



UNIVERSIDAD DEL AZUAY
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
ESCUELA DE BIOLOGÍA, ECOLOGÍA Y GESTIÓN

**Estudio de la biomasa aérea y cantidad de carbono en pajonales
occidentales del Azuay.**

Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:
BIÓLOGO CON MENCIÓN EN ECOLOGÍA Y GESTIÓN

Autor:

WANNER JEISER VERNAZA VALENCIA

Directora:

RAFFAELLA ANSALONI, PhD

CUENCA, ECUADOR

2021

DEDICATORIA

A mis padres, Mercy y Peter

A mis sobrinos Diego, Aylín, Luciana y Benjamín

A mis hermanos, Javier y John Peter.

En memoria de mis abuelos:

Pedro Nolasco Vernaza Valencia

Abiah Pura Castillo Angulo

Alfredo Damaso Valencia Preciado

Juana Rita Quiñonez Angulo.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, el autor de todas las cosas.

De manera especial y muy sincera a Raffaella Ansaloni, PhD. Su apoyo, motivación y consejos fueron fundamentales para la elaboración de este trabajo. Asimismo, un especial agradecimiento a Blga. Ruth Arias, miembros del tribunal - Mg. Danilo Minga & Mg. David Siddons - y equipo del Herbario Azuay por su colaboración.

A la Fundación Charles Darwin. Gracias por financiar mis estudios a través del programa de Becas para Galapagueños. A Gustavo Jiménez-Uzcátegui, Luis Molina y a todos quienes formaron parte de la FCD en mi periodo de voluntario y becario.

A mis maestros y compañeros de la Escuela de Biología. La Universidad fue en realidad la aventura que compartimos, gracias por su amistad y tolerancia, hicieron el camino corto y la carga ligera.

Mi mayor gratitud a mi familia gracias por ser incondicionales durante todo mi proceso académico. A Margarita Arévalo, por su soporte durante mi carrera, y a la familia Hidrobo Hidalgo, gracias por su invaluable ayuda.

A los páramos, por su paisaje sin igual, sus beneficios y todo lo que ofrecen.

Agradezco a todas las personas que han colaborado y no he podido mencionar, pero que, sin embargo, se encuentran presentes en cada paso que di y seguiré dando. Sin el aporte de todos, la tesis no hubiera sido posible. De todo corazón ¡Gracias!

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
ÍNDICE DE CONTENIDOS	iv
ÍNDICE DE FIGURAS	v
ÍNDICE DE TABLAS	v
RESUMEN	vi
ABSTRACT	vii
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I MATERIALES	4
Y MÉTODOS	4
1.1. Descripción del Área de Estudio	4
1.2. Cobertura y Biomasa del pajonal	6
1.3. Análisis Estadístico	8
1.3.1. Test de Shapiro -Wilk	8
1.3.2. Test de Levene	8
1.4. Cobertura basal y de copa	9
1.5. Determinación del peso de la paja	9
CAPÍTULO II	10
RESULTADOS	10
2.1. Área Basal, Área Visible y Altura de los pajonales.	10
2.2. Biomasa y Análisis de su variación por altitud y por subcuenca.	13
2.3. Relación entre la biomasa y las variables medidas (Área Basal, Área Visible y Altura). Ecuación.	15
Tabla 3. Relación entre la biomasa aérea total y las variables medidas.	15
CAPÍTULO III	17
DISCUSIÓN	17
3.1. Área Basal, Cobertura (Área Visible) y Altura de los pajonales.	17
3.2. Biomasa y Análisis de su variación por altitud y por subcuenca.	17
CAPÍTULO VI	20
CONCLUSIONES	20
RECOMENDACIONES	21
BIBLIOGRAFÍA	22
GLOSARIO	25
ANEXOS	26

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de distribución de área de estudio mostrando los sitios que corresponden para cada microcuenca, siendo estos: Soldados (S) y Angas (A); Tinajillas (T) y Silván (Sil).	4
Figura 2. Dimensiones de la parcela de muestreo y disposición de las subparcelas.	6
Figura 5. Separación de hojas verdes y secas, en base al componente fotosintéticamente activo.	7
Figura 4. Extracción de material vegetal en estaciones de muestreo.	7
(B: Parcela Angas, A2.1)	7
Figura 8. Gráfico de distribución de la biomasa Aérea del pajonal con respecto a las microcuencas: Macizo de Cajas y San Gregorio	13
Figura 9. Gráfico de distribución de la biomasa Aérea del pajonal con respecto a la altitud. San Gregorio: Tinajillas y Silván	14
Figura 10. Gráfico de distribución de la biomasa Aérea del pajonal con respecto a la altitud - Macizo de Cajas: Angas y soldados	14
Figura 11. Gráfico para el cálculo de obtención de volumen específico.	15
Figura 12. Gráfico de la biomasa Aérea del pajonal y su relación con la elevación, Altura total de las Macollas, Área basal total, Área visible total, Volumen cónico total, y Volumen cilíndrico total.	16

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Distribución de parcelas en el área de estudio por microcuencas y en relación a la altura, ubicados entre 3000 y 4100 m.s.n.m.	5
Tabla 2. Área basal, área visible, y altura de la paja - microcuenca: Macizo de cajas y San Gregorio.	10
Tabla 3. Valores Totales obtenidos.	16
Tabla 4. Valores analizados por microcuencas: Macizo de cajas y San Gregorio.	27
Tabla 5. Valores subparcelas	28
Tabla 6. Modelos	29
Tabla 7. Comparación de modelos utilizando criterio de Akaike	29

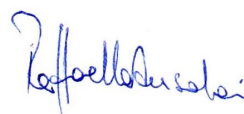
RESUMEN

Se estudiaron la estructura y biomasa del pajonal en 4 diferentes localidades, repartidas en 3 microcuencas de la zona andina del sur de Ecuador (provincia del Azuay). Las áreas del estudio cubren un rango altitudinal entre 3000 m y 4100 m s.n.m. Se analizaron las variaciones de cobertura, altura y biomasa en función de la altitud y ubicación geográfica. La flora local está compuesta principalmente por gramíneas con el característico hábito en forma de “macollas”, se destaca la asociación *Calamagrostis - Festuca*. Los resultados muestran que los pajonales de la vertiente oriental del macizo del Cajas son más denso y altos y presentan mayor biomasa que los de la vertiente occidental y de la cuenca de Jubones. Estos resultados confirman que la precipitación es probablemente el factor ambiental que determina mayor cobertura y biomasa del pajonal. Para la estimación no destructiva de la biomasa aérea de la paja se propone una ecuación alométrica basada en 3 variables (altura, área basal y área visible de las macollas) que muestra una discreta capacidad de predicción.

Palabras clave: Biomasa, ecuación alométrica, Ecuador, gramíneas, páramo.



Antonio Crespo
Coordinador de Escuela



Raffaella Ansaloni
Directora de Tesis



Wanner Vernaza
Autor

ABSTRACT

We studied the structure and biomass of the paramo tussock grass in 4 different places, distributed in 3 micro-basins of the Andean zone of southern Ecuador (province of Azuay). The study areas cover an altitudinal range between 3000 m and 4100 m a.s.l. Variations in coverage, height and biomass were analyzed as a function of altitude and geographic location. The local flora is mainly composed of grasses with the characteristic “tussock” form, the Calamagrostis - Festuca association stands out. The results show that the grasslands of the eastern slope of the Cajas massif are denser and taller and present higher biomass than those of the western slope and the Jubones basin. These results confirm that precipitation is probably the environmental factor that determines the highest coverage and biomass of the grassland. For the non-destructive estimation of the aerial biomass, we propose an allometric equation based on 3 variables (height, basal area and visible area of clumps) that shows a discrete predictive capacity.

Keywords: Biomass, allometric equation, Ecuador, grasses, paramo..



Antonio Crespo
Coordinador de Escuela



Raffaella Ansaloni
Directora de Tesis



Wanner Vernaza
Autor



Magali Arteaga
Departamento Idiomas UDA

Wanner Jeiser Vernaza Valencia
Trabajo de Titulación
Raffaella Ansaloni, PhD.
Junio, 2021

ESTUDIO DE LA BIOMASA AÉREA Y CANTIDAD DE CARBONO EN PAJONALES OCCIDENTALES DEL AZUAY.

INTRODUCCIÓN

Al definir la palabra páramo, se identifica un término polisémico debido a que puede referirse tanto a una zona geográfica o un estado del clima frío, seco y desolado. De esa misma forma, define la vegetación herbácea predominante en las altas montañas neotropicales (Hofstede et al. 2003, 2014).

En Sudamérica, los páramos representan una parte de la Cordillera de los Andes que cubre alrededor de 35.000 km² formando un corredor ininterrumpido que va desde Mérida en Venezuela - atraviesa Ecuador -, y llega a la depresión de Huancabamba al norte de Perú. También se encuentran extensiones de páramo en Costa Rica y Panamá con una superficie relativamente menor de unos 80 km² en la cordillera de Talamanca (Hofstede et al. 2014; Mena-Vásquez & Hofstede, 2006).

Como ecosistema tiene una importante utilidad ecológica, su principal función, relacionada con las sociedades humanas, es la capacidad de sus suelos de captar, almacenar y distribuir agua a las tierras bajas (Camacho, 2013; Rojas, 2011). Además, se ha demostrado que los páramos son de gran importancia por su potencial de almacenamiento de carbono, tanto en los suelos como en la vegetación (Camacho, 2013; Luteyn, 1999).

El pajonal es la vegetación más abundante del ecosistema del páramo en Ecuador; tres cuartos de todos los páramos naturales son dominados por pajonales, este se caracteriza por su alta biodiversidad y endemismo (Luteyn, 1999; Rangel Ch, 2000). Está formado principalmente por gramíneas con el característico hábito en forma de "macollas". Esta combinación está dispuesta por la asociación *Calamagrostis* - *Festuca* y otras especies de gramíneas de difícil determinación en ausencia de flores. Además, bajo el pajonal, conviven un sinnúmero de otras pequeñas especies (Minga et al. 2016).

Con respecto a la captura y almacenamiento de carbono del pajonal, se conoce que las gramíneas tienen un amplio poder de fijación neta del CO₂ asimilado durante su ciclo de crecimiento (Gardner et al. 1985). Esta condición se debe a varios factores, principalmente a su alta tasa de crecimiento temprano - lo que favorece a su Tasa de Asimilación Neta (TAN). A esta particularidad se le debe agregar que, en el páramo, existe una lenta descomposición de la materia orgánica, un fenómeno que se desencadena porque están asentados sobre suelos formados en cenizas volcánicas (en su mayoría), y los minerales, dentro de la ceniza, forman complejos muy fuertes con la materia orgánica que inhiben su descomposición (Hofstede et al. 2003).

Este suceso de condiciones convierte a los pajonales en un contenedor de carbono de gran importancia para el mundo, ya que fija y retiene el CO₂ de tal forma que equilibra la balanza en el calentamiento climático y, por lo tanto, reduce la brecha de la huella de carbono coproducida por las acciones antrópicas. Sin embargo, el impacto de actividades como la quema y los incendios forestales, afectan directamente la superficie del suelo reduciendo su capacidad de almacenamiento y captación; aunque el impacto de la quema sobre el suelo es indirecto, el resultado es un ecosistema más pobre, con paja menos vigorosa, y abre la posibilidad a que muchas especies no nativas y oportunistas aprovechen el espacio abierto (Hofstede, 1995).

Según Hofstede (2001) existen varias razones para quemar el páramo: la más importante es la constante necesidad de los agricultores de desplazar la barrera agrícola para remover la paja muerta y provocar rebrotes tiernos para el ganado. Adicionalmente, al profundizar en los estudios realizados, se puede distinguir que la mayoría de los autores menciona el daño indiscriminado que causa a la resiliencia del ecosistema actividades como la minería, lo que indica que existe una relación inversa entre el funcionamiento natural y la acción antropogénica. A mayor minería, menos agua, menos especies y menos vida, esto facilita el aumento de una creciente tensión entre aquellos interesados en la conservación y el desarrollo extractivo (Hofstede et al. 2003, 2014; Zuluaga & Hernández 2020).

Los páramos son un ecosistema estratégico, su localización en el mundo es exclusiva para la zona de los Andes, situación que debiera conllevar a una concienciación sobre su cuidado y mantenimiento. Son sumideros naturales que abastecen de agua tanto para el consumo individual como para la producción agrícola y eléctrica. La única opción viable es trabajar en un régimen de consumo más amigable con la naturaleza; detener el desplazamiento de la línea agrícola; y realizar estudios en ciencias biológicas, sociales y económicas para encontrar un espacio idóneo que contemple el desarrollo sustentable y aplique la información necesaria en forma conjunta.

Desde el 2014, Ansaloni, y otros integrantes, han estudiado la biomasa, es decir, la estructura vegetativa, el crecimiento de las hojas y demás características del pajonal en relación a los impactos humanos en el Parque Nacional Cajas, pero no hay trabajos de este tipo realizados en las áreas aledañas. Por ello, se dispuso buscar un modelo matemático que permita predecir la biomasa a partir de variables de fácil medición, como su altura, área basal etc. Paralelamente, se propuso verificar si la biomasa y la disposición espacial del pajonal tienen relación con algunos factores ambientales en los páramos occidentales del Azuay.

En virtud de lo anterior, este proyecto propone estudiar los pajonales de la cordillera Occidental - en la provincia del Azuay - para generar información sobre su cobertura y biomasa en relación con algunos factores abióticos (altitud, vertiente, precipitación y tipo de suelo) biológicos (fisiología de la especie), y antrópicos (deforestación, quema, pisoteo). De esta manera, se busca determinar la biomasa aérea y la cantidad de carbono en las áreas de estudio; evaluar la influencia de las microcuencas y la altitud sobre la cobertura de los pajonales, y buscar una relación matemática (ecuación alométrica) que permita estimar la biomasa aérea y el carbono a partir de la cobertura y altura del pajonal.

Partiendo de la hipótesis de que la estructura vertical, la composición florística, la cobertura y biomasa del pajonal están determinadas por factores geográficos, altitudinales, climáticos, edáficos y antrópicos, el estudio pretende demostrar que, a mayor cobertura y altura de la paja, mayor biomasa aérea; a altitudes intermedias, mayor biomasa aérea. Debido a estas condiciones específicas, los pajonales de la cuenca del Jubones tienen menor biomasa aérea y más cantidad de carbono que aquellos del macizo del Cajas.

CAPÍTULO I

MATERIALES Y MÉTODOS

1.1. Descripción del Área de Estudio

La selección de individuos y colecta de muestras se realizó en 3 sitios de muestreo: Soldados (S) y Angas (A) ubicadas, en la vertiente oriental y occidental del macizo del Cajas y San Gregorio; conformado por los páramos de Tinajillas (T) y Silván (Sil); ubicado en la cuenca del río Jubones, sur occidente de la provincia del Azuay (Fig. 1)

Distribución del Área de Estudio



Figura 1. Mapa de distribución de área de estudio mostrando los sitios que corresponden para cada microcuenca, siendo estos: Soldados (S) Angas (A); Tinajillas (T) Silván (Sil) - San Gregorio.

La cuenca del río Jubones está ubicada al sur occidente de la República del Ecuador. Según Ochoa et al. (2014) comprende un territorio de 4353 km² que integra 3 provincias: Azuay, El Oro y la provincia de Loja (Luna-Romero et al. 2018).

Se ubicaron un total de 40 parcelas y 160 sub-parcelas distribuidas: 14 en San Gregorio, y 26 en Macizo del Cajas.

En las microcuencas de Angas (14) y Soldados (12), las parcelas se ubicaron cada 100 metros de altitud, desde los 3400 hasta 4100 metros. En cambio, en Tinajillas (8) y Silván (6) las parcelas se ubicaron cada 50 metros, desde 3100 hasta 3450 m s.n.m. En el campo se tomaron los siguientes datos: coordenadas, altitud, exposición, pendiente, topografía, cobertura y densidad de la paja en parcelas de 20 m², además, se consideró la cobertura de la vegetación por estratos y el estado de conservación del pajonal, así como la presencia de heces, pisoteo o herbívora, determinando el tipo de comunidad vegetal, profundidad del suelo y su textura al tacto.

Para cada microcuenca se realizaron dos repeticiones con la finalidad de fortalecer el número de datos a utilizarse en el análisis (Tabla 1).

Tabla 1. Distribución de parcelas en el área de estudio por microcuencas y en relación a la altura, ubicados entre 3000 y 4100 m s.n.m.

Microcuenca	Macizo del Cajas		San Gregorio	
Localidades	Angas	Soldados	Tinajillas	Silván
Parcelas	14	12	8	6
Rango Altitud (m)	3400-4100	3500-4100	3300-3500	3100-3300
	x: 689372	x: 692812	x: 717165	x: 708419
Coordenadas de Referencia	Y: 9681551	Y: 9678217	Y: 9645337	Y: 9638186

1.2. Cobertura y Biomasa del pajonal

Se fijaron 40 parcelas de 20 m² en lugares con vegetación de pajonal, sin presencia de otros tipos de formaciones vegetales y, en lo posible, sin rocas expuestas. Las parcelas se seleccionaron cuidando de que el pajonal fuera uniforme en altura y composición florística, así como el suelo, pendiente y humedad. Se buscó cumplir las siguientes condiciones: cobertura uniforme, ausencia de discontinuidades en la vegetación dominante, fisonomía homogénea y características edáficas aparentemente iguales.

Para determinar la biomasa por cada parcela seleccionada, se marcaron 4 sub-parcelas - 160 en total - de las cuales se extrajo el material vegetativo de un área de (0.5x1) m. Las dimensiones de la parcela fueron: 5 x 4 metros (Fig 2).

El lado más largo se ubica según la curva de nivel (5 metros), mientras el lado corto (4 metros) sigue la línea de máxima pendiente. Esta forma de tomar las muestras se escogió por ser un método preciso, de fácil aplicación y repetición.

Dimensiones de Parcela

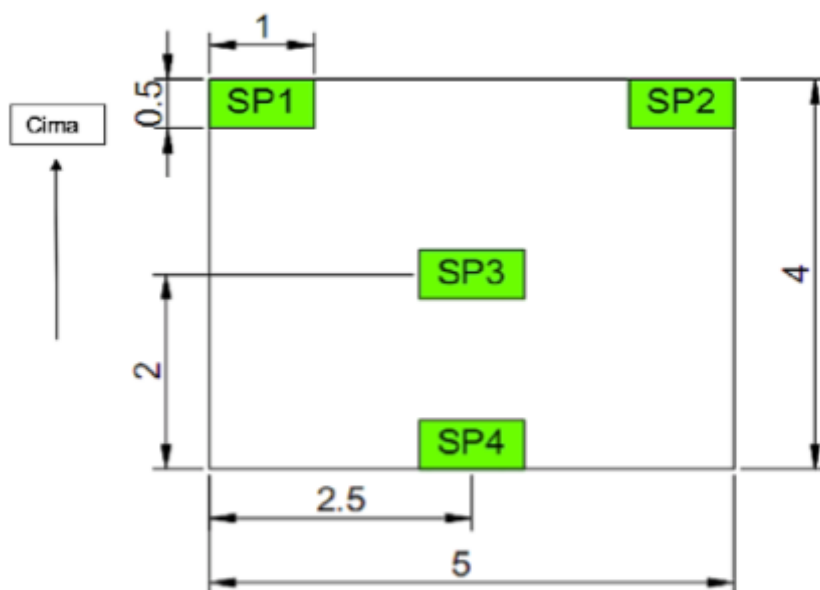


Figura 2. Dimensiones de la parcela de muestreo y disposición de las subparcelas.

La cobertura de copa se midió a partir de los diámetros E-O y N-S, y la altura desde el suelo de todas las macollas presentes en la parcela. Conjuntamente, se tomaron muestras de los especímenes de paja y otras especies fértiles para su determinación taxonómica. Las muestras se encuentran depositadas en el Herbario de la Universidad del Azuay (Herbario UDA), en la ciudad de Cuenca, Ecuador. La nomenclatura empleada se rige según el catálogo de plantas vasculares del Ecuador (Jorgensen y León – Yáñez, 1999). Se marcaron 4 sub-parcelas por cada parcela, en ellas se midió la circunferencia basal y la altura desde el suelo de las macollas contenidas. Para calcular la cobertura efectiva de paja, se cortó con una hoz aproximadamente a 10 cm del suelo, y se extrajo tanto la paja verde como seca sin dañar el ápice vegetativo que se encuentra en promedio a 10 cm de altura y sobre el suelo (Fig 4). Este sistema de muestreo permite no afectar los meristemas de la paja y garantiza su rápido crecimiento. Se incluyeron en el muestreo sólo las hojas contenidas en el área de (0,5 x 1) metros y en su proyección vertical. De esta manera se extrajo una muestra de biomasa correspondiente al 10% del total presente en la parcela.

En el laboratorio se procesaron las muestras de cada sub-parcela de 0,5 m² separando las hojas verdes de las secas en base al componente fotosintéticamente activo (Fig 4). Luego, se procedió a secar a 105 °C el material y a pesarlo. Todo el material vegetal se pesó con balanza de precisión de 0,01 g.



Figura 4. Extracción de material vegetal en estaciones de muestreo.

(B: Parcela Angas, A2.1)



Figura 5. Separación de hojas verdes y secas, en base al componente fotosintéticamente activo.

1.3. Análisis Estadístico

Previo al análisis estadístico, transformamos a UTM WGS84 las coordenadas, y se cuantificaron los datos cualitativos por cuenca hidrográfica. Ninguna parcela presentó impacto por quema visible.

Los datos medidos y calculados, fueron ingresados a una hoja de cálculo ordenados por variables y analizados de manera individual y global mediante el uso de tablas dinámicas. Para los valores promedios - sumas, conteos y correlaciones - se usó Excel 2019 desarrollado por Microsoft.

Se calcularon medidas de tendencia central y dispersión de las variables cuantitativas para analizar la regresión lineal simple, y el análisis de varianza (ANOVA) a un criterio de correlación. Luego se analizaron, en su conjunto, con el objetivo de hallar un modelo capaz de explicar las variaciones de biomasa en relación a las demás variables medidas.

Las variables analizadas de manera individual fueron: Biomasa y altura del pajonal, cobertura basal, y cobertura de copa de las macollas.

Para los análisis estadísticos se utilizó el programa R Project, versión 4.0.4 con el paquete Biodiversity.

1.3.1. Test de Shapiro -Wilk

Para determinar la normalidad, en el conjunto de nuestros datos, se aplicó el test Shapiro-Wilk. En términos simples, el test permite contrastar la normalidad de una muestra pequeña mediante el análisis de la media y la varianza muestral. De igual forma, plantea la hipótesis nula de que una muestra proviene de una distribución normal, y una hipótesis alternativa que sostiene que proviene de una distribución no normal.

Para el estudio se definió un nivel de significancia de 0.05 según la recomendación bibliográfica (Pedrosa et al., 2015).

1.3.2. Test de Levene

Para el análisis de la homogeneidad de varianza (homocedasticidad), se realizó el test de Levene. Este test inferencial se utiliza para evaluar la igualdad de las varianzas, y se caracteriza por comparar 2 o más grupos. Asimismo, sirve para elegir entre diferentes datos estadísticos de centralidad, importantes a la hora de contrastar la homogeneidad para determinar si los grupos se distribuyen de forma normal o no (O'Brien, 1992).

1.4. Cobertura basal y de copa

El Área Basal de la paja se calculó a partir de la circunferencia basal, que es la sumatoria de las áreas basales de todas las macollas contenidas en la parcela y en las sub-parcelas respectivamente. El “área basal” de cada macolla se calculó así:

$$AB = (circunferencia/2\pi)^2 \pi.$$

La cobertura de copa de cada macolla se calculó a partir de los diámetros N-S y E-O tomados a nivel de la máxima extensión de cada macolla, y sumando las áreas visibles de todas las macollas presentes en cada parcela, se obtuvo la cobertura de copa por cada parcela de 20 m². Se calculó el “área visible” con la fórmula:

$$AV = D1D2\pi/4.$$

Donde: AV = Área Visible; D1 = Diámetro Mayor; D2 = Diámetro Menor

1.5. Determinación del peso de la paja

En el laboratorio se pesaron las hojas colectadas en cada sub-parcela de 0,5 m², separando las hojas verdes (fotosintéticamente activas) de las secas para obtener datos de ambas fracciones. A partir de su peso en gramos, se obtuvo el valor de la biomasa.

La biomasa aérea para cada sub-parcela se calculó mediante la sumatoria del peso (o masa) de la paja de ambas fracciones (tanto verde, como seca), obteniendo así la biomasa de la paja en 2 m²

Para la biomasa total de la parcela, se sumó el valor de las 4 sub-parcelas. Posteriormente, este valor se multiplicó por 10 calculando así una estimación proporcional de la biomasa aérea de las macollas para los 20 m², superficie de cada estación de muestreo.

CAPÍTULO II

RESULTADOS

1.1. Área Basal, Área Visible y Altura de los pajonales.

El área basal de las macollas, en los 20 m² muestreados, va desde 1,5 hasta 12,3 m².

La cobertura de copa, o área visible de la paja, en los 20 m² varía de 13,2 a 53,0 m².

El número de macollas registrado en las parcelas varía de 28 a 622. Sólo una parte de la superficie del pajonal está realmente ocupada por la paja a nivel del suelo (Tabla 2).

Tabla 2. Área basal, área visible, y altura de la paja - microcuenca: Macizo de cajas y San Gregorio.

Transecto	No. Macollas	Promedio Altura-m	Sum Área basal 20m ²	Sum Área Visible 20m ²	Biomasa-g	Biomasa-In
A.1	475	0,425	4,752	30,737	1515	1,991
A.2	51	0,806	5,562	34,942	2199	2,041
A.3	477	0,393	1,836	27,695	2377	2,051
A.4	322	0,397	3,412	27,337	570	1,848
A.5	324	0,401	3,279	20,869	2767	2,070
A.6	309	0,423	7,958	20,017	2214	2,042
A.7	352	0,398	2,215	23,342	5433	2,152
A.8	262	0,482	4,573	27,940	549	1,842
A.9	291	0,501	4,143	26,337	481	1,821
A.10	250	0,456	5,468	30,007	1432	1,983
A.11	201	0,526	7,786	25,995	2778	2,071
A.12	454	0,335	2,060	21,551	476	1,819
A.13	301	0,499	6,259	40,272	1343	1,974
A.14	201	0,504	2,836	23,213	1410	1,981
S.1	41	0,763	8,980	25,852	2957	2,078
S.2	266	0,489	6,202	36,717	4200	2,121
S.3	124	0,609	5,024	32,478	3213	2,089
S.4	196	0,644	8,342	33,483	5604	2,155
S.5	87	0,750	12,250	28,785	1876	2,020
S.6	28	1,075	8,070	33,204	2010,4	2,029
S.7	46	0,836	5,007	33,724	1748	2,010
S.8b	159	0,522	5,192	38,347	3677	2,105
S.9	128	0,603	5,014	27,464	5865	2,161
S.10	139	0,763	7,683	53,009	5456	2,152
S.11	191	0,485	7,974	29,674	2422	2,053

S.12	183	0,765	6,774	73,933	2165	2,039
Sil.2	257	0,543	3,856	40,201	468	1,816
Sil.3	195	0,483	3,759	27,521	1440	1,984
Sil.4	266	0,545	5,161	37,605	792	1,898
Sil.5	108	0,580	1,777	30,384	1336	1,974
Sil.6	622	0,369	4,686	31,665	1450	1,985
Sil.7	162	0,605	3,181	45,569	900	1,917
T.1	565	0,356	1,645	17,410	1376	1,978
T.2	549	0,334	1,457	13,233	456	1,812
T.3	95	0,766	6,479	35,762	518	1,833
T.4	63	0,710	5,199	26,272	3524	2,100
T.5	427	0,500	6,123	36,729	2036	2,031
T.6	98	0,687	4,236	41,991	1469	1,987
T.7	389	0,481	2,188	34,287	2783	2,071
T.8	305	0,480	2,049	36,768	2067	2,033
Suma total	10242	0,473	201,803	1299,808	87352,4	2,432

Se identificó que las coberturas de copa con menor registro, corresponden a parcelas ubicadas en bajas altitudes, visible en las parcelas T.2. Mientras, parcelas ubicadas a mayor altitud (parcelas A.2, S.5 y S.10), frecuentemente presentan una mayor longitud en la altura promedio de las macollas, área basal y área visible. (Tabla 2).

Las reales medidas del área basal de las macollas demuestran que el suelo es ocupado solo parcialmente por la paja y que ésta tiene la forma de un cono invertido, con su área mayor en la parte distal

Aunque la cobertura basal tiene valores modestos, el área visible de la paja - en contraste - puede llegar a presentar valores superiores a la superficie de la parcela. Esto se debe a la forma cónica de las macollas, la cual permite que sus partes superiores se superponen.

Con respecto al área visible, el análisis registró valores menores en parcelas ubicadas en la microcuenca del Jubones - en la localidad de Tinajillas (parcelas T.1y T.2) -, este fenómeno puede tener causas antrópicas, como el mayor pastoreo registrado en estas zonas, o naturales. A nivel climático, la cuenca del Jubones es más seca que el macizo del Cajas, en este último la vertiente oriental es más húmeda y menos expuesta a vientos que la occidental. No se ha podido comprobar como la composición específica de la paja influye en su forma, cobertura, altura y biomasa, debido a la ausencia de flores, que dificulta su correcta identificación.

Para la altura, el análisis demuestra que las estimaciones de cada macolla pueden ser muy superiores a la longitud promedio de sus hojas, ya que existen hojas pequeñas al interior

que no se pueden apreciar a simple vista. La altura de los pajonales estudiados varía de 33 a 100 cm, con un promedio de 55 cm y un coeficiente de variación del 29,6%.

Esta variable está débilmente correlacionada tanto con el área basal ($r^2 = 0,42$), como con el área visible ($r^2 = 0,50$). Nuestro valor de alfa es 0.008 después de corrección de Bonferroni.

1.2. Biomasa y Análisis de su variación por altitud y por subcuenca.

El análisis estadístico de la biomasa de las macollas, con respecto a la microcuenca, determinó que existe una diferencia significativa entre microcuencas ($p = 0,0322$). Es decir que las parcelas ubicadas en la localidad de Soldados, en la vertiente oriental (Grupo B), presentó mayor biomasa aérea que las ubicadas en Angas y San Gregorio (Grupo A). Estas últimas, según el análisis, presentan diferencias poco significativas, aunque las parcelas ubicadas en Angas tengan mayor biomasa que las de San Gregorio (Fig 8).

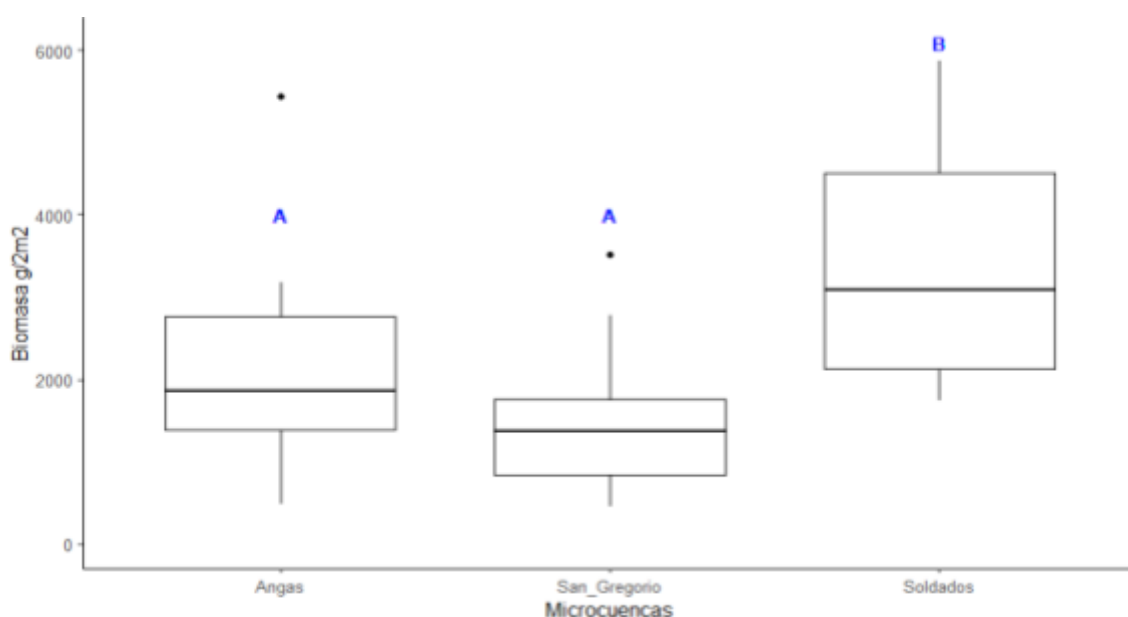


Figura 8. Gráfico de distribución de la biomasa aérea del pajonal con respecto a las microcuencas: Macizo de Cajas y San Gregorio

Para el análisis de la biomasa, en relación a la altura, no se encontraron variaciones significativas. Sin embargo, al comparar altitud y microcuencas se encontró un valor de $F = 10,98$ y $p = 0.0041$, lo que demuestra que existe una variación significativa entre ellas. Además, la microcuenca de la localidad de Tinajillas presenta una biomasa aérea ligeramente mayor, con respecto a la altitud, que la de Silván (Fig 9).

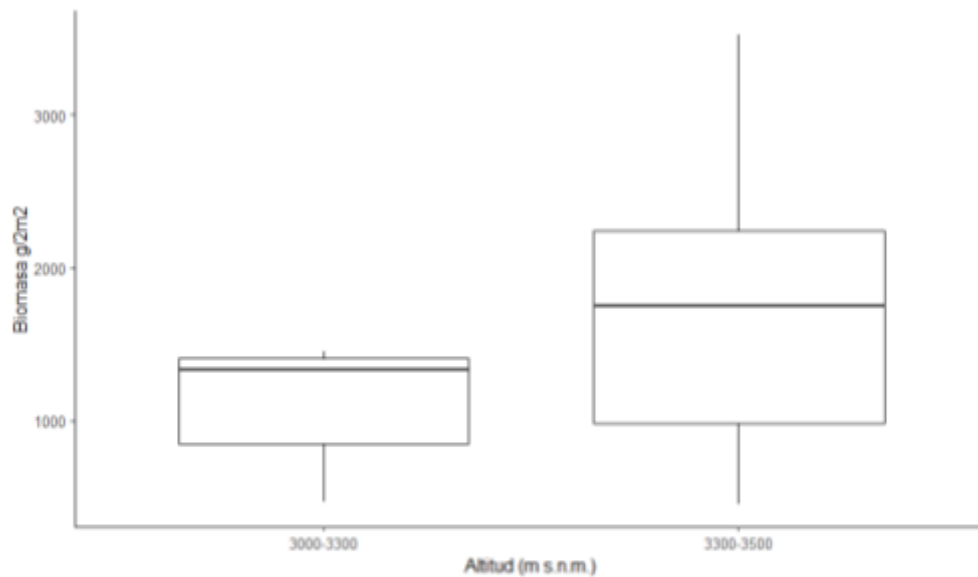


Figura 9. Gráfico de distribución de la biomasa Aérea del pajonal con respecto a la altitud. San Gregorio: Tinajillas y Silván

El mismo efecto se encontró en la microcuenca del Macizo del Cajas, demostrando una biomasa aérea mayor en la localidad de Soldados con respecto a Angas.

Esta diferencia es mucho más evidente en el primer rango de altitud - entre los 3500 - 3700 m s.n.m. -, y se reduce cuando la barrera altitudinal sobrepasa los 3700 - 3900 m s.n.m.; pero se mantiene con una ligera disminución en el rango de 3900 - 4100 m s.n.m. (Fig 10).

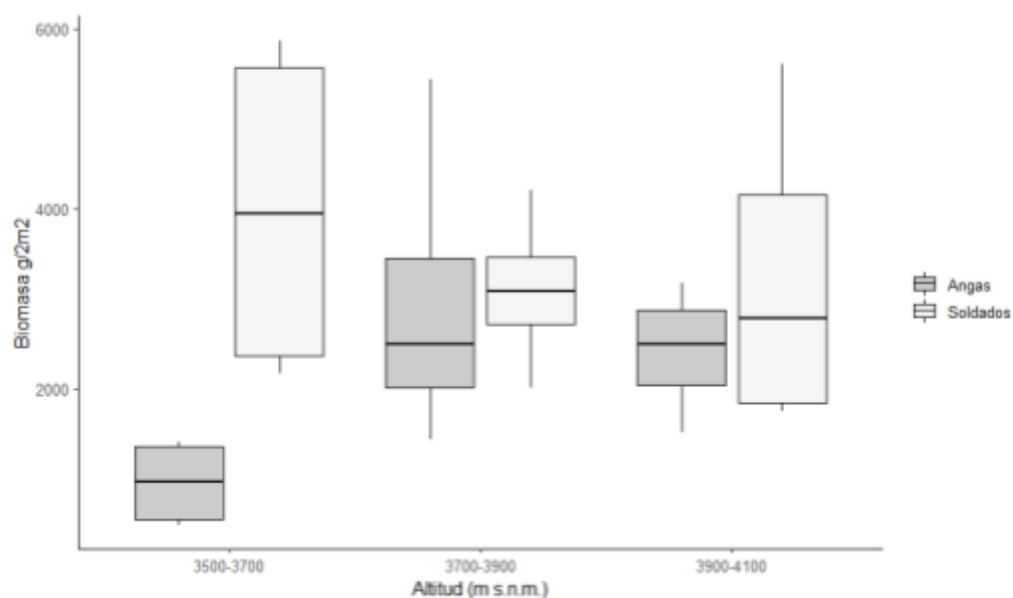


Figura 10. Gráfico de distribución de la biomasa Aérea del pajonal con respecto a la altitud - Macizo de Cajas: Angas y soldados

1.3. Relación entre la biomasa y las variables medidas (Área Basal, Área Visible y Altura). Ecuación.

Las características del pajonal, como su altura y densidad, determinan la biomasa del mismo. Sin embargo, las variables que tienen mayor correlación con la biomasa son: el área basal y la altura. (R^2 calculado, extrapolando a 20 m² la biomasa medida en 1 m²). Tabla 3.

Tabla 3. Relación entre la biomasa aérea total y las variables medidas.

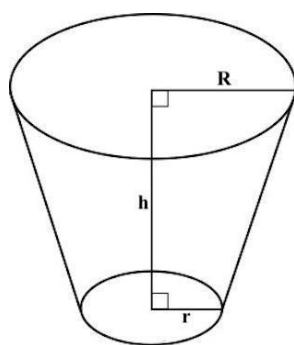
Relación	r	R ²
Biomasa - Área Visible	0,71	0,50
Biomasa - Área basal Total	0,65	0,42
Biomasa - Altura total de las Macollas	0,37	0,14
Biomasa - Elevación	0,41	0,17
Biomasa - Volumen Cónico	0,88	0,77
Biomasa - Volumen Cilíndrico	0,73	0,54

La estimación de la biomasa del pajonal, a partir de su densidad y altura, no es fácil por dos razones:

- En primer lugar, la macolla no es uniforme en su composición, ya que existen espacios vacíos entre cada hoja. Esto dificulta la estimación de su masa específica debido a que las hojas pueden estar más o menos separadas.
- En segundo lugar, la forma geométrica de la macolla es muy variable e irregular.

Con estas dificultades, se ha intentado aproximar las macollas a formas geométricas que permitan calcular su volumen y, a partir de eso, su masa específica. La forma geométrica más similar a la macolla es el tronco de cono invertido, en el cual la base inferior corresponde al área basal, y la base superior corresponde al área visible, mientras que su altura es la altura de la macolla. Se ha calculado la biomasa específica a partir de biomasa y volumen del 80% de las sub-parcelas. (En anexos tabla completa con cálculos).

Cálculo del volumen de cada macolla:



$$Volumen = ((h * \pi)/3) * (R^2 + r^2 + R + r)$$

Figura 11. Gráfico para el cálculo de obtención de volumen específico.

Volumen igual a: $Altura * \pi / 3 * (radio\ mayor\ cono^2 + radio\ menor^2 + radio\ menor * radio\ mayor\ cono)$ todo en cm, para que el volumen se expresa en cm³ y la biomasa en g.

Empleando el valor de la biomasa específica promedio (Fig 12), se ha estimado el valor de la biomasa en el restante 20% de sub-parcelas, y se ha comprobado su validez. A partir de estos cálculos - entonces - la ecuación alométrica propuesta para la estimación de la biomasa sería:

$$y = 179 + 3310 x$$

$$Donde: y = Biomasa (g); x = Volumen\ cúbico\ (m^3)$$

Por cada incremento de $1m^3$ por m^2 , incrementa 3310g de biomasa por m^2

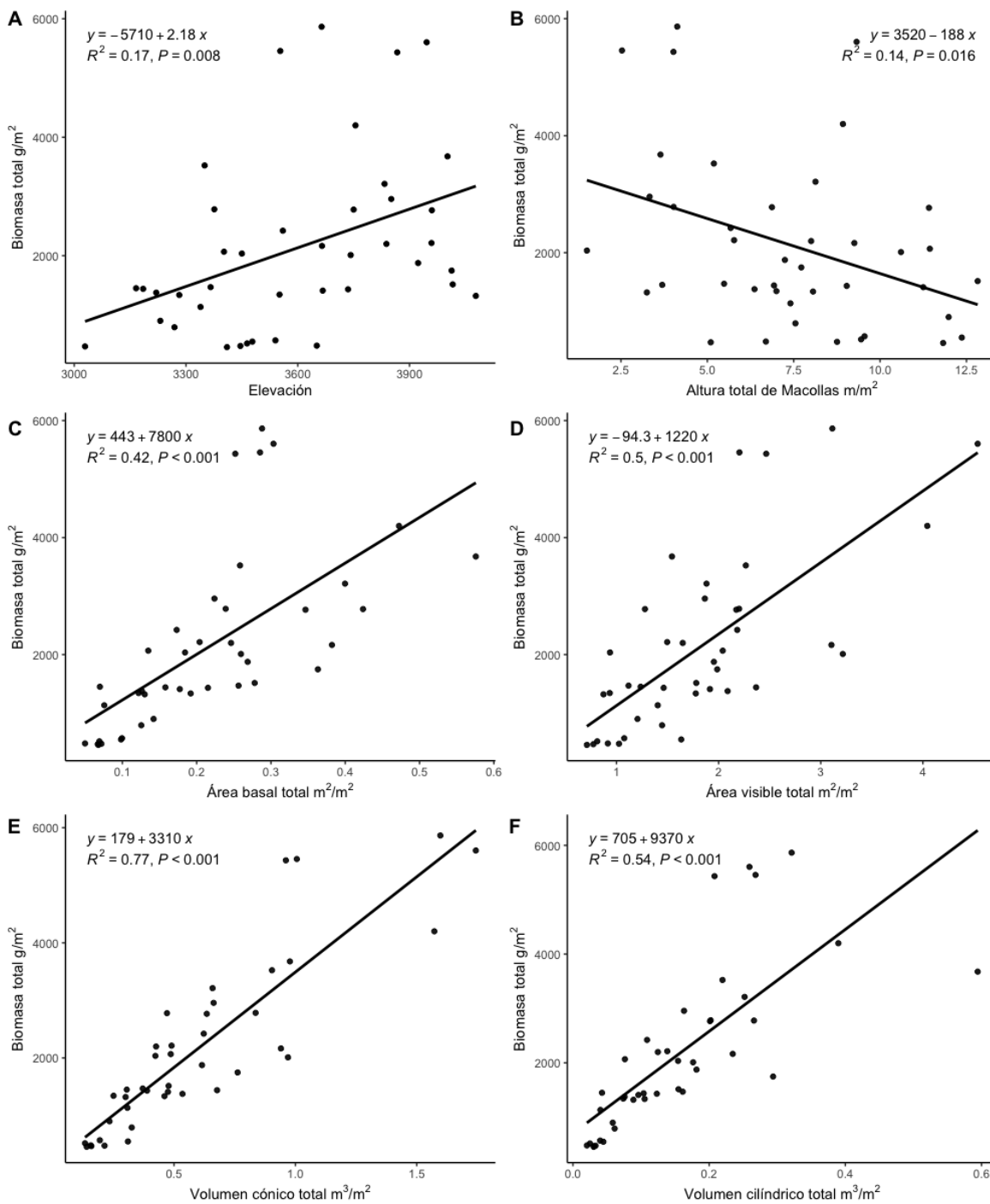


Figura 12. Gráfico de la biomasa Aérea del pajonal y su relación con la elevación, Altura total de las Macollas, Área basal total, Área visible total, Volumen cónico total, y Volumen cilíndrico total.

CAPÍTULO III

DISCUSIÓN

2.1. Área Basal, Cobertura (Área Visible) y Altura de los pajonales.

Aunque a simple vista el pajonal puede parecer una formación vegetal uniforme, nuestro estudio demuestra que su estructura tiene espacios irregulares entre hoja y hoja, y que su área en la base no cubre completamente el suelo. Esto se debe a su forma cónica que le confiere una cobertura mucho menor en la base que en su parte aérea, la cual con frecuencia puede llegar a superponerse con otras macollas. Esta particularidad es congruente con varios estudios realizados en el páramo que confirman la presencia de múltiples especies que se desarrollan en, y entre el pajonal, (Acosta, 1984; Izco et al. 2007; Minga & al. 2016).

Las macollas tienen una distribución irregular y forman grupos amontonados que, a simple vista, imposibilitan la diferenciación de individuos en ausencia de flores. La paja no está compuesta por una sola especie, su amplia distribución es documentada en la gran mayoría de los páramos andinos que demuestran que la composición florística de las macollas es variable, pero se impone la asociación de las especies *Calamagrostis intermedia* - *Festuca subulifolia*. A veces acompañan a estas especies los géneros *Agrostis*, *Poa* y *Stipa* (Cuatrecasas, 1934; Gayoso, 1996; Hofstede et al. 2014; Izco et al. 2007; Minga et al. 2016).

La quema es una de las actividades humanas más conocidas en el páramo, la cual, junto a la ganadería (que combina el consumo de vegetación y el pisoteo del suelo), producen pérdida y disminución de la longitud de las macollas, esta condición favorece el crecimiento de hierbas o brotes laterales - a expensas del pajonal - a ras del suelo (Ansaloni, 2018; Minga et al. 2016). La vegetación nativa de los páramos no está adaptada a la herbivoría o al pisoteo (Camacho, 2013; White 2013), es por esa razón que, las parcelas mejor conservadas, homogéneas y con macollas más altas y densas, se encuentran en las localidades con ausencia de pastoreo y quemas (Rangel, 2000; Hofstede et al., 2014).

2.2. Biomasa y Análisis de su variación por altitud y por subcuenca.

La biomasa aérea registrada, presenta variaciones que se deben a diferentes factores; sin embargo, tanto la biomasa del Cajas como la de San Gregorio están dentro del rango de biomasa aérea total reportada para los páramos de la Cordillera Oriental de Ecuador (Ramsay y Oxley, 2001; Hofstede et al. 2015). A diferencia de los estudios citados, medimos exclusivamente la biomasa de las pajas amacolladas con un corte de extracción vegetal de 8 cm desde el suelo (Ansaloni, 2018).

Las correlaciones demuestran que los pajonales más densos y altos tienen mayor biomasa, y se encuentran en las localidades de Soldados en la microcuenca del Macizo del Cajas, en la vertiente oriental de la cordillera occidental. Esta particularidad no responde

necesariamente a la relación entre la estructura del pajonal y la altitud, sino más bien obedece a una situación propia de la orientación de las microcuencas (White & Maldonado, 1991; Zuluaga & Hernández, 2020).

Las parcelas ubicadas al lado oriental de la cordillera entre el rango 3500 - 3700 m s.n.m., son más homogéneas, más densas y mucho mejor definidas que las ubicadas en el lado occidental, de esta manera, en la subcuenca de Soldados situada hacia la vertiente oriental del macizo del Cajas, presenta datos de biomasa significativamente mayor que en Angas dentro de los rangos de altura mencionados (Cuatrecasas, 1934; Ansaloni 2018; Hofstede et al. 2015).

Estas diferencias son aún mayores comparando los valores de biomasa de Tinajillas ($T.2 = 468 \text{ g}/20 \text{ m}^2$) versus Soldados ($S.6 = 5865 \text{ g}/20 \text{ m}^2$). Esto confirma la elevada biomasa presente en la vertiente oriental en comparación a los pastizales de la vertiente occidental. La desigualdad presente podría establecerse a raíz de las precipitaciones, la humedad en el ambiente, los períodos de luz UV y la influencia de los vientos durante el año. En tales circunstancias, la vertiente oriental registra condiciones de mayor humedad y precipitaciones mejor distribuidas durante el año, que favorecen el mejor crecimiento de las especies amacolladas (Tovar, 1960; Ramsay y Oxley 2001, Ansaloni 2018, Hofstede et al. 2015).

En el macizo del Cajas, el efecto vertiente desaparece en los pajonales de mayor altitud (en el rango altitudinal de los 3700 - 4100 vemos una mayor similitud entre las localidades), probablemente por la falta de diferencias climáticas en la parte más alta, entre oriente y occidente. El factor que determina la composición del pajonal y su biomasa, según Jorgensen (citado por Izco et al. 2007), es el clima extremo del páramo, caracterizados por amplias excursiones térmicas entre día y noche, fuertes vientos, y neblina durante buena parte del año. (Ramsay, 1992; Ramsay y Oxley 2001).

San Gregorio, ubicado en la zona occidental de la microcuenca del Jubones, presenta menor densidad de paja en sus parcelas, obedeciendo principalmente a dos factores ambientales que, de cierta forma, limitan el crecimiento: por un lado, la menor precipitación que caracteriza estos pajonales secos, y por otro lado la mayor intervención antropogénica que se registra, tanto en Tinajillas como en Silván, lugares sujetos a sobrepastoreo y quemas frecuentes. (Buytaert et al. 2002; Mena-Vásquez y Hofstede 2006).

Las muestras que presentan bajo - o nulo - impacto (ausencia de pastoreo), tienen mayor biomasa viva y total que aquellas con pastoreo reciente o pasado. El pisoteo y la carga animal (Buytaert et al. 2006); el impacto de los cultivos y actividades de forestación (Brown, 1997); y la quema, tienen un impacto directo sobre todo el ecosistema, ya que disminuyen el rendimiento hídrico y finalmente secan el suelo (Mena-Vásquez y Hofstede 2006; Cleef, 2008).

Se ha observado una relación positiva entre el tipo de suelo y la biomasa: en suelos arcillo-limosos más húmedos se observa una mayor densidad en las pajas, condición que debe ser proporcional a su disponibilidad hídrica, o a una más lenta descomposición de las

hojas secas que se presentan por las circunstancias reductoras de los suelos saturados y los estragos de la ceniza volcánica (Gayoso, 1996; Buytaert et al. 2002).

2.3. Relación entre la biomasa y las variables medidas (Área Basal, Área Visible y Longitud). Ecuación.

Mediante el análisis estadístico se estableció una buena relación entre la altura o longitud del pajonal y la biomasa, no así con el resto de variables como el área visible y el área basal. Sin embargo, el conjunto de estas variables fortalece la estructura de la ecuación (O'Brien, 1992. Hofstede et al., 2003; Beltrán et al. 2009).

Al analizar distintos modelos estadísticos para la estimación de biomasa en árboles y arbustos, encontramos ecuaciones alométricas más consolidadas, con variables de más o menos fácil medición (DAP y Altura), y que de alguna manera gozan de un protocolo in situ más práctico y estandarizado. Esta realidad supone debilidades en contraste con nuestra relación matemática que requiere la medición de 4 variables en campo (No. Macollas, Área Basal, Área Visible y Longitud promedio de la macolla), añadiendo la necesidad de amplios desplazamientos por la distribución inherente del pajonal y las condiciones climáticas frecuentemente desfavorables (White & Maldonado 1991; Valencia, 2000; Rojas, 2011).

A pesar de lo anterior, a falta de modelos matemáticos que permitan un cálculo estandarizado de los pajonales, nuestro modelo plantea una solución viable a la extracción del material vegetativo, y confiere una ventaja con respecto a la disminución de otros procesos para la cuantificación de la biomasa aérea como el secado y el pesado (Hofstede et al., 2003; Beltrán et al. 2009).

El análisis de datos demostró que el volumen cónico total (CV) es en realidad una constante, el cual presenta valores modestos $R^2 = 0.77$

Esta profunda relación entre la masa y el volumen, es la base de nuestra ecuación alométrica que, al multiplicarse por el volumen de la macolla, resulta en una relación real y efectiva para la estimación de la biomasa aérea del pajonal en los páramos sur alto-andinos en Ecuador (O'Brien, 1992; Valencia, 2000; Pedrosa et al. 2015).

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES

El páramo es un ecosistema estratégico rodeado de espectaculares paisajes y una notable diversidad natural, todos ellos caracterizados principalmente por su clima frío y húmedo. Sin embargo, a pesar de ser el principal regulador del sistema hídrico de la región y de su sinnúmero de beneficios que provee, ha sido poco estudiado en su totalidad, generando un sesgo entre la información proveniente de zonas de fácil acceso y las zonas alejadas, como es el caso de la cordillera sur oriental y occidental.

Conocer la cantidad de biomasa aérea del pajonal y generar información sobre su cobertura y biomasa en relación con algunos factores abióticos, biológicos, y antrópicos, es fundamental para contribuir al correcto funcionamiento del ecosistema. El cálculo preciso o aproximado de los stocks de carbono, depende en gran medida del uso de ecuaciones alométricas ajustadas a las mismas condiciones del sitio (O'Brien, 1992; Suárez & Medina, 2001; Pedrosa et al. 2015; Ansaloni, 2018).

En la actualidad el cambio climático es la mayor amenaza medioambiental a la que se enfrenta la humanidad (Gardner et al. 1985), ya que es la densidad de biomasa la que determina la cantidad de carbono emitido a la atmósfera (como CO₂, CO y CH₄ a través de la quema y la descomposición) cuando se alteran los ecosistemas (Malhi, et al. 2006). Este tipo de estudios permite cuantificar el carbono almacenado o liberado a partir de mediciones *in situ*, y con menor extracción vegetativa, para luego extrapolar los resultados a grandes áreas y, de esta manera, establecer parámetros científicos que permitan disminuir el impacto del cambio climático.

Por consiguiente, la información entregada en este estudio puede servir como base científica para la construcción de políticas públicas que busquen la gestión integral de los territorios: a nivel de cuencas hidrográficas y para los ecosistemas de páramo (Hofstede et al. 2003; Rojas, 2011). Igualmente, esta tesis proporciona un método confiable para la estimación de biomasa y la productividad de pajonales de altura. Conscientes de que la mayoría de las ecuaciones alométricas se han desarrollado de manera exclusiva para especies arbóreas y bosques tropicales, nuestro modelo sugiere un nuevo método para el cálculo y estimación de grandes cantidades de biomasa para ecosistemas donde las pajas amacolladas son dominantes (Mena-Vásquez & Hofstede 2006).

La aplicabilidad de estos resultados puede ser útil para pastizales alto-andinos, donde el muestreo destructivo puede ser complejo y riesgoso por la situación propia del ecosistema. La dureza de estas condiciones confiere una especial fragilidad a las comunidades vegetales de los páramos, por esa razón la principal ventaja de aplicar la ecuación resulta en que no es un método destructivo (Rangel, 2000).

Como consecuencia de las condiciones ambientales imperantes, las especies amacolladas del páramo representan gran parte de la flora de montaña, y su cantidad de biomasa almacenada supone una reserva de carbono de gran importancia para conservación (Jorgensen, 1992; Suárez & Medina, 2001).

RECOMENDACIONES

El impacto sobre la vegetación por quemas, y el constante desplazamiento de la barrera agrícola, producen cambios profundos en la composición del pajonal, especialmente en las zonas de alta montaña; esta perturbación pone en riesgo al ecosistema liberando grandes cantidades de carbono a la atmósfera, y aportando de forma negativa a los gases de efecto invernadero, causantes del cambio climático. Por estas razones es necesario intensificar estudios que evalúen la convivencia del ser humano y sus distintos usos de la tierra, los cuales puede llegar a afectar la composición florística y degradar inmensamente el suelo.

De acuerdo con la teoría fitosociológica, la composición florística es un buen indicador de las condiciones particulares de cada sitio. Por tanto, las especies características y dominantes nos pueden indicar las características, en este sentido es importante distinguir las especies y posiblemente realizar el análisis en función de la o las especies de paja dominantes. En ese contexto es importante considerar tanto la composición florística, como los tiempos de floración de los géneros *Calamagrostis*, *Stipa* y *Festuca*, para su correcta identificación en los próximos estudios, se sugieren los meses de marzo, junio y julio.

Ya que el muestreo es sistemático-preferencial, es decir: El muestreo abarca sitios representativos de la zona - generalmente conservados, homogéneos y sin presencia de perturbaciones recientes - por lo tanto, al utilizar la ecuación se debe cuidar restringirse a este tipo de pajonales.

El modelo matemático permite reducir el esfuerzo de muestreo. En campañas de alta demanda logística, es recomendable minimizar las posibles variaciones en la medición, ya que éstas podrían llegar a convertirse en un factor de riesgo debido a la extrapolación metodológica que se obtiene a través de criterios unidireccionales y cuantitativos.

Un incremento en la cantidad de unidades de muestreo permitirá una mayor aproximación de la ecuación con la realidad, por esa razón, es apropiado continuar con investigaciones que validen el modelo matemático y ajusten la correlación entre variables.

BIBLIOGRAFÍA

- Ansaloni R. (2018) *Factores ambientales, diversidad y estructura de la vegetación del P.N. Cajas (Azuay, Ecuador)*. Tesis doctoral Universidad Santiago de Compostela, España. <http://hdl.handle.net/10347/18108>
- AMS (2000) AMS Glossary of Meteorology, 2nd Ed. American Meteorological Society, Boston, MA, <http://amsglossary.allenpress.com/glossary/browse>
- Beltrán, K., Salgado, S., Cuesta, F., León-Yáñez, S., Romoleroux, K., Ortiz, E., Velástegui, A. (2009). Distribución espacial, sistemas ecológicos y caracterización florística de los páramos en el Ecuador. *EcoCiencia*, Proyecto Páramo Andino Y Herbario QCA.
- Brown S. (1997) Estimating biomass and biomass change of tropical forests: A primer, FAO for. Pp. 134, Food and Agric. O
- Buytaert, W., Deckers, J., Dercon, G., De Bievre, B., Poesen, J. & Govers, G. (2002). Impact of land use changes on the hydrological properties of volcanic ash soils in South Ecuador. *Soil Use and Management*, 18, 94-100
- Buytaert W, Céleri R, De Bièvre B, Cisneros F, Wyseure G, Deckers J, Hofstede R. (2006) Human impact on the hydrology of the Andean páramos. *Earth-Science Reviews* 79(1):53–72. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2006.06.002>
- Camacho M. (2013) Los páramos ecuatorianos: Caracterización y consideraciones para su conservación y aprovechamiento sostenible. *ANALES de La Universidad Central Del Ecuador*, 372, 78–92.
- Cuatrecasas J. (1934) Observaciones geobotánicas en Colombia. *Trab. Museo Nac. Ciencias Naturales, Ser. Botánica* 27: 1-144.
- Cleef A. (2008) Influencia humana en los páramos. In: J.P. Castañeda R. (Editor). *Panorama y Perspectivas sobre la Gestión Ambiental de los Ecosistemas de Páramo: Memorias. Procuraduría Delegada para Asunto Ambientales y Agrarios*, Bogotá. Pp. 26-33.
- Gardner, F.P.; Brent Pearce, R; Mitchel, R.L. (1985) Carbon fixation by crop canopies. In: *Physiology of Crop Plants*. Iowa State University Press. Pp. 31-57.
- Gayoso J. 1996. Costos ambientales en plantaciones de *Pinus radiata*. *Bosque* 17: 15-26.
- Hofstede, R., Segarra, P., Mena-Vásquez, P. (2003) Los Páramos del Mundo. *Proyecto Atlas de Los Páramos*, 91–142.

- Hofstede, R, Coppus R., Mena P., Segarra P & Sevink J. (2003). El estado de conservación de los páramos de pajonal en el Ecuador. *Ecotropicos* 15. Hofstede, R., Calles, J., López, V., Polanco, R., Fidel, T., Ulloa, J., Vásquez, A., Cerra, M. (2014) *Los páramos andinos ¿Qué Sabemos? Estado de conocimiento sobre el impacto del cambio climático en el ecosistema páramo*. UICN. www.uicn.org/sur
- Izco, Jesús & Pulgar, Inigo & Aguirre, Zhofre & Santin, Fernando. (2007) Estudio florístico de los páramos de pajonal meridionales de Ecuador. *Revista peruana de biología*, ISSN 1727-9933, Vol. 14, Nº. 2, 2007, pags. 236-247. 14. 10.15381/rpb.v14i2.1783
- Jorgensen J. (1992) Vegetation of the high Andes of Ecuador. PhD. Thesis. Institute of Biological Sciences. Aarhus University.
- Luna-Romero, Angel Eduardo, Ramírez Morales, Iván, Sánchez Mendieta, Carlos, Conde Solano, José, Agurto Rodriguez, Luisa y Villaseñor Ortiz, Diego. (2018). Distribución espacio-temporal de la precipitación en la cuenca del río Jubones, Ecuador: 1975-2013. *Scientia Agropecuaria*, 9(1), 63-70. <https://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2018.01.07>
- Luteyn, J. (1992) Paramus: why study them? In: *Paramus: An Andean Ecosystem under Human Influence* (eds Balslev & Luteyn) pp. 1–14. Academic Press.
- Luteyn, J. (1999). *Paramus: A Checklist of Plant Diversity, Geographical Distribution, and Botanical Literature*. The New York Botanic Garden.
- Malhi, Y., et al. (2006), The regional variation of aboveground live biomass in old-growth Amazonian forests, *Global Change Biol.*, 12, 1107 – 1138, doi:10.1111/j.1365-2486.2006.01120. x
- Mena-Vásconez, P., & Hofstede, R. (2006). Los páramos ecuatorianos. *Botánica Económica de Los Andes Centrales*, 91–106.
- Minga, D., Ansaloni, R., Verdugo, A., & Ulloa Ulloa, C. (2016). Flora del Páramo del Cajas, Ecuador. In *Flora del páramo del Cajas* (Vol. 1). Don Bosco-Centro Gráfico Salesiano.
- Ochoa, A.E.; Pineda, L.E.; Willems, P.; Crespo, P. (2014). Evaluation of TRMM 3B42 (TMPA) precipitation estimates and WRF retrospective precipitation simulation over the Pacific-Andean basin into Ecuador and Peru. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions* 11: 411–449.
- O'Brien, P., 1992. Robust procedures for testing equality of covariance matrices. *Biometrics* 48, 819-827.

- Pedrosa, I., Juarros-Basterretxea, J., Robles-Fernández, A., Basteiro, J., García-Cueto, E. (2015). Pruebas de bondad de ajuste en distribuciones simétricas, ¿qué estadístico utilizar? *Universitas Psychologica*, 14(1), 245-254. <http://dx.doi.org/10.11144/Javeriana.upsy13-5.pbad>
- Ramsay P. (2014). Giant rosette plant morphology as an indicator of recent fire history in Andean páramo grasslands. *Ecological Indicators* 45:37-44. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.03.003>
- Ramsay P. & Oxley E. R. B. (2001) Mountain Research and Development, Vol. 21, No. 2, pp. 161-167. *International Mountain Society* Stable URL: <http://www.jstor.org/stable/3674157>
- Rangel Ch. (2000) Colombia. Diversidad Biótica III. La región de vida paramuna. Universidad Nacional de Colombia.
- Rojas J. (2011) El pago por servicios ambientales como alternativa para el uso sostenible de los servicios ecosistémicos de los páramos. *Revista Del Doctorado Interinstitucional En Ciencias Ambientales*.
- Sánchez, C. (08 de febrero de 2019). Normas APA – 7ma (séptima) edición. Normas APA (7ma edición). <https://normas-apa.org/>
- Sloan S. (2008) Reforestation amidst deforestation: Simultaneity and succession, *Glob. Environ. Change*, 18, 425 – 441, doi: 10.1016/j.gloenvcha.2008.04.009
- Sierra, R. 1999. Propuesta preliminar de un sistema de clasificación de vegetación para el Ecuador continental. Proyecto INEFAN/GEF-BIRF y Ecociencia.
- Smith A. (1987) Tropical Alpine Plant Ecology. *Annual Review of Ecology and Systematics*.18(1):137–158. <https://doi.org/10.1146/annurev.es.18.110187.001033>.
- Suárez, E. & G. Medina. 2001. Vegetation structure and soil properties in Ecuadorian páramo grasslands with different histories of burning and grazing. *Arctic, Antarctic and Alpine Research* 33.
- Tovar, O. (1960). Revisión de las especies peruanas del género *Calamagrostis*. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Valencia, R. (2000). Libro rojo de las plantas endémicas del Ecuador. Herbario QCA, Pontificia Universidad Católica del Ecuador.

White S. (2013) Grass paramo as hunter-gatherer landscape. *Holocene* 23(6): 898-915.
<https://doi.org/10.1177/0959683612471987>

White S. & Maldonado F. (1991) The use and conservation of natural resources in the Andes of southern Ecuador. *Mt.Res.Dev.* 11, 37–55.

World Climb (2021). <http://www.worldclim.org>. [en línea] (Consulta: 22 enero 2021).

Zuluaga Flórez, J. D., & Hernández Contreras, Á. P. (2020). Análisis de la explotación minera en el páramo de Santurbán antes y después del 2014. Retrieved from <https://ciencia.lasalle.edu.co/economia/1625>

GLOSARIO

Almohadilla: Conjunto de plantas que se agregan en forma apretada y forman montículos parecidos a un cojín compacto (Aguilar et al. 2009).

Antropogénico: Resultante de la actividad de los seres humanos o producto de esta (AMS, 2000).

Biomasa: Masa total de organismos vivos presentes en un área o volumen dados. El material vegetal muerto se puede incluir como biomasa muerta. Quema de biomasa es la quema de vegetación viva y muerta (AMS, 2000).

Carbón vegetal: Material resultante de la carbonización de biomasa, que suele conservar parte de la textura microscópica característica del tejido vegetal. Químicamente, está constituido principalmente por carbono con una estructura gráfica desordenada, y contiene cantidades menores de oxígeno e hidrógeno (AMS, 2000).

Cambio climático abrupto: Cambio a gran escala en el sistema climático que tiene lugar en algunos decenios o en un lapso menor, persiste (o se prevé que persista) durante al menos algunos decenios y provoca importantes perturbaciones en los sistemas humanos y naturales (AMS, 2000).

Esclerófilo: Planta que tiene hojas rígidas o duras, provistas de cutículas gruesas (José et al. 2009).

Humedad del suelo: Agua almacenada en el suelo en forma líquida o helada.

Macolla: Conjunto de vástagos nacidos de la base de un mismo pie. Frecuente en gramíneas Fam. Poaceae. (Minga et al., 2016).

Tendencia: En el presente informe, el término tendencia describe un cambio en el valor de una variable, generalmente uniforme, a lo largo del tiempo (AMS, 2000).

Variabilidad climática: Denota las variaciones del estado medio y otras características estadísticas (desviación típica, sucesos extremos, etc.) del clima en todas las escalas espaciales y temporales más amplias que las de los fenómenos meteorológicos. La variabilidad puede deberse a procesos internos naturales del sistema climático (variabilidad interna) o a variaciones del forzamiento externo natural o antropógeno (variabilidad externa). Véase también Cambio climático (AMS, 2000).

ANEXOS

Tabla 4. Valores analizados por microcuencas: Macizo de cajas y San Gregorio.

Microcuenca	Promedio Altura	No. Macollas	Área Basal	Área Visible	Biomasa - g
San Gregorio	0,383074205	283	1,3584943	17,488514	468
San Gregorio	0,579907407	108	1,77697	30,384373	1450
San Gregorio	0,54311284	257	3,8555771	40,201004	1440
San Gregorio	0,605493827	162	3,1808662	45,569206	1376
San Gregorio	0,369437299	622	4,6861469	31,665025	900
San Gregorio	0,482666667	195	3,7587805	27,521012	792
San Gregorio	0,545075188	266	5,1614703	37,604547	1336
San Gregorio	0,479967213	305	2,048699	36,768447	1134
San Gregorio	0,766105263	95	6,4785551	35,761855	3524
San Gregorio	0,499531616	427	6,1230548	36,728812	1469
San Gregorio	0,686632653	98	4,2355326	41,991165	2783
San Gregorio	0,481208226	389	2,1882941	34,286647	2067
San Gregorio	0,356336283	565	1,6445186	17,409638	456
San Gregorio	0,70984127	63	5,198649	26,272208	2036
San Gregorio	0,333624772	549	1,4566085	13,232517	518
Angas	0,425305263	475	4,7519559	30,737466	1515
Angas	0,4562	250	5,4684255	30,006743	2199
Angas	0,525990099	201	7,7858206	25,995396	3169,33
Angas	0,335	454	2,0604861	21,550506	570
Angas	0,499269103	301	6,2588478	40,271623	2767
Angas	0,503830846	201	2,8362798	23,213191	2214
Angas	0,806078431	51	5,5617058	34,942033	5433
Angas	0,396770186	322	3,4121145	27,337387	481
Angas	0,400864198	324	3,2785359	20,869169	1432
Angas	0,422750809	309	7,957944	20,017183	2778
Angas	0,481908397	262	4,5729595	27,939848	1343
Angas	0,500824742	291	4,1426809	26,336615	1410
Soldados	0,763170732	41	8,9795749	25,851642	2957

Soldados	0,762805755	139	7,6825003	53,008708	4200
Soldados	0,48486911	191	7,974041	29,673624	3213
Soldados	0,765081967	183	6,7742551	73,933317	5604
Soldados	0,48906015	266	6,2024129	36,716937	1876
Soldados	0,609193548	124	5,0242326	32,478399	2010,4
Soldados	0,643571429	196	8,3419396	33,483339	1748
Soldados	0,749655172	87	12,24957	28,784914	3677
Soldados	1,075357143	28	8,0701471	33,203617	5865
Soldados	0,835869565	46	5,0073735	33,724371	5456
Soldados	0,522075472	159	5,192061	38,34683	2422
Soldados	0,602578125	128	5,0138108	27,463526	2165

Tabla 5. Valores subparcelas en 1 m2

Microcuenca	Parcela	No. macollas	Total Área basal m2	Total Área visible m2	Total Cono volume m3	Total Cilindro volume m3	Total Altura	Peso Seco - Sum	Peso Verde - Sum	Total Parcela Biomasa
Angas	A1	30	0.28	1.78	0.48	0.16	12.82	1126	389	1515
Angas	A10	17	0.25	1.65	0.43	0.12	8.01	1796	403	2199
Angas	A11	6	0.13	0.87	0.3	0.09	3.25	1152	169	1321
Angas	A12	30	0.1	1.08	0.19	0.04	9.55	388	182	570
Angas	A13	23	0.35	2.17	0.64	0.2	11.41	2330	437	2767
Angas	A14	10	0.2	1.5	0.49	0.14	5.78	1824	390	2214
Angas	A2	5	0.25	2.47	0.96	0.21	4.02	4239	1194	5433
Angas	A3	33	0.1	1.63	0.31	0.04	12.37	426	123	549
Angas	A4	18	0.05	0.91	0.16	0.02	6.7	403	78	481
Angas	A5	20	0.22	1.46	0.39	0.12	9.04	1244	188	1432
Angas	A6	14	0.42	1.28	0.47	0.27	6.87	2527	251	2778
Angas	A7	22	0.07	1.02	0.21	0.03	8.76	418	58	476
Angas	A8	16	0.12	0.93	0.25	0.07	7	936	407	1343
Angas	A9	24	0.18	1.91	0.48	0.1	11.25	1165	245	1410
San Gregorio	Sil1	12	0.07	0.77	0.16	0.03	5.1	389	79	468
San Gregorio	Sil2	12	0.16	2.37	0.68	0.1	6.93	1302	138	1440
San Gregorio	Sil3	17	0.13	1.45	0.33	0.06	7.55	528	264	792
San Gregorio	Sil4	16	0.19	1.78	0.46	0.11	8.06	1096	240	1336
San Gregorio	Sil5	8	0.07	1.24	0.31	0.04	3.69	1162	288	1450
San Gregorio	Sil6	36	0.14	1.21	0.23	0.06	11.98	782	118	900
San Gregorio	Sil7	12	0.13	2.09	0.53	0.08	6.36	1118	258	1376
San Gregorio	T1	31	0.07	0.71	0.14	0.03	11.82	352	104	456
San Gregorio	T2	30	0.07	0.81	0.13	0.03	9.45	416	102	518
San Gregorio	T3	7	0.26	2.27	0.9	0.22	5.19	2832	692	3524
San Gregorio	T4	2	0.18	0.94	0.42	0.15	1.51	1546	490	2036
San Gregorio	T5	10	0.26	1.12	0.37	0.16	5.48	1123	346	1469
San Gregorio	T6	6	0.24	2.2	0.84	0.2	4.03	2310	473	2783
San Gregorio	T7	24	0.13	2.04	0.49	0.08	11.44	1770	297	2067
San Gregorio	T8	16	0.08	1.4	0.31	0.04	7.4	920	214	1134
Soldados	S1	6	0.22	1.86	0.66	0.16	3.33	2290	667	2957
Soldados	S10	12	0.47	4.04	1.57	0.39	8.93	3343	857	4200
Soldados	S11	16	0.4	1.88	0.66	0.25	8.13	2529	684	3213

Soldados	S12	12	0.3	4.54	1.74	0.26	9.32	4696	908	5604
Soldados	S2	14	0.27	1.95	0.62	0.18	7.24	1488	388	1876
Soldados	S3	18	0.26	3.22	0.97	0.18	10.61	1524	486	2010
Soldados	S4	14	0.36	1.99	0.76	0.29	7.72	1422	326	1748
Soldados	S5	5	0.58	1.54	0.98	0.59	3.64	2954	723	3677
Soldados	S6	4	0.29	3.11	1.6	0.32	4.13	4555	1310	5865
Soldados	S7	3	0.29	2.2	1.01	0.27	2.53	4417	1039	5456
Soldados	S8b	10	0.17	2.18	0.62	0.11	5.68	1804	618	2422
Soldados	S9	16	0.38	3.1	0.94	0.23	9.26	1772	393	2165

Tabla 6. Modelos

Modelo Lineal	Coefficientes	estimate	std.error	t value	p.value
Altura de Macolla	(Intercepto)	3523.84	591.16	5.96	<0.001
	Total Altura	-188.06	74.29	-2.53	0.02
Elevación del parcela	(Intercepto)	-5705.23	2792.15	-2.04	0.05
	Elevación	2.18	0.77	2.82	0.01
Área Basal	(Intercepto)	443.35	365.26	1.21	0.23
	Área basal total m ²	7804.02	1471.21	5.3	<0.001
Área visible	(Intercepto)	-94.3	396.16	-0.24	0.81
	Área visible total m ²	1222.58	197.32	6.2	<0.001
Volumen Cónico	(Intercepto)	178.95	204.74	0.87	0.39
	Volumen cónico total m ³	3312.4	289.94	11.42	<0.001
Volumen Cilíndrico	(Intercepto)	705.23	262.82	2.68	0.01
	Volumen cilíndrico total m ³	9370.62	1375.71	6.81	<0.001

Tabla 7. Comparación de modelos utilizando criterio de Akaike

Modelo	Grados de libertad	AIC
conic_model	3	660
cili_model	3	688
basal_model	3	692
altura_model	3	698
visible_model	3	713
elev_model	3	714