química de la hojarasca (composición), con mayor impacto en sitios templados subárticos (Rien Aerts 1997).

Es así como la descomposición aumentará en zonas templadas y mediterráneas (trópicos húmedos), sin embargo, esta dependerá del tipo de hojarasca forestal, principalmente hojas de plantas perennes con altas concentraciones de lignina (Rien Aerts 1997), ya que esta característica difiere entre especies aunque compartan el mismo ambiente, debido a la dureza, lignina, polifenoles y relaciones de carbono - nitrógeno, lignina- nitrógeno y sus consecuencias para la actividad microbiana (Rien Aerts 1997; S. Sánchez et al. 2008).

### **3. Los páramos, ecosistemas estratégicos para entender el cambio climático y los procesos de descomposición**

El páramo es un ecosistema de montaña el cual presenta una de las funciones más importantes que es acumular agua y regular flujos hídricos. La estructura del suelo, la vegetación y el clima del páramo le ha permitido desarrollar mecanismos de almacenamiento y regulación de la salida del agua, por lo que se constituyen como reguladores naturales de escorrentía, considerados como “fábricas de agua”, de acuerdo con ciertos autores, mientras que otros los asocian al efecto de esponja y a la regulación hídrica en épocas de estiaje (Buytaert et al. 2006).

Las características climáticas, geomorfológicas, edáficas y de vegetación del páramo, le permiten ser una fuente permanente de agua, considerado como uno de los principales servicios ambientales por ser proveedor de este recurso (Rodríguez- Morales et al. 2014). El suelo y el ciclo de nutrientes presentan un flujo directo con la fijación del carbono, convirtiéndose en un factor importante de apoyo en la regulación hídrica y en el almacenamiento de este en el suelo, a más de esto, también tiene el rol de prevenir erosiones y deslaves (Hofstede et al. 2002; Guayaquil 2013).

Los gradientes altitudinales de los ecosistemas del páramo pueden ser utilizados como sistemas para la comprensión del cambio climático ya que sirven para la evaluación de impactos relacionados con el clima, debido a las variaciones de temperatura registradas en la altura en distancias horizontales relativamente cortas, así como lo hace la vegetación y la hidrología. Las montañas albergan una alta biodiversidad, a menudo con transiciones bruscas (eco-tonos) en las secuencias de vegetación, mostrando cambios rápidos también en el suelo debido a la nieve y al hielo (Beniston 2003).

En tal sentido, los páramos son a menudo endémicos, porque muchas especies permanecen aisladas en grandes alturas en comparación con las comunidades de vegetación de las tierras bajas, que pueden ocupar nichos climáticos repartidos en cinturones latitudinales más amplios (Beniston 2003), sus características orográficas incluyen algunos de los gradientes más agudos que se encuentran en áreas continentales. Las particularidades relacionadas incluyen cambios rápidos y sistemáticos en los parámetros climáticos, en especial la temperatura y la precipitación, dadas en distancias muy cortas (Beniston 2003; Bates et al. 2008).

Así también existen cambios en la escorrentía directa y erosión muy mejorada, variación sistemática de otros factores climáticos como la radiación y ambientales como diferencias en los tipos del suelo. En algunas regiones de montaña se ha demostrado que hay una dependencia de elevación de las tendencias y anomalías de la temperatura (Beniston 2003), característica que no es evidenciada en otras zonas de tierras altas debido a que las montañas en otras partes del mundo son susceptibles a los impactos climáticos (Beniston 2003).

La descomposición de los ecosistemas de páramo es diferente de otros ya que no se evidencia la misma cantidad de hojarasca en el suelo, sino que se encuentra formando parte de la necromasa, en términos de biomasa que forma parte de los penachos del pajonal con agrupaciones de especies del género *Calamagrostis* y *festuca*. Esta se encuentra asentada en la estructura de la planta, muy diferente del resto de ecosistemas, donde las hojas se mueren y caen, es por ello la importancia de estudiar la descomposición de la hojarasca de los penachos del pajonal de *Calamagrostis intermedia*, porque es materia orgánica muerta de la misma especie, con las mismas características físicas y morfológicas sobre un microclima y condiciones diferentes en un mismo ecosistema, donde la gradiente de temperatura en montaña permite entender la sensibilidad de este proceso ante los efectos del cambio climático. En este sentido, el presente estudio es de gran interés porque no existen registros de información sobre la dinámica de descomposición de la materia orgánica de los penachos del pajonal.



## Capítulo segundo

### Marco metodológico

#### 1. Área de estudio

El área de estudio se encuentra ubicado en el gradiente altitudinal del flanco occidental de la Reserva Hídrica Atacazo (RHA) y del flanco oriental del Parque Nacional Cayambe Coca (PNCC) Figura 1.

#### 1.1 Reserva Hídrica Atacazo

La RHA se ubica en la Cordillera Occidental, Provincia de Pichincha, Cantón Quito, Parroquia Cutuglagua. Su altura es de 4750 msnm, la temperatura media anual es de 11.9°C en invierno (noviembre a febrero) y verano (marzo a octubre). La vegetación corresponde a pajonales altimontanos y montanos paramunos (Ministerio del Distrito Metropolitano de Quito 2011), de acuerdo con (Sierra 1999), corresponde a un páramo herbáceo occidental, con especies de *Calamagrostis* sp., *Brachyotum ledifolium*, *Ribes* sp., *Gynoxys* sp., *Baccharis teindalensis* y especies de las familias de Asteraceae y Gentianaceae.

Las muestras de *Calamagrostis intermedia* que se utilizaran en el proceso de descomposición, se colocaron en el gradiente altitudinal de Atacazo:

1. El estrato alto donde se ubicaron las muestras corresponde a un área en regeneración, ya que había sido quemado hace dos años, y las macollas de *Calamagrostis intermedia* estaban pequeñas entre 0.10 y 0.30 m. En el sitio se registraron almohadillas con agrupaciones de especies de *Plantago rigida*, *Geranium multipartitum*, *Gentianella sedifolia* y arbustos de *Loricaria thuyoides*. El sitio de estudio se ubica a 4116 msnm, en el punto de coordenada UTM WGS84 17 M 765469 9961851.

2. El estrato medio donde se ubicaron las muestras corresponde a un área cubierta de especies de *Calamagrostis intermedia* de aproximadamente 0.60 m de altura, además de ello se registraron arbustos representativos del área como *Gynoxys* sp., *Hypericum lancioides* y *Castilleja fissifolia*. El sitio de estudio se ubica a 3887 msnm en el punto de coordenada UTM WGS84 17 M 765757 9962998.

3. El estrato bajo donde se ubicaron las muestras corresponde a un área cubierta de especies de *Calamagrostis intermedia* de 0.60 m de altura. Se registraron

especies de *Hypericum lancioides*, *Baccharis* sp., *Gynoxys* sp. y *Valeriana microphylla*. El sitio de estudio se ubica a 3747 msnm en el punto de coordenada UTM WGS84 17 M 766968 9963848.

El Parque Nacional Cayambe Coca (PNCC) ubicado al Noroccidente de Ecuador, se encuentra en las provincias de Imbabura, Pichincha (25%) y Sucumbíos, Napo (75%). Su extensión aproximada es de 1'153.921 hectáreas, su rango altitudinal esta entre 600 y 5750 msnm, el clima es húmedo y muy húmedo, su vegetación se encuentra caracterizada por áreas naturales, intervenidas y sin vegetación ya que en esas partes se registran formaciones de nieve, lava y material piroclástico (Ministerio del Ambiente 2015).

La parte oriental de la Cordillera de los Andes se caracteriza por ser única, por los vientos y humedad que llega a la Amazonía, convirtiéndola en la región más húmeda del planeta con 6000 mm de lluvia anual aproximadamente. El PNCC es considerado como el Parque Nacional del agua, por presentar una gran ramificación hídrica en casi toda su extensión por neblina, lluvias constantes, humedales, lagunas, vegetación viva, en necromasa o almohadillas, ríos con formación de caídas y cascadas (Ministerio del Ambiente 2015).

Las muestras de *Calamagrostis intermedia* que se utilizaran en el proceso de descomposición, se colocaron en el gradiente altitudinal del Parque Nacional Cayambe Coca:

1. El estrato alto donde se ubicaron las muestras fue a 300 m sobre la laguna Paracocha con dominancia de especies de *Calamagrostis intermedia* en buen estado de 0.50 m aproximadamente. Alrededor se registraron especies de *Neurolepis* sp., *Valeriana microphylla*, *Monticalia andicola*, *Diplostephium rupestre*, *Cortaderia nítida*, *Gynoxys* sp. y un arbusto de Solanaceae. El sitio de estudio se ubica a 4119 msnm en el punto de coordenada UTM WGS84 17 M 813675 9966352

2. El estrato medio donde se ubicaron las muestras se encuentra sobre el humedal a 10 m, corresponde a un área dominada por especies de *Calamagrostis intermedia* en buen estado y por *Valeriana microphylla*. El sitio de estudio se ubica a 3937 msnm en el punto de coordenada UTM WGS84 17 M 814962 9965815.

3. El estrato bajo donde se ubicaron las muestras corresponde a un área plana y abierta con especies de *Calamagrostis intermedia* en buen estado y crecimiento de aproximadamente 0.15 y 0.25 m de alto. Alrededor se registraron especies de *Cortaderia nítida*, *Valeriana microphylla*, *Diplostephium rupestre*. El sitio de estudio se ubica a 3841 msnm en el punto de coordenada UTM WGS84 17 M 816652 9964279.



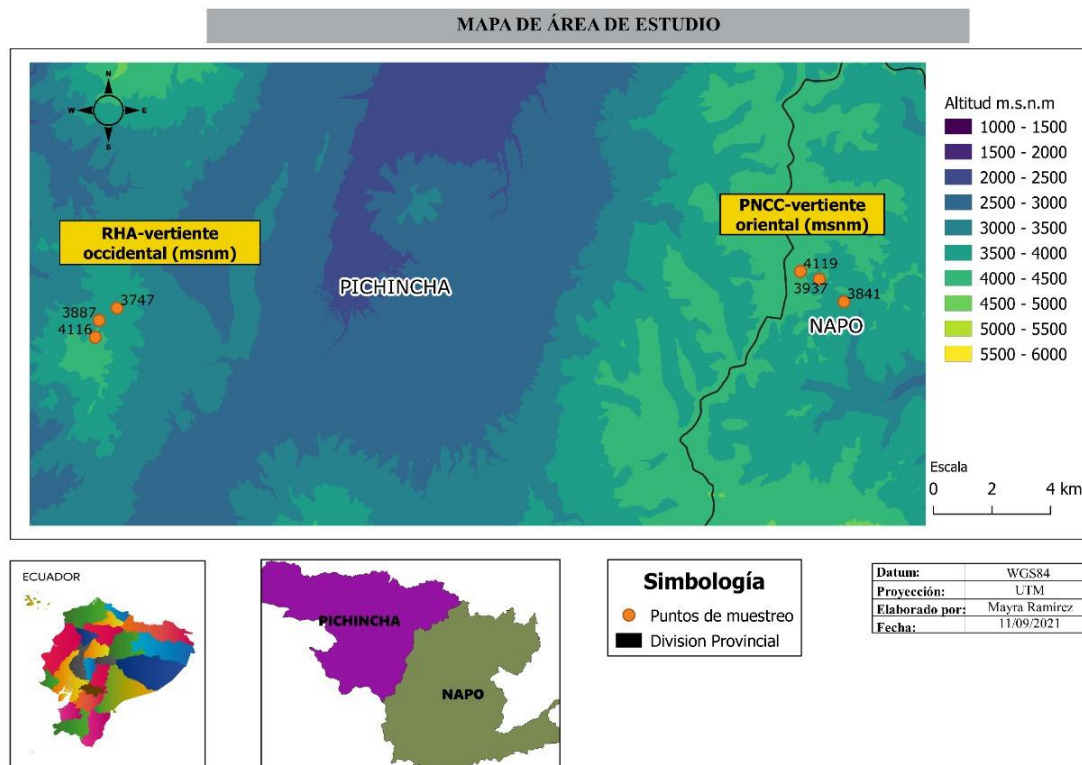


Figura 1. Mapa del área de estudio

Elaboración Propia

## 2. Metodología

La colecta de material biológico corresponde a hojas de *Calamagrostis intermedia*, las cuales fueron recolectadas a lo largo del camino del páramo del PNCC. Para colectar las muestras, se escogieron hojas en buen estado de color verde oscuro, evitando las hojas secas o con partes descompuestas. Las hojas se colectaron mediante la ayuda de tijeras podadoras, luego fueron almacenadas en fundas de basura. Se colectó aproximadamente 30 kilos de hojarasca y se trasladaron al laboratorio de ecología de la Universidad San Francisco de Quito.

Para la preparación de las muestras se procedió a cortar hojas de 15 cm de *Calamagrostis intermedia*. Las hojas fueron secadas a temperatura ambiente y pesadas entre 0.8 a 1 gramo, y se ataron con una piola, cinta de marcateje de color rojo en cada extremo de la muestra y un taípe de color rojo numerado, con el fin de ir registrando los datos en base a la numeración y los colores rojos para una mejor visualización en campo. En el presente

estudio se colocaron las muestras de posición natural dentro de la macolla de *Calamagrostis intermedia* a diferencia de la técnica estándar con bolsas de hojarasca.

Las muestras de *Calamagrostis intermedia* se colocaron en el gradiente altitudinal del PNCC a 4119, 3937, 3841 msnm y RHA a 4116, 3887 y 3747 msnm. Se utilizó el diseño de bloques para controlar la variabilidad abiótica en cada rango altitudinal (Rojas-Martínez y Basilio 2005). En cada gradiente se colocaron 48 muestras, de las cuales se dividió 4 muestras por macolla en 3 cuadrados, dando un total de 144 muestras en el gradiente altitudinal y 288 muestras para las dos áreas de estudio (Figura 2).

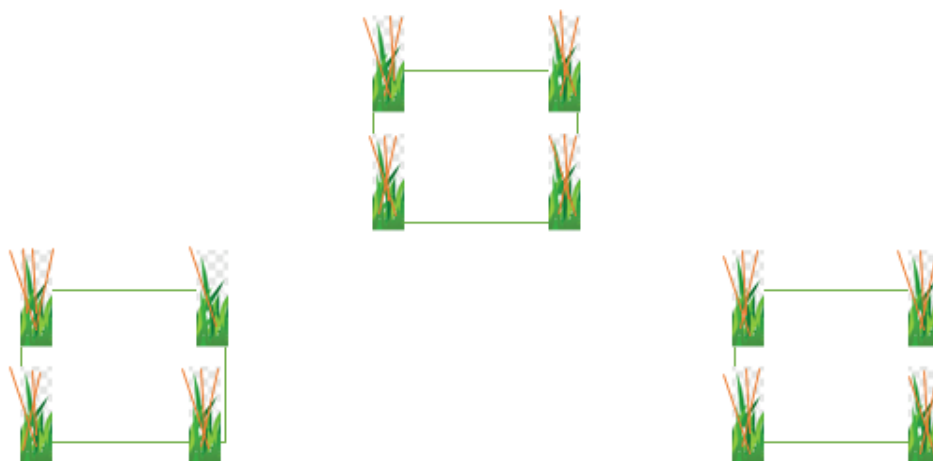


Figura 2. Diseño de bloques en el que se ubicaron las muestras de *Calamagrostis intermedia*

Elaboración propia

En cada gradiente altitudinal se colocó un data-logger para medir la temperatura dentro de la macolla y del aire, el cual permaneció durante toda la fase de campo para registrar datos de tiempo a cada hora.

Una vez finalizada la fase de instalación de las muestras y de los data-loggers. Se procedió a retirar 4 muestras de hojarasca de las macollas de *Calamagrostis intermedia* en diferentes períodos de tiempo de 68, 129, 180 y 301 días (Figura 3).

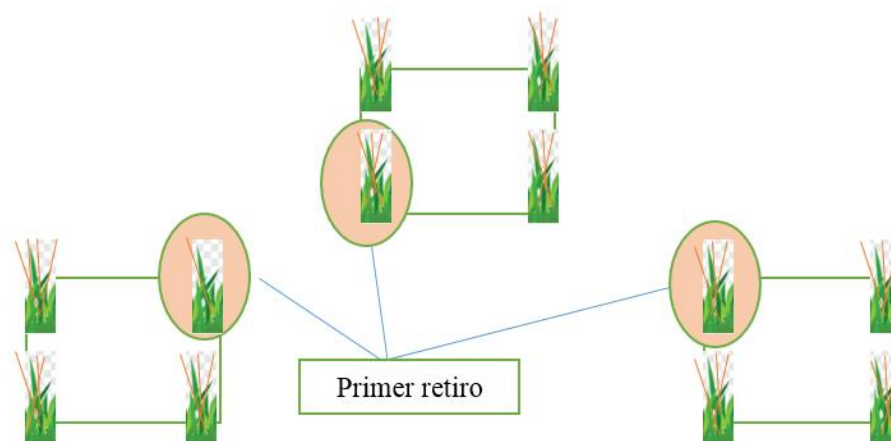


Figura 3. Ejemplo del primer retiro de las muestras de *Calamagrostis intermedia* en el gradiente altitudinal

Elaboración propia

Las muestras retiradas de campo se llevaron al laboratorio de ecología de la Universidad San Francisco; para proceder con el secado de las muestras retiradas de campo en un horno a 65°C de temperatura por 48 horas, posterior al secado se obtuvo el peso.

Adicionalmente se prepararon 24 muestras, donde 8 se utilizaron para conocer el cálculo del factor de corrección por humedad (muestras de tratamiento), se colocaron en el horno a 65 °C por 48 horas, fueron pesadas para conocer su peso en seco y se restó del peso final de las muestras originales. Las 16 muestras restantes se dividieron en 8 para cada gradiente altitudinal de PNCC y RHA, las cuales se colocaron en las macollas de *Calamagrostis intermedia* durante la fase de instalación del estudio y se retiraron al final del día para ser trasladadas al laboratorio, en donde se las seco y peso, para restar su peso final del resto de las muestras y así tener un valor más real de las muestras originales por manipulación de muestreo.

### 3. Análisis de datos

Los resultados del procesamiento de muestras de *Calamagrostis intermedia* obtenidos en campo y laboratorio, del gradiente altitudinal del PNCC y RHA, se tabularon en una base de datos (Excel), para su posterior análisis:

### 3.1 Porcentaje de remanente vegetal

#### Calculó del factor de corrección por humedad

Para el factor de corrección de humedad se prepararon 8 muestras de tratamiento que permanecieron en el laboratorio, donde se tomó su peso inicial antes de ingresar al horno, el segundo peso se tomó la fecha que el resto de las muestras fueron colocadas en el área de estudio en campo. Se secó las muestras por 48H a 65°C. Para calcular el peso de humedad en gramos se restó el peso inicial del segundo peso.

$$\text{Ph}=\text{P1}-\text{P2}$$

Ph= Peso húmedo (g)

P1= Primer peso en seco (g)

P2= Segundo peso en húmedo (g)

#### Porcentaje de pérdida por humedad

$$\%Ph= \text{P2} * 100 / \text{P1}$$

%Ph= Porcentaje de perdida por humedad

P1= Primer peso en seco (g)

P2= Segundo peso en húmedo (g)

100= Porcentaje

#### Factor de corrección por humedad

Se sacó el promedio del porcentaje de perdida de humedad de las 8 muestras de tratamiento, dando un promedio de 7.1%

$$\text{FCh}= \text{Promedio} (\%Ph1, \%Ph2, \%Ph3\dots)$$

FCh= factor de corrección por humedad

%Ph= Porcentaje de pérdida por humedad

#### Calculó del factor de corrección por manipulación

Para el factor de corrección por manipulación se prepararon 16 muestras de las cuales se dividieron en 8 para las dos áreas de estudio. Las muestras se colocaron al inicio de la fase de instalación de las muestras y fueron retiradas al final del día. Se tomó el peso 1 de las muestras antes de salir a campo y se restó del factor de corrección por humedad, para obtener el peso húmedo de la muestra.

$$\mathbf{Ph = P1 - FCh/100}$$

Ph= Peso húmedo

P1= Primer peso en seco (g)

FCh= factor de corrección por humedad (7.1 %)

100= Porcentaje

Peso original sin humedad

$$\mathbf{Psh = P1 - Ph}$$

Psh= Peso sin humedad (g)

Ph= Peso húmedo (g)

P1= Primer peso en seco (g)

Peso perdido por manipulación

$$\mathbf{PM = Psh - P3}$$

PM= Peso perdido por manipulación (g)

Psh= Peso sin humedad (g)

P3= Peso a 65°C, 24 H

Porcentaje de peso perdido por manipulación

$$\mathbf{\%PM = (PM * 100) / Psh}$$

%PM= % de Peso perdido por manipulación (g)

Psh= Peso sin humedad (g)

100= Porcentaje

### **Factor de corrección por manipulación**

Se calculó el promedio de los resultados con valor positivo del porcentaje de peso perdido por manipulación, dando un promedio total de 3.35

$$\text{FCM} = \text{Promedio } (\%PM1, \%PM2, \%PM3, \dots)$$

FCM= Factor de corrección por manipulación (g)

%PM= % de Peso perdido por manipulación (g)

### **Cálculo del porcentaje de remanente vegetal**

Para conocer el porcentaje de remanente vegetal se resta el factor de corrección por manipulación del 100% que representaría toda la muestra completa.

$$\% \text{ remanente} = \text{FCM} - 100\%$$

### **3.2 Promedio Temperatura del aire y la macolla por hora**

Se registró la temperatura dentro de la macolla de *Calamagrostis intermedia* y en el aire cada hora con ayuda de los data loggers, que permanecieron durante toda la fase de campo en el gradiente altitudinal de las dos áreas de estudio. Los datos fueron tabulados en una hoja Excel, de los cuales se promedió la temperatura por gradiente altitudinal y por hora.

### **3.3 Análisis de variables: periodo de tiempo (días), altitud y porcentaje de remanente vegetal**

Con los datos obtenidos del periodo de tiempo y porcentaje de remanente se ordenó la información de acuerdo con el Anexo 3.

A partir de las correlaciones entre las variables, se establecieron modelos de regresión exponencial, ya que con el modelo exponencial se obtiene la ecuación de la tasa de descomposición (K) (Armenta et al 2016) y el valor del factor de correlación ( $R^2$ ).

Con respecto a la tasa de descomposición, se realizó un análisis estadístico de ANOVA de 2 vías, donde la variable dependiente corresponde al % de remanente en los últimos días de descomposición 301 y 302, con variables explicativas de altura y de sitio.

## Capítulo tercero

### Presentación de datos y resultados

En la tabla 1 se presentan los resultados de descomposición y de temperatura registrada dentro de cada macolla de *Calamagrostis intermedia* y temperatura registrada en el aire, para cada gradiente altitudinal de las zonas de estudio del PNCC y RHA.

Tabla 1.

**Datos de temperatura y descomposición del gradiente altitudinal del PNCC y RHA**

Área de estudio	Altitud (msnm)	T. aire (°C)	T. macolla (°C)	K (g)
RHA	3747	7.631	8.005	-0.002
PNCC	3841	6.110	6.928	-0.002
RHA	3887	6.567	7.454	-0.002
PNCC	3937	5.509	6.832	-0.002
RHA	4116	5.163	5.498	-0.002
PNCC	4119	4.855	5.194	-0.002

Elaboración propia

Los datos muestran un patrón consistente de los cambios en temperatura ambiental a lo largo de las gradientes de elevación. Estos cambios se reflejan en tasas adiabáticas de 1°C y 2°C por cada 100 m, para el PNCC y RHA, respectivamente. Estos cambios consistentes de temperatura en relación con la elevación nos permiten compararlos con las tasas de descomposición.

Los datos correspondientes a las tasas de descomposición son poco significativos, entre las dos áreas de estudio, como se indica en los resultados obtenidos de ANOVA con  $p=0.00608$ , y con respecto a la altura  $p=0.9988$ , donde no hay diferencias significativas entre las variables, pese a que existe una relación normal entre altitud y temperatura (Tabla 2.)

Tabla 2.

**Índice de ANOVA de 2 vías, entre las dos áreas de estudio del PNCC y RHA, con el gradiente altitudinal y la temperatura.**

	Sum of sqrs	df	Mean square	F	p (same)
sector:	254.213	1	254.213	8.156	0.00608
altura:	0.0752394	2	0.0376197	0.001207	0.9988
Interaction:	412.342	2	206.171	6.615	0.002695
Within:	1683.15	54	311.694		

---

Total:	2350.27	59
--------	---------	----

---

Elaboración propia

La homogeneidad de los resultados con respecto a la descomposición se debe a que las muestras de *Calamagrostis intermedia* se encuentran de forma natural dentro de la macolla de la misma especie, la cual tiene la función de barrera y protección contra cambios bruscos de temperatura, como se reportan en los resultados obtenidos de los data-loggers ubicados dentro de cada macolla, donde las temperaturas altas no llegan a ser tan altas, al igual que las temperaturas bajas, a diferencia de los registros del aire.

En todo el estudio se repite el efecto aislante de las macollas de *Calamagrostis intermedia*, ya que crean un microclima más estable dado por la estructura de las macollas, por lo que las tasas de descomposición son parecidas.

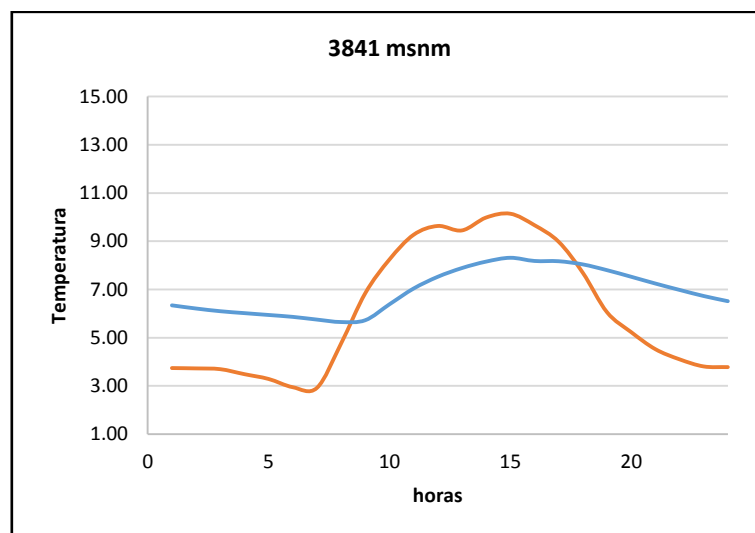


Figura 4. Promedio de temperatura (cada hora) del aire y de la macolla de *Calamagrostis intermedia* en el gradiente altitudinal del PNCC

Elaboración propia



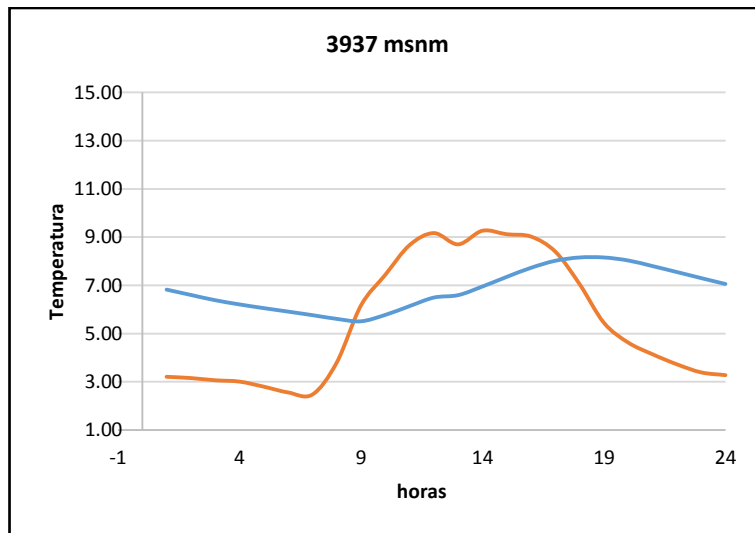


Figura 5. Promedio de temperatura (cada hora) del aire y de la macolla de *Calamagrostis intermedia* en el gradiente altitudinal del PNCC

Elaboración propia

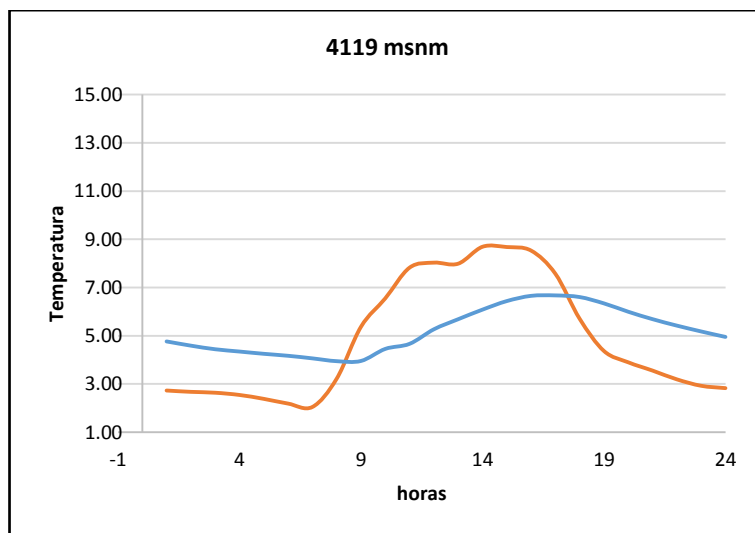


Figura 6. Promedio de temperatura (cada hora) del aire y de la macolla de *Calamagrostis intermedia* en el gradiente altitudinal del PNCC

Elaboración propia

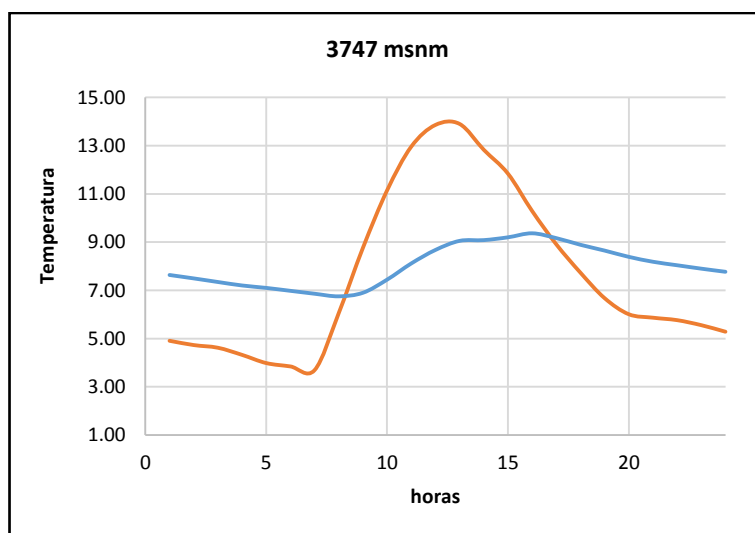


Figura 7. Promedio de temperatura (cada hora) del aire y de la macolla de *Calamagrostis intermedia* en el gradiente altitudinal de la RHA

Elaboración propia

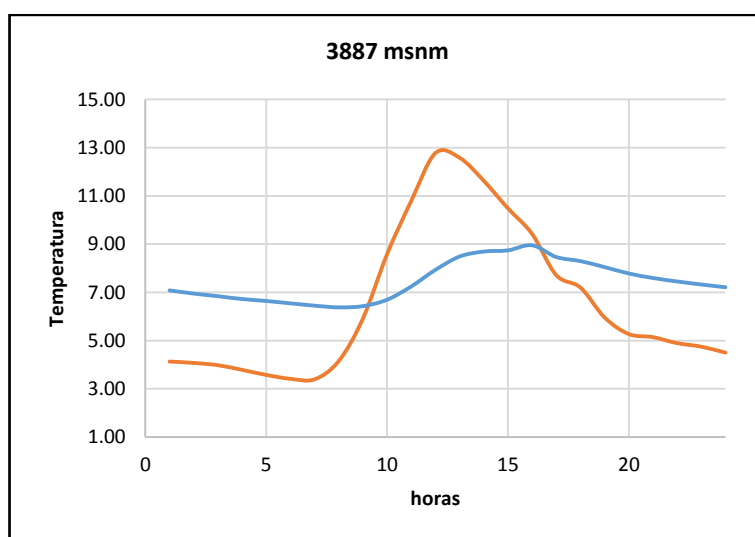


Figura 8. Promedio de temperatura (cada hora) del aire y de la macolla de *Calamagrostis intermedia* en el gradiente altitudinal de la RHA

Elaboración propia

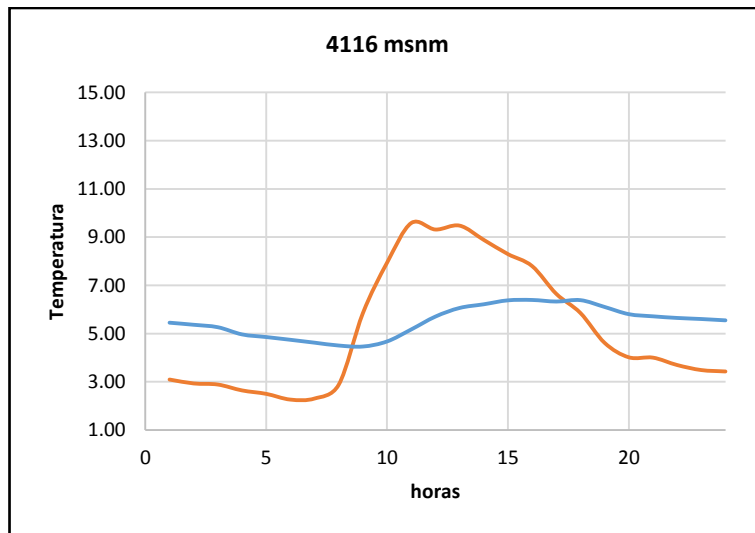


Figura 9. Promedio de temperatura (cada hora) del aire y de la macolla de *Calamagrostis intermedia* en el gradiente altitudinal de la RHA

Elaboración propia

En la gradiente altitudinal del PNCC y RHA se registra un 54.8% de remanente de hojarasca a los 300 días de descomposición. De acuerdo con el modelo de la ecuación a los 3 años 1080 días aún existiría un 11.5% de remanente de hojarasca.

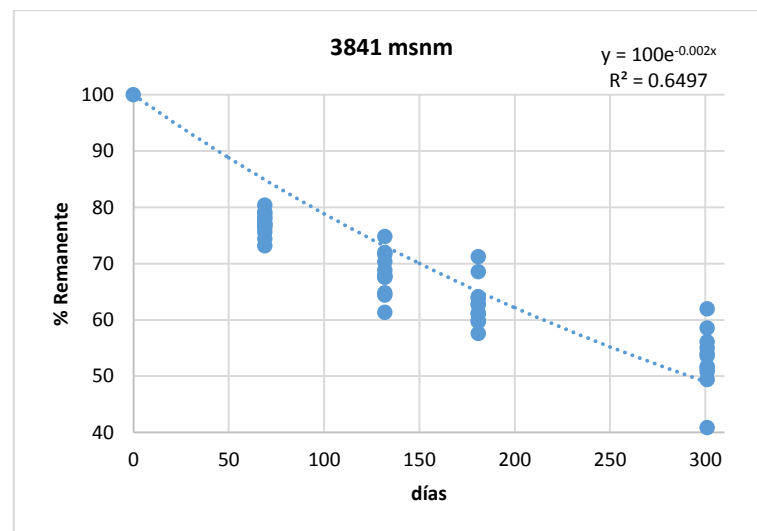


Figura 10. Porcentaje (%) de remanente vegetal en diferentes tiempos (días) en el PNCC

Elaboración propia

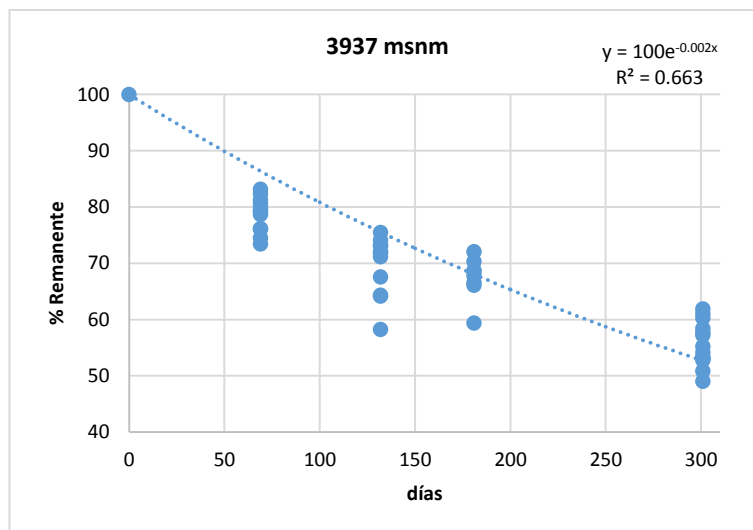


Figura 11. Porcentaje (%) de remanente vegetal en diferentes tiempos (días) en el PNCC

Elaboración propia

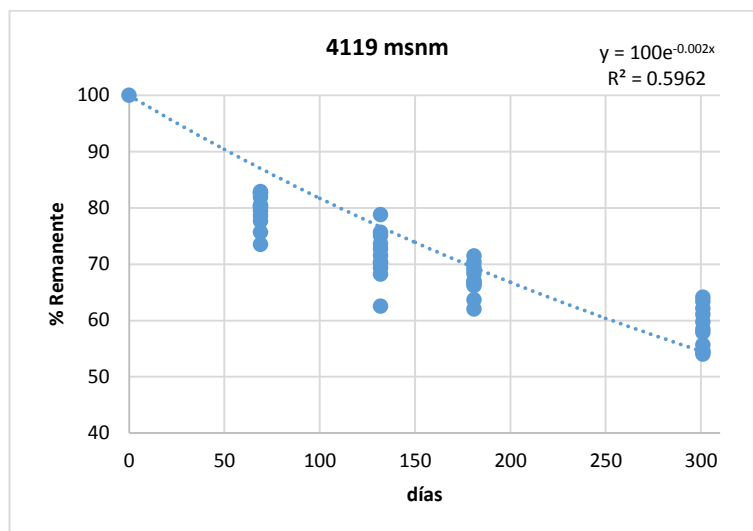


Figura 12. Porcentaje (%) de remanente vegetal en diferentes tiempos (días) en el PNCC

Elaboración propia

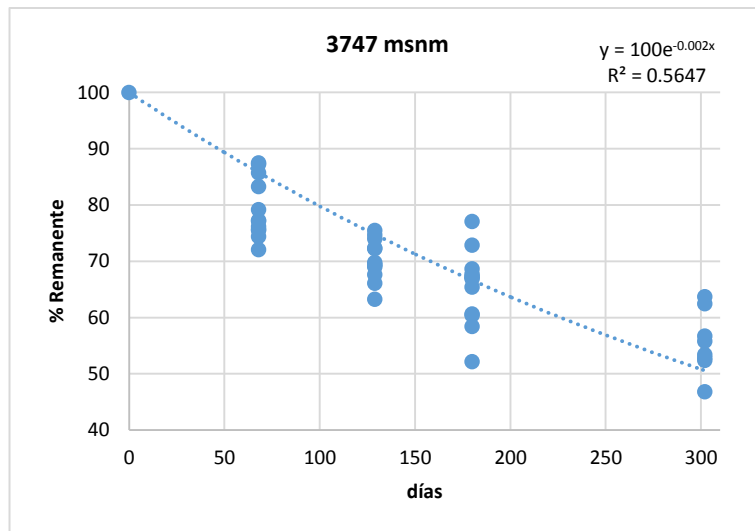


Figura 13. Porcentaje (%) de remanente vegetal en diferentes tiempos (días) en la RHA

Elaboración propia

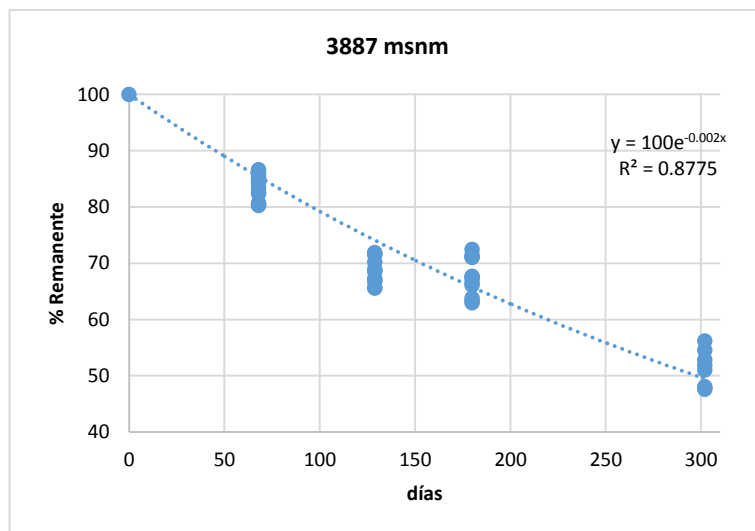


Figura 14. Porcentaje (%) de remanente vegetal en diferentes tiempos (días) en la RHA

Elaboración propia

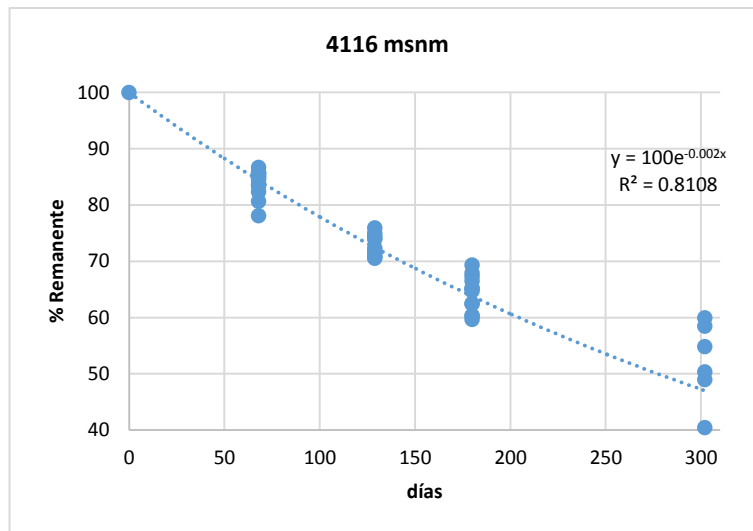


Figura 15. Porcentaje (%) de remanente vegetal en diferentes tiempos (días) en la RHA

Elaboración propia

## Capítulo cuarto

### Análisis y discusión

La temperatura registrada en el aire y en la macolla de la RHA (flanco occidental) registró 1 °C mayor a la temperatura del PNCC (flanco oriental) en el gradiente altitudinal, debido a que las macollas donde se colocaron las muestras de *Calamagrostis intermedia* se encontraban en regeneración por quema. En las macollas de la RHA se evidencio mayor alteración en comparación con las macollas del PNCC, que eran más voluminosas y densas.

Los datos de temperatura del aire y de la macolla registrados en el gradiente altitudinal de la RHA y PNCC presentan un cambio de 1°C y 2°C aproximadamente por cada 100 m de elevación, como se reportan en los estudios realizados por (Cuesta et al. 2012), quienes indican que en los ecosistemas de páramo existe una variación de temperatura de 0.6 y 0.7 °C por cada 100 m. Este patrón es explicado por la influencia de la humedad del aire y la orografía andina, como lo han sugerido estudios realizados por (Buytaert et al. 2006).

Beniston (2003) indica que las gradientes altitudinales de los ecosistemas de páramo experimentan grandes cambios de temperatura en distancias horizontales relativamente pequeñas. De la misma manera, (Becker y Bugmann 1997) reportan que los cambios de temperatura y precipitación son rápidos y sistemáticos a lo largo de las gradientes de elevación, mientras que (Espín 2012) habla sobre un cambio de temperatura promedio de 2.01 °C y de 2.97 °C en áreas cortas entre 465 y 585 msnm de elevación.

El clima promedio de los ecosistemas de páramo es de 10 °C, con una amplia variación en el día (25°C) y la noche (- 0°C) (Llambí et al. 2012; Mena y Hofstede 2006; Isch 2012). Las variaciones de temperatura de los ecosistemas de páramo los vuelve muy heterogéneos y permite la presencia de varios microclimas y formas de vida. Adicionalmente, estos patrones pueden modificarse por actividades antrópicas, por ejemplo, los datos del presente estudio corroboran esta observación. En la zona occidental de la RHA, las temperaturas fueron mayores por la quema de las macollas y como se indica en el estudio de (Camacho 2014), donde la temperatura de la cordillera

occidental es más caliente (+1°C), debido a los efectos sobre la vegetación natural y cultivada (Flórez 2002; Vargas y Ávila 2018).

Estudios realizados por (Vargas y Ávila 2018) reportan predicciones de modelos regionales, donde el impacto del aumento de temperatura en los Andes incrementara con la altitud (aproximadamente sobre los 4000 msnm), en la vertiente occidental y oriental debido al cambio de los patrones de precipitación y el incremento de temperatura, pero en el presente estudio se reportan 1°C de temperatura mayor por cada 100 m.

Los resultados de descomposición en el gradiente altitudinal de las dos zonas de estudio del PNCC (vertiente oriental) y RHA (vertiente occidental) fueron significativamente diferentes, a pesar de que existe una relación normal entre altitud y temperatura, como se reportan en otros estudios que muestran que las tasas de descomposición son controladas por la temperatura (Espín 2012).

La descomposición es mayor cuando la temperatura aumenta a diferencia de temperaturas bajas (Conant et al. 2011), por lo que existe una relación entre descomposición y clima, es decir, que el calentamiento climático induce el aumento de las tasas de descomposición de la hojarasca y con ello un mayor flujo de CO<sub>2</sub> (R. Aerts 2006). El clima puede alterar la productividad de las plantas, las tasas de descomposición y el almacenamiento de carbono del ecosistema.

Las tasas de descomposición de la hojarasca aumentarán con la temperatura, solo si hay suficiente humedad en el suelo, por lo que las tasas de descomposición son mayores en sitios más altos, fríos y húmedos en comparación de sitios bajos, cálidos y secos. Por lo que se indica la interacción de temperatura y humedad, concluyendo que las tasas de descomposición de la hojarasca incrementaran siempre que la humedad del suelo sea alta (R. Aerts 2006; Bonilla et al. 2008).

La altitud y la temperatura influyen sobre las tasas de descomposición de hojarasca en los páramos (Espín 2012), pero estos patrones pueden ser alterados por diferentes tipos de vegetación, como se muestra en el presente estudio, con resultados de descomposición similares en el gradiente de Atacazo y Cayambe Coca, donde las macollas de *Calamagrostis intermedia*, generarían condiciones de microhábitats, que intervengan en el incremento de las tasas de descomposición.

Al igual que el estudio de (Espín 2012), con resultados homogéneos en las tasas de descomposición de la vertiente occidental, debido a que el sitio de estudio se encontraba cubierto de un parche vegetal de la especie de *Diplostephium ericoides* y la estructura cerrada de la vegetación generaría un microclima con mayor humedad y



menores temperaturas, disminuyendo la descomposición de la hojarasca. Mientras que en el presente estudio y de acuerdo con (Pratolongo y Kandus 2005), se evidenció que dentro de los pajonales existe mayor humedad y productividad, por el vínculo que existe entre el flujo del agua y la productividad primaria neta.

En el pajonal existe mayor cantidad de humedad y de carbono, lo que permite que la descomposición sea más lenta, por el microclima que se crea dentro de cada macolla (Villaroel et al. 2017), es por ello, que en el actual estudio el clima no influye directamente en el proceso de descomposición. En un estudio del ecosistema del Ángel se evidencia mayor retención hídrica (54% almacenamiento de agua) por humedad en áreas conservadas de pajonal, por la diferencia que existe en áreas arbustivas o de almohadillas (Villaroel et al. 2017). Sí existe mayor vegetación, existirá mayor carbono y humedad con mayor fijación de CO<sub>2</sub> (Carrera y Guachi 2018).

En el actual estudio, en base a los modelos de la ecuación de descomposición y cambios bruscos de temperatura, se evidencia que, a los 3 años, la especie de *Calamagrostis intermedia* no se descompone en su totalidad, porque aún existiría un 11.5 % de hojarasca (55% de descomposición anual). De acuerdo con el estudio de (Pratolongo y Kandus 2005) el 95% de hojarasca de pajonal de *Scirchus giganteus* se descompone en 1005 días y de acuerdo con (Gutiérrez y Medrano 2019) el 40% de hojarasca se descompone al año. Lo que nos permite predecir que esta forma de vida en macolla tiene una capacidad muy baja de descomposición, siendo un reservorio de carbono bastante estable, que no se descompone fácilmente y que su necromasa se mantiene en pie dentro de la macolla, lo que se diferencia de los demás ecosistemas.

La especie de *Calamagrostis intermedia* permite mitigar los cambios bruscos de temperatura, generando una temperatura baja, al igual que una baja tasa de descomposición. Un páramo de pajonal y pajonal arbustivo almacena entre 15 y 25 MgC/Ha en su biomasa total, la especie de *Calamagrostis intermedia* registra una biomasa total de 3.29 kg/m<sup>2</sup> “se asume que 50% de la biomasa vegetal es carbono” (E. Suárez 2020), por lo que las macollas de *Calamagrostis intermedia* no se descomponen fácilmente y presentan una buena estabilidad en el tiempo. (R. Aerts 2006), estima que la descomposición de la hojarasca contribuye aproximadamente un 70% del flujo de carbono anual total (68 PgC/año) Pg= 1015 gramos, por lo que cualquier cambio en las tasas de descomposición contaminarían el ambiente.

Además de la importancia ecosistémica en las bajas tasas de descomposición, almacenamiento de carbono (biomasa y necromasa), retención hídrica y mitigador del

cambio climático, la especie de *Calamagrostis intermedia* disminuye la escorrentía superficial y erosión del suelo, minimiza el efecto de los vientos, tiene la función de especie nodriza y facilitadora del desarrollo y supervivencia de otras especies (Aguirre, Torres, y Velasco 2013; Mena y Hofstede 2006; Llambí et al. 2012). En ciertas zonas del país la especie de *Calamagrostis intermedia* es utilizada como cobertura y mejoramiento del suelo en cultivos. Los pajonales de los páramos con ciertas especies autóctonas de la zona ofrecen buenas oportunidades de restauración ya que fijan el CO<sub>2</sub> de la atmosfera al suelo y biomasa, con efectos positivos contra el calentamiento global (Mena y Hofstede 2006).

## Conclusiones

Se rechaza la hipótesis alternativa ( $H^1$ ) y se concluye que la tasa de descomposición de hojarasca de *Calamagrostis intermedia* de ecosistemas de páramos del Parque Nacional Cayambe Coca y la Reserva hídrica Atacazo, no es influenciada por el aumento o la disminución de la variable de temperatura y por el gradiente altitudinal. Por lo tanto, los procesos de descomposición de la materia orgánica, en relación con las variables de temperatura, registran datos poco significativos a pesar de que existe mayor temperatura de 1°C en la Reserva Hídrica Atacazo.

Se registra una relación normal entre altitud y temperatura con una variación de 1°C y 2 °C cada 100 m aproximadamente en el gradiente altitudinal de la Reserva Hídrica Atacazo y del Parque Nacional Cayambe, debido a que las muestras de hojarasca fueron colocadas dentro de las macollas de la especie de *Calamagrostis intermedia*, en donde se forma un microclima que protege a las plantas contra impactos fuertes de temperaturas como calores y fríos extremos.

Las macollas de *Calamagrostis intermedia* se descomponen en un 55% al año, registrando valores bajos en la tasa de descomposición anual y con ello un buen reservorio de carbono en su biomasa total y necromasa, ya que a diferencia de otros ecosistemas las hojas no caen al suelo, sino se quedan formando parte de la macolla como necromasa. La forma de vida de macolla de la especie de *Calamagrostis intermedia* evita que la hojarasca se descomponga en un tiempo corto ya que mantiene un microhábitat húmedo que protege al suelo y a las especies que se encuentran cerca contra cambios bruscos de temperatura.



## Recomendaciones

El ecosistema de páramo debe ser atendido a su vulnerabilidad y a las amenazas que presenta, ya que es estratégico para la naturaleza, la sociedad, la economía y sus irremplazables funciones ecosistémicas como fuente hídrica, grandes reservorios de carbono que mitigan los efectos del cambio climático. Además de albergar una gran biodiversidad que se ha adaptado a condiciones climáticas extremas.

Con el presente estudio, se pudo conocer la función de los pajonales frente al cambio climático, por lo que se recomienda realizar un segundo estudio en el que las muestras de hojarasca se coloquen directamente en el suelo, debido a que los invertebrados juegan un papel importante en el proceso de descomposición y así conocer de qué manera influyen los microorganismos del suelo y el clima en la descomposición, además de ello se puede incluir data loggers que tomen datos de precipitación y evapotranspiración.



## Obras citadas

- Aerts, R. 2006. “The freezer defrosting: global warming and litter decomposition rates in cold biomes”. *Journal of Ecology* 94: 713–24. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2006.01142.x>.
- Aerts, Rien. 1997. “Climate, Leaf Litter Chemistry and Leaf Litter Decomposition in Terrestrial Ecosystems: A Triangular Relationship”. *Oikos* 79 (3): 439–49.
- Aguirre, Nikolay, Jonathan Torres, y Patricia Velasco. 2013. “Guía para la restauración ecológica en los páramos del Antisana. Quito”. Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica. 2013. <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/07/Gu%C3%ADa-Metodol%C3%B3gica-restauracion-p%C3%A1ramos.pdf>.
- Álvarez, S. 2005. “La descomposición de materia orgánica en humedales: la importancia del componente microbiano”. *Ecosistemas* XIV (2): 17–29.
- Bates, Bryson, Zbigniew Kundzewicz, Jean Palutikof, y Shaohong Wu. 2008. “El Cambio Climático y el Agua. Documento técnico del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.” Secretaría del IPCC, Ginebra. 2008. <https://archive.ipcc.ch/pdf/technical-papers/ccw/climate-change-water-sp.pdf>.
- Becker, A., y H. Bugmann. 1997. “Predicción de los impactos del cambio global en la hidrología de las montañas y ecología: estudios integrados de hidrología de cuenca/gradiente altitudinal. IGBP Informe No. 43”. *Secretaría del IGBP, Estocolmo, Suecia*.
- Beltrán, Karla, Silvia Salgado, Francisco Cuesta, Susana León-Yáñez, Katya Romoleroux, Edwin Ortiz, Adriana Cárdenas, y Alexandra Velástegui. 2009. “Distribución Espacial, Sistemas Ecológicos y Caracterización Florística de los Páramos en el Ecuador”. EcoCiencia, Proyecto Páramo Andino y Herbario QCA. Quito. 2009. <https://biblio.flacsoandes.edu.ec/libros/digital/43576.pdf>.
- Beniston, Martín. 2003. “Cambio climático en regiones de montaña: una revisión de los posibles impactos”. *Cambio climático* 59, CH-1700, , 5–31.
- Bonilla, Ruth, Belisario Roncallo, José Jimeno, y Tatiana García. 2008. “Producción y descomposición de la hojarasca en bosques nativos y de *Leucaena* sp., en Codazzi, Cesar.” *Ciencia y Tecnología Agropecuaria* 9 2: 5–11.

- Bottner, P., L. Marc, S. Dominique, R. Callisaya- Bautista, y K. Metselaar. 2006. “Factores que controlan la descomposición de la materia orgánica del suelo en sistemas de barbecho de los Andes tropicales altos: un enfoque de simulación de campo utilizando 14 C- y 15 Material vegetal marcado con N. *Biología y bioquímica del suelo.*”, 2162–77.
- Buytaert, W., R. Celleri, B. De Bièvre, F. Cisneros, G. Wyseure, J. Deckers, y R. Hofstede. 2006. “El impacto humano sobre la hidrología de los páramos andinos.” *ScienceDirect. Tierra-ciencia*, 79.63-72.
- Buytaert, W., C. Cuesta, y C. Tobón. 2011. “Posibles impactos del cambio climático en los servicios ambientales de las regiones alpinas tropicales húmedas.” *Ecología Global y Biogeografía*, 19–33.
- Camacho, Miguel. 2014. “Los páramos ecuatorianos: caracterización y consideraciones para su conservación y aprovechamiento sostenible”. *ANALES de la Universidad Central del Ecuador* 1 (372): 78–92. <https://doi.org/10.29166/anales.v1i372.1241>.
- Carrera, Ángela, y Sofia Guachi. 2018. “Evaluación De Carbono Fijo En Páramo Andino Mediante La Estimación de Biomasa en la Reserva Sabia Esperanza”. Tesis de pregrado, Universidad Técnica Del Norte. [https://rraae.cedia.edu.ec/Record/UTN\\_926eda822d5e947bb7df4b208bda6a46](https://rraae.cedia.edu.ec/Record/UTN_926eda822d5e947bb7df4b208bda6a46).
- Carter, David, David Yellowlees, y Mark Tibbett. 2007. “Descomposición de cadáveres en ecosistemas terrestres”. *Naturwissenschaften*, n° 94: 12–24.
- Castañeda, Abel, y Carmen Montes. 2017. “Carbono almacenado en páramo andino”. *Entramado* 13 (1): 210–21.
- Castañeda, M. 2017. “Carbono almacenado en páramo andino.” No 13.
- Conant, Richart, Michael Ryan, Gorani Agren, Hannahe Birge, Eric Davidson, Peter Eliasson, Sarah Evans, et al. 2011. “Temperature and soil organic matter decomposition rates synthesis of current knowledge and a way forward”. *Global Change Biology* 17. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2011.02496.x>.
- Conciencia, ECO. 2015. “¿QUÉ ES UN ECOTONO?” Conciencia, ECO. 2015. [www.concienciaeco.com](http://www.concienciaeco.com).
- Cuesta, Francisco, Macarena Bustamante, María Becerra, Julio Postigo, y Manuel Peralvo. 2012. “Panorama andino de cambio climático: Vulnerabilidad y adaptación en los Andes Tropicales.” CONDESAN, SGCAN, Lima. 2012. [https://condesan.org/wp-content/uploads/2021/05/Panorama\\_Andino\\_2013\\_Optimized.pdf](https://condesan.org/wp-content/uploads/2021/05/Panorama_Andino_2013_Optimized.pdf).



- Dangles, O., A. Rabatel, A. Kraemer, A. Zeballos, A. Soruco, D. Jacobsen, y F. Anthelme. 2017. "Ecosystem sentinels for climate change? Evidence of wetland cover changes over the last 30 years in the tropical Andes". *PLoS One* 11 (6). <https://doi.org/e0157441>.
- Davidson, Eric, y Ivan Janssens. 2006. "Temperature sensitivity of soil carbon decomposition and feedbacks to climate change" 440 (9). <https://doi.org/10.1038/nature04514>.
- Ecured. 2012. "Lignina vegetal". 2012. [www.ecured.cu/Lignina](http://www.ecured.cu/Lignina).
- Espín, Sebastián. 2012. "Patrones altitudinales de descomposición de hojarasca en dos localidades de páramo sometidas a diferentes regímenes climáticos." Tesis de pregrado, Quito-Ecuador: Universidad San Francisco de Quito. <https://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/1913>.
- Flórez, A. 2002. "Movilidad altitudinal de páramos y glaciares colombianos." *Memorias del Congreso Mundial de Páramos Paipa, Colombia*, 80–90.
- Gómez, A. 2019. "Bases físicas del cambio climático. Programa Campus COP 25". United Nations Climate Change. 2019. <https://unfccc.int/es/cop25>.
- Guayaquil, M. 2013. "Marco regulatoria actual y perspectivas jurídicas del ecosistema frágil de páramo en el Ecuador."
- Gutiérrez, S., y V. Medrano. 2019. "The effects of climate change on decomposition processes in Andean Paramo ecosystem-synthesis, a systematic review". *Applied Ecology and Environmental Research* 17 (2): 4957–70.
- Hofstede, R., J. Calles, V. López, R. Polanco, F. Torres, J. Ulloa, A. Vásquez, y M. Cerra. 2014. "Los Páramos Andinos ¿Qué sabemos? Estado de conocimiento sobre el impacto del cambio climático en el ecosistema páramo." *UICN, Quito-Ecuador*.
- Hofstede, R., P. Coccus, P. Mena, J. Segarra, J. Wolf, y J. Sevink. 2002. "Estado de conservación de los páramo de pajonal en el Ecuador." *Ecotropicos*, 3–18.
- Hribljan, J., E. Suárez, L. Bourgeau, S. Chávez, E. Lilleskov, S. Chimbolema, C. Wayson, E. Serocki, y R. Chimner. 2017. "Multidatos, detección multisensor remoto revela alta densidad de turberas de montaña ricos en carbono en el páramo de Ecuador."
- IPCC. 2007. "Cambio Climático 2007 Impacto, Adaptación y Vulnerabilidad". IPCC. 2007. <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2020/02/ar4-wg2-sum-vol-sp.pdf>.

- . 2021. “El cambio climático es generalizado, rápido y se está intensificando”. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el cambio climático. 2021. [www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch).
- Isch, Edgar. 2012. “El cambio climático y la gestión de páramos.” Consorcio Camaren. 2012. <https://camaren.org/documents/cambioclimatico.pdf>.
- Julca, Alberto, Liliana Meneses, Raúl Blas, y Segundo Bello. 2006. “La materia orgánica, importancia y experiencia de su uso en la agricultura.” *Scielo* 24 (1): 49-61.
- Kennedy, Caitlyn, y Rebecca Lindsey. 2018. “¿Cuál es la diferencia entre el calentamiento global y el cambio climático?” Climate. gov. Ciencia e información del clima. Smart- Nation. 2018. <https://drupal-www.climate.woc.noaa.gov/news-features/climate-qa/%C2%BFcu%C3%A1l-es-la-diferencia-entre-el-calentamiento-global-y-el-cambio-clim%C3%A1tico>.
- Llambí, Luis, Alejandra Soto-W, Rolando Célleri, Bert De Bièvre, Boris Ochoa, y Pablo Borja. 2012. “Ecología, hidrología y suelos de páramos. Proyecto Páramo Andino”. Flacsoandes. 2012. <https://biblio.flacsoandes.edu.ec/libros/digital/56475.pdf>.
- Marín, J., y M. Hernández. 2010. “Los humedales, sus funciones y su papel en el almacenamiento de carbono atmosférico.” *INECOL- MÉXICO*.
- Mena, P., y R. Hofstede. 2006. “Los páramos ecuatorianos. Botánica Económica de los Andes Centrales.” *Universidad Mayor de San Andrés, La Paz.*, 91–109.
- Menzel, A., T. Sparks, N. Estrella, E. Koch, A. Aasa, y R. Ahas. 2006. “La respuesta fenológica europea al cambio climático coincide con el patrón de calentamiento”. *Cambio Global Biología*. 2006.
- Ministerio del Ambiente. 2015. “Sistema Nacional de áreas protegidas. Parque Nacional Cayambe Coca”. Áreas protegidas. 2015. <http://areasprotegidas.ambiente.gob.ec/es/areas-protegidas/parque-nacional-cayambe-coca>.
- Ministerio del Distrito Metropolitano de Quito. 2011. “Memoria Técnica del Mapa de Cobertura Vegetal del Distrito Metropolitano de Quito- Ecuador.” Municipio del Distrito Metropolitano de Quito. 2011. [http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PDOT/ZONA9/NIVEL\\_DEL\\_PDOT\\_CANTONAL/PICHINCHA/QUITO/IEE/MEMORIA\\_TECNICA/mt\\_quito\\_sistemas\\_productivos.pdf](http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PDOT/ZONA9/NIVEL_DEL_PDOT_CANTONAL/PICHINCHA/QUITO/IEE/MEMORIA_TECNICA/mt_quito_sistemas_productivos.pdf).
- Podwojewski, P., J. Poulénard, T. Zambrana, y R. Hofstede. 2002. “Overgrazing Effects on Vegetation Cover and Properties of Volcanic Ash Soil in the Páramo of

- Llangahua and La Esperanza. Tungurahua, Ecuador”. *Soil Use and Management* 18: 45–55.
- Pratolongo, Paula, y Patricia Kandus. 2005. “Dinámica de la biomasa aérea en pajonales de *Scirpus giganteus* y juncales de *Schoenoplectus californicus* en la zona frontal del bajo delta del Río Paraná (Argentina)”. *Ecotropicos* 18 (1): 30–37.
- Rodríguez- Morales, M., D. Acevedo, W. Buytaert, M. Ablan, y B. De Bièvre. 2014. “El páramo andino como productor y regulador del recurso agua. El caso de la microcuenca alta de la Quebrada Mixteque, Sierra Nevada de Mérida, Venezuela”. Avances en investigación para la conservación de los páramos andinos, CONDESAN. 2014. file:///C:/Users/user/Downloads/PPA-2014capitulolibro.pdf.
- Rojas-Martínez, y A. Basilio. 2005. “Bloques aumentados (repasso: Federer, 1961). Agrociencia”. *Agrociencia* 39 (6): 693–95.
- Sánchez, Roberto. 2013. “Respuestas urbanas al cambio climático en América Latina”. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). 2013. [https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/36622/1/S2013813\\_es.pdf](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/36622/1/S2013813_es.pdf).
- Sánchez, S., G. Crespo, M. Hernández, y Y. García. 2008. “Factores bióticos y abióticos que influyen en la descomposición de la hojarasca en pastizales.” *Pastos y Forrajes n.2 Matanzas* 31.
- Sierra, R. 1999. “Propuesta Preliminar de un Sistema de Clasificación de Vegetación para el Ecuador Continental.” *Proyecto INEFAN/GEF-BIRF y EcoCiencia. Quito, Ecuador*.
- Steven, A., y C. Lu Ying. 2013. “La abundancia y composición microbianas influyen en la descomposición de la hojarasca, respuesta al cambio ambiental.” *Ecología por la Sociedad Ecológica de América*, 714–25.
- Suárez, David, Cristhian Acurio, Segundo Chimbolema, y Ximena Aguirre. 2016. “Análisis del carbono secuestrado en humedales Altoandinos de dos áreas protegidas del Ecuador”. *Scielo* 15 (2). <http://dx.doi.org/10.21704/rea.v15i2.756>.
- Suárez, E. 2020. “Estimación rápida de carbono de la biomasa aérea de los páramos”.
- Tuomi, Mikko, T. Thum, H. Järvinen, S. Fronzek, B. Berg, M. Harmon, J. Trofymow, S. Sevanto, y J. Liski. 2009. “Leaf litter decomposition—Estimates of global variability based on Yasso07 model”. *Ecological Modelling* 220 (23): 3362–71.
- Uribe, Eduardo. 2015. “El cambio climático y sus efectos en la biodiversidad en América Latina”. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). 2015.

[https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/39855/S1501295\\_en.pdf?sequence=1](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/39855/S1501295_en.pdf?sequence=1).

- Urrutia, R., y M. Vuille. 2008. "Proyecciones de cambio climático para los Andes tropicales utilizando un regional modelo climático: simulaciones de temperatura y precipitación para el final del siglo XXI."
- Vargas, Orlando, y Liz Ávila. 2018. "Riesgos y efectos del Cambio Climático en la Región Altoandina." *Avances*, 66–75.
- Villaroel, Marjorie, Sonia Chamorro, Marco Gonzáles, y Teresa Palacios. 2017. "Almacenamiento de agua y fijación de carbono en la reserva ecológica El Angel y su impacto en el uso del suelo". *Fuego* 1 (1). <https://doi.org/10.29166/revfig.v1i1.54>.
- Wall, H., A. Bradford, J. Rof, V. Ehan- Pelletier, D. Bigne, W. Parton, J. Rusek, et al. 2008. "El experimento de descomposición global muestra que los impactos de los animales del suelo sobre la descomposición dependen del clima." *Biología del cambio global*.

## Anexos

Anexo 1. Promedio de temperatura por hora de la RHA

Hora	3747 msnm		3887 msnm		4116 msnm	
	Promedio de T aire	Promedio de T macolla	Promedio de T aire	Promedio de T macolla	Promedio de T aire	Promedio de T macolla
0	4.91	7.64	4.13	7.08	3.10	5.45
1	4.73	7.50	4.07	6.95	2.93	5.37
2	4.62	7.35	3.98	6.84	2.89	5.26
3	4.33	7.20	3.79	6.72	2.64	4.97
4	3.99	7.10	3.58	6.64	2.50	4.86
5	3.85	6.98	3.42	6.55	2.26	4.74
6	3.69	6.86	3.40	6.45	2.31	4.62
7	6.06	6.75	4.15	6.38	2.88	4.51
8	8.76	6.90	5.91	6.43	5.85	4.46
9	11.14	7.44	8.59	6.70	7.94	4.67
10	12.96	8.12	10.79	7.25	9.58	5.17
11	13.86	8.68	12.78	7.93	9.32	5.71
12	13.90	9.05	12.58	8.49	9.48	6.06
13	12.83	9.08	11.63	8.69	8.89	6.22
14	11.84	9.20	10.49	8.74	8.30	6.38
15	10.29	9.37	9.43	8.95	7.80	6.39
16	8.91	9.17	7.72	8.47	6.65	6.33
17	7.73	8.89	7.20	8.30	5.85	6.39
18	6.68	8.65	5.96	8.05	4.62	6.10
19	6.01	8.39	5.27	7.78	4.02	5.81
20	5.87	8.19	5.15	7.60	4.00	5.72
21	5.77	8.04	4.90	7.45	3.70	5.65
22	5.56	7.90	4.75	7.33	3.49	5.61
23	5.29	7.77	4.50	7.21	3.43	5.55

## Anexo 2. Promedio de temperatura por hora del PNCC

Hora	3841 msnm		3937 msnm		4119 msnm	
	Promedio de T aire	Promedio de T macolla	Promedio de T aire	Promedio de T macolla	Promedio de T aire	Promedio de T macolla
0	3.74	6.34	3.21	6.82	2.73	4.77
1	3.73	6.21	3.16	6.60	2.67	4.59
2	3.70	6.10	3.06	6.38	2.64	4.44
3	3.49	6.02	3.01	6.21	2.55	4.35
4	3.29	5.94	2.80	6.06	2.38	4.25
5	2.95	5.87	2.56	5.91	2.19	4.17
6	2.92	5.75	2.47	5.76	2.05	4.06
7	4.76	5.65	3.80	5.61	3.22	3.95
8	6.85	5.73	6.17	5.51	5.37	3.96
9	8.24	6.39	7.44	5.78	6.55	4.46
10	9.27	7.04	8.67	6.14	7.83	4.67
11	9.63	7.53	9.17	6.49	8.03	5.27
12	9.45	7.89	8.70	6.59	7.99	5.69
13	9.98	8.16	9.27	6.95	8.69	6.08
14	10.14	8.31	9.12	7.35	8.68	6.44
15	9.67	8.18	9.02	7.73	8.53	6.66
16	8.98	8.17	8.40	8.02	7.57	6.67
17	7.69	8.04	7.05	8.16	5.70	6.61
18	6.06	7.80	5.45	8.16	4.37	6.34
19	5.23	7.53	4.63	8.03	3.90	6.00
20	4.53	7.25	4.14	7.80	3.56	5.69
21	4.10	6.98	3.73	7.55	3.19	5.42
22	3.81	6.73	3.39	7.30	2.93	5.18
23	3.78	6.52	3.28	7.06	2.83	4.95

Anexo 3. Matriz de datos de porcentaje de remanente vegetal en diferentes tiempos (días) del gradiente altitudinal de la RHA y PNCC

RHA				PNCC			
3747 (msnm)		3887 (msnm)	4116 (msnm)	3841 (msnm)		3937 (msnm)	4119 (msnm)
N. días	% remanente (g)	% remanente (g)	% remanente (g)	N. días	% remanente (g)	% remanente (g)	% remanente (g)
0	100	100	100	0	100	100	100
68	83.255	83.416	85.519	69	78.147	79.253	77.628
68	76.179	85.896	84.931	69	77.031	78.658	79.471
68	75.554	84.849	85.735	69	77.994	79.840	75.642
68	77.216	86.628	85.745	69	79.177	74.529	82.878
68	79.156	85.531	84.506	69	78.816	82.357	80.330
68	77.175	82.338	86.698	69	76.375	81.290	78.605
68	74.384	80.259	80.649	69	80.340	83.158	82.679
68	75.653	80.346	82.357	69	76.797	80.579	80.438
68	72.057	84.305	83.668	69	73.130	76.123	80.137
68	87.485	80.733	83.392	69	75.563	79.363	82.556
68	87.263	84.948	85.096	69	74.418	76.149	81.822
68	85.694	82.574	78.105	69	77.157	73.446	73.456
129	73.972	65.605	71.062	132	71.936	58.233	69.356
129	72.358	65.553	70.502	132	74.767	75.461	74.992
129	67.604	66.859	70.667	132	70.303	64.149	75.641
129	69.800	68.866	73.923	132	67.556	72.028	68.188
129	69.284	71.750	75.908	132	68.829	71.911	62.498
129	63.238	71.895	72.319	132	71.682	67.575	73.580
129	68.987	68.689	71.904	132	67.964	73.119	78.790
129	75.474	67.310	74.112	132	67.564	71.137	70.229
129	69.445	68.618	75.021	132	64.755	73.110	71.470
129	74.681	70.185	71.563	132	61.310	74.114	70.316

129	72.236	71.468	74.550	132	64.359	64.337	72.658
129	66.076	66.782	71.473	181	71.187	70.287	61.967
180	68.653	71.089	59.659	181	59.832	72.044	66.985
180	67.363	71.024	65.141	181	62.722	66.535	68.810
180	66.865	67.691	69.312	181	57.536	68.589	70.362
180	67.125	72.443	60.316	181	64.117	66.113	66.404
180	77.054	71.421	65.233	181	61.188	68.694	66.141
180	60.615	63.819	62.470	181	61.050	67.768	69.394
180	72.873	67.629	67.278	181	62.747	59.380	71.436
180	60.386	62.987	60.313	181	63.801	49.027	63.629
180	67.762	66.477	66.471	181	59.655	53.133	68.255
180	65.412	63.317	62.431	181	68.512	57.190	66.842
180	58.435	67.242	67.930	301	53.574	61.898	58.432
180	52.150	66.109	64.712	301	51.423	61.047	63.379
302	52.399	56.207	29.754	301	56.055	53.017	61.001
302	62.464	48.033	39.770	301	51.721	55.228	57.866
302	52.861	47.620	40.439	301	61.963	60.287	53.954
302	46.826	54.543	50.333	301	49.392	54.166	55.623
302	56.724	51.002	58.468	301	54.987	52.799	62.086
302	63.707	52.808	59.933	301	40.833	50.815	54.384
302	53.414	51.888	48.951	301	58.518	58.432	64.118
302	55.766	47.913	54.852	301	50.769	57.664	59.709
				301	53.961	53.343	54.477