

Universidad de Valladolid.
Escuela Técnica superior de Ingenierías Agrarias.



Alumna: **Lucía Risio Allione**
Directores: **Felipe Bravo.**
Stella Bogino.



Universidad de Valladolid

Campus de Palencia

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍAS AGRARIAS**

**“Cuantificación de Biomasa y carbono en bosques nativos de
Prosopis caldenia (Burkart) en la Pampa semiárida,
Argentina.”**

Alumna: Lucía Risio Allione.

Directores: Felipe Bravo.

Stella Bogino.

Septiembre de 2012.

Índice.

1. Resumen.....	1
1. Abstract.....	3
3. Introducción	4
4. Materiales y métodos.....	12
4.1 Sitio de estudio	12
4.2. Metodología de muestreo	13
5. Resultados	17
6. Discusión.....	22
7. Conclusiones.....	26
8. Agradecimientos	28
9. Bibliografía.....	29
Anexo I.....	33
Figuras y fotografías.	33
Anexo II.....	40

1. Resumen.

Los bosques del suroeste de la pampa Argentina están dominados por caldén (*Prosopis caldenia* Burk.). En la actualidad solo resta el 18 % de su superficie original, que pertenece casi en su totalidad, a propietarios privados. En estos bosques se desarrolla principalmente, ganadería bajo monte, la que no puede competir de manera eficiente con la alta rentabilidad, a corto plazo, que ofrece la agricultura, la principal causa de su reemplazo. La deforestación es la segunda causa que contribuye a la liberación de gases de efecto invernadero mientras que los bosques son los sistemas terrestres capaces de almacenar la mayor cantidad de carbono del planeta. Existen iniciativas como los proyectos REDD (*Reducing Emissions from Deforestation and forest Degradation in Developing countries*) en los que por primera vez, los propietarios de bosques podrían obtener subsidios por preservar a los bosques, ya que contemplan en sus objetivos a la conservación, el manejo sustentable y al desmonte evitado. Estos se proyectan como una alternativa de valor para proteger a los recursos naturales reconociéndoles a los bosques su rol de oferentes de servicios ambientales. Para alcanzar esta recompensa económica es necesario poder cuantificar la cantidad de carbono almacenado en el ecosistema. No existen estudios previos sobre estimación de biomasa en *P. caldenia*, ni sobre biomasa subterránea de alguna otra especie de *Prosopis*. En este trabajo se desarrolló un modelo de estimación de biomasa para caldén a partir de 38 árboles apeados y seccionados. Se separaron las siguientes fracciones: hojas, raíces, fuste, ramas de menos de 2, entre 2 y 7 y de más de 7 cm. de diámetro. Se ajustó un sistema de ecuaciones utilizando el método de los mínimos cuadrados generalizados conjuntos para asegurar la propiedad de aditividad entre las fracciones. Las variables explicativas independientes utilizadas fueron: la sección normal y la altura. Mediante el uso de estos modelos se puede estimar la biomasa y el carbono acumulado en los bosques de caldén a partir de

los datos del Primer Inventario Nacional de Bosques Nativos de Argentina.

Palabras clave: Caldén, biomasa aérea, biomasa radical, secuestro de carbono, aditividad.

1. Abstract.

The south-west woodlands of the Argentina pampas are dominated by caldén (*Prosopis caldenia* Burk.). Currently, only remains the 18 % of its original area, which belongs almost entirely to private owners. The main activity developed in these forest is cattle breeding which can not compete with the high returns in the short term of agriculture, the main cause of its replacement. Deforestation is the second cause contributing to the release of greenhouse gases while forests are the terrestrial ecosystems capable of storing more carbon on the planet. There are initiatives like REDD projects (Reducing Emissions from Deforestation and forest Degradation in Developing countries) or CDM (Clean Development Mechanism), in which for the first time, forest owners could get subsidies to preserve forests since the conservation, sustainable management and avoided deforestation, are contemplated in his objectives. These are projected as a valuable alternative to protect natural resources by granting a role of forest as a environmental services providers. To achieve this financial reward is necessary to quantify the amount of carbon stored in the ecosystem. There are no previous studies on biomass estimation in *P. caldenia*, or on ground biomass of any other *Prosopis* species. In this work we developed a model for estimating caldén biomass based on 38 felled and sectioned trees.

The following fractions were separated: leaf, root, stem, branches with a diameter less than 2 cm, between 2 and 7cm and more than 7 cm . A system of equations were adjusted using the method of generalized least squares to ensure the additivity property between fractions. The independent explanatory variables used were: basal area and height. By using these models is possible estimate the biomass and carbon stored in caldén woodlands using data from the First National Inventory of Native Forests of Argentina.

Key words: Caldén, aboveground biomass, underground biomass, carbon sequestration, additivity.

3. Introducción

Históricamente, los bosques han sido una importante plataforma para el desarrollo humano, debido a que los árboles han sido la principal fuente de combustible y material de construcción de casi todas las sociedades durante poco más de cinco mil años (Perlin, 1999).

El desarrollo de Europa occidental, consumió gran parte de sus recursos forestales, no sólo por el alto consumo de madera sino también porque los bosques habían cedido parte de su superficie en favor de otros usos como la incorporación de tierras a la agricultura, la ganadería, el desarrollo urbano, etc. Esta situación desembocó en una importante “crisis energética” a mediados del año 1700 y en lo que hoy llamamos “Revolución Industrial”, que cambió el paradigma productivo, social y económico conocido hasta entonces, modificando definitivamente el curso de la civilización occidental. Si sólo consideramos el período transcurrido desde entonces hasta hoy, la concentración atmosférica de Dióxido de Carbono (CO₂), ha aumentado aproximadamente un 30 % debido principalmente a la actividad antrópica (FAO, 1998).

En el resto del mundo la historia se repite. En América, la industria minera desarrollada en los primeros tiempos de la conquista y la colonia europea consumió una gran cantidad de recursos forestales destinados a la combustión en los hornos de fundición, los bosques también cedieron parte de su superficie en favor de la agricultura y el desarrollo urbano de la creciente población, pero la gran expansión de la frontera agrícola no se produjo hasta principios del siglo pasado (Giglio, 2001).

La deforestación es la principal fuente global de emisión de carbono a la atmósfera. El aumento de la concentración atmosférica de CO₂, junto con otros gases (CH₄, N₂O, CFC, etc) han producido un cambio en el clima global (FAO, 1998).

A pesar de su bajo potencial de efecto invernadero no cabe duda que el CO₂, es el único de estos gases fácilmente secuestrable y almacenable desde la tierra. De acuerdo con estimaciones recientes sobre la situación global del

carbono, un 44% del mismo permanece en la atmósfera mientras que el 56 % restante está distribuido en dos sumideros: los océanos y los ecosistemas terrestres (Bravo et al., 2008).

Hoy, los bosques siguen cumpliendo una función clave en el crecimiento socioeconómico de los países en desarrollo, por los productos que se obtienen de ellos y por la expansión de tierras destinadas a agricultura y ganadería en detrimento de su superficie. Los cambios en el uso de la tierra han conducido a la deforestación de grandes superficies, lo que ha provocado, sólo en el período 1850-1980, un tercio de las emisiones antropogénicas de CO₂ (Pardos, 2010).

La Región de América Latina y el Caribe por ejemplo, produce solo el 4,3% de las emisiones globales totales de CO₂ por procesos industriales pero aporta el 48,3% de las emisiones causadas por conversión de tierras forestales a otros usos, como por ejemplo, agricultura, ganadería, desarrollo urbano, etc. (FAO, 1998). En términos generales, poco más del 70% de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) de la región de América Latina y el Caribe provienen de cuatro países: Brasil, México, Venezuela y Argentina (El cambio climático en América Latina y el caribe, 2006).

De acuerdo con los resultados del inventario de gases de efecto invernadero de la República Argentina del año 2000 (Fundacion Bariloche, 2005), puede inferirse que la expansión progresiva de la frontera agropecuaria en Argentina ha desencadenado un proceso creciente de emisión de GEI, atribuible en primer lugar a la deforestación y quema de biomasa, para convertir bosques en tierras de cultivo y pastoreo y en un segundo lugar a la creciente intensificación de los procesos productivos que favorecen la emisión de Metano (CH₄) y Oxido Nitroso (N₂O) debido a un aumento en la carga animal y al uso creciente de fertilizantes nitrogenados.

Sin duda, la expansión territorial de los cultivos de secano en Argentina ocurrió a expensas de las tierras de bosques y de pastizales naturales/pasturas (Viglizzo et al., 2010). La conversión de tierras naturales a agricultura, especialmente a cultivos de cosecha, además del CO₂ emitido durante el

desmonte y la quema de biomasa, lleva a una rápida disminución del C edáfico (Lal et al., 2002), con pérdidas de materia orgánica de entre 10 y 55% en períodos de entre dos y cinco años (Burke et al., 1989; Brown et al., 1990).

La Argentina puede dividirse en diecisiete eco-regiones: Altos Andes, Puna, Monte de sierras y bolsones, Pampa, Espinal, Campos y Malezales, Chaco Seco, Chaco Húmedo, Selva Paranaense, Esteros del Iberá, Delta e Islas del Paraná, Monte de llanuras y Mesetas, Estepa Patagónica, Bosques Patagónico, Selva de las Yungas, Islas del Atlántico Sur y antártica (Ver figura 1).



Figura 1. Distribución de las Eco-Regiones de la República Argentina.

(Fuente: Secretaría de medio ambiente y desarrollo sustentable de la Nación Argentina)

La cantidad de C almacenado en biomasa y en la fracción orgánica de suelo varía de una eco-región a otra. Viglizzo et al. (2010), analizaron el avance de la frontera agrícola y su impacto ecológico-ambiental en la Argentina, en tres

períodos 1956-1960, 1986-1990 y 2001-2005. La región del Espinal junto con la Pampeana, Esteros del Iberá y el Delta paranaense fueron las únicas que para los tres períodos analizados presentaron un balance de GEI positivo, es decir, que actuaron como fuente y no como sumideros de carbono. Debido a que no existe información al respecto, los datos de biomasa aérea y subterránea para el Espinal se estimaron a partir de los inventarios del IPCC (2006) para biomas boscosos similares.

La región del Espinal abarca una superficie de 329.395 km² (Figura 2). Por estar ubicado al oeste del principal núcleo agrícola argentino, la eco-región de la Pampa, ha sufrido en las últimas décadas una fuerte presión que ha degradado el ecosistema de diferentes maneras. El sector Este, más próximo a la región de la Pampa húmeda sufre una alta tasa de cambio del uso del suelo, ya que se han habilitado tierras de bosque natural para ser convertidas en tierras agrícolas por presentar mejores condiciones climáticas y edáficas, por otro lado, el extremo Oeste, más árido y frágil, no es una zona apta para el desarrollo agrícola pero ha actuado como una zona receptora del ganado bovino expulsado de las nuevas tierras agrícolas, sufriendo un aumento en la presión de pastoreo (Viglizzo et al., 2010).

Dentro del Espinal podemos diferenciar tres distritos en función de la especie dominante, el distrito del Ñandubay, dominado por *Prosopis affinis* Sprengel (*Ñandubay*), el distrito del Algarrobal, por *Prosopis flexuosa* D.C. (Algarrobo) y el más austral, el Distrito del caldenal por *Prosopis caldenia* Burkart (caldén) (Figura 2).



Figura 2. Distribución de la Región del Espinal. 1) Región del Ñandubay, 2) Región del Algarrobal y 3) Región del Caldenal. (*Fuente: Secretaría de medio ambiente y desarrollo sustentable de la Nación Argentina*)

El distrito del caldenal ocupa una superficie aproximada de 40.000 km², (el 18% de su superficie original) y concentra casi toda la superficie forestal del Espinal.

A lo largo de toda la región del caldenal se presentan importantes variantes en cuanto a la composición y la fisonomía de los bosques, resultando difícil realizar una caracterización general. Sus propiedades florísticas, estructurales y funcionales se ven condicionadas por las variaciones en el relieve, el material parental de los suelos y por múltiples perturbaciones: el desmonte, la alteración del régimen natural de fuegos, la introducción del ganado vacuno y la extracción forestal selectiva. En consecuencia, los diferentes tipos de fisonomías encontradas son variaciones de un mismo tipo de vegetación,

provocados por distintos factores ecológicos y antrópicos que provocan cambios estructurales y florísticos de gran magnitud, con diferente alcance temporal y espacial, incrementando la heterogeneidad de la vegetación (Lerner et al., 2004; Zinda et al., 2005).

La especie dominante del ecosistema es el caldén, pero es común encontrar otras especies arbóreas acompañantes, un estrato arbustivo que mide entre 1- 3 metros y un estrato gramíneo-herbáceo muy diverso, con coberturas que pueden llegar al 90%. Actualmente, este es su recurso más valioso (Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación, 2006).

El Caldén, es una especie leñosa, que pertenece a la familia *Fabaceae*, subfamilia *Mimosoideae*, puede alcanzar los 12-15 metros de altura, el tronco tiende a ramificarse y bifurcarse a baja altura, siendo sus ramas tortuosas, con hojas compuestas, alternas y caducas formadas por 25 a 35 pares de pequeños folíolos. Posee espinas caulinares de 0,5 a 2,5 cm de longitud, más grandes en los ejemplares jóvenes y en los rebrotes. Sus flores se disponen en espigas axilares de 5 a 8 cm de longitud, la floración se produce en octubre-noviembre, pero puede ser abortada por heladas tardías o lluvias. Una segunda floración más reducida puede suceder en enero (Burkart, 1939;1967; Steibel, 2003). La dispersión es mayormente por zoocoria endozoica, aunque también rebrota vegetativamente de cepa. (Ver grupo de fotos 1, Anexo I)

En la primera mitad del siglo XX, esta especie fue muy explotada debido a la calidad de su madera, para la fabricación de muebles, pisos de parquet, adoquines, colmenas, carbón, postes para alambrados, instalaciones para ganado y leña. En la actualidad, la explotación forestal del caldén es una actividad marginal, ya que es difícil encontrar rodales con buena disponibilidad y calidad de madera, dedicada en más de un 70% a la producción de leña, seguido luego por postes para alambrados, rollizos, rodrigones y varillas (Lell, 2004).

Como en casi todo el territorio de la República Argentina el régimen de tenencia de la tierra es privado, más del 98% de la superficie del caldenal pertenece a propietarios privados, dedicados a la ganadería extensiva o semi-

intensiva con parches de vegetación cuya superficie varía de menos de 1 ha a más de 5.000 ha. Históricamente, el productor agropecuario toma sus decisiones empresariales en base a una relación económica entre beneficios y costos, soslayando la relación entre el beneficio económico a corto plazo y el costo ambiental de tal decisión (Viglizzo y Jobbagy, 2010).

Hoy, las demandas de la sociedad con respecto a los sistemas forestales han cambiado. Ya no se exige que sólo provean bienes y servicios para satisfacer las necesidades materiales (producción de leña y pastos, madera, frutos, setas, etc) sino también, que sean oferentes de servicios ambientales (protección de suelos y cuencas, recreación, conservación de flora y fauna, fijación de CO₂, etc).

El secuestro de carbono ha adquirido relevancia en los últimos tiempos ya que es una de las pocas actividades que pueden disminuir la concentración atmosférica de CO₂ y mitigar el cambio climático. Existen mecanismos internacionales que ofrecen recompensas económicas en forma de pago por estos servicios. Los más importantes a través de los cuales es posible hacerlo son: el Protocolo de Kyoto, los MDL (*Mecanismos de Desarrollo Limpio*) y los proyectos REDD (*Reducing Emissions from Deforestation and forest Degradation in Developing countries*). Estas alternativas no son excluyentes una de otra sino complementarias, el protocolo de Kyoto no contempla la conservación, el manejo sustentable de bosques naturales y el desmonte evitado, como un mecanismo de desarrollo limpio, pero afortunadamente los proyectos REED sí lo hacen.

A través de estas iniciativas es posible que los propietarios de bosques de caldén, por ejemplo, puedan obtener un beneficio económico por mantener el bosque y, sumado a los ingresos producidos por la ganadería, obtengan una rentabilidad económica que les permita competir con las altas tasas de retorno, a corto plazo, que ofrece la agricultura.

El potencial de secuestro de carbono de un sistema forestal depende del contenido inicial en carbono orgánico, la composición de especies, las tasas de crecimiento de las mismas, la edad del rodal, las perturbaciones que actúan

sobre la masa, la capacidad biológica inherente al lugar y, finalmente, de la utilización de los productos que se obtengan (Pardos, 2010). Para poder incorporar la fijación de carbono como un objetivo de la gestión forestal es necesario cuantificar el carbono presente en los diferentes reservorios dentro del bosque y su partición dentro de las diferentes fracciones del árbol.

Son pocos los estudios de secuestro de carbono y biomasa en ecosistemas áridos y semi-áridos, a pesar de que aproximadamente el 47 % de la superficie de la tierra pertenece a estos ecosistemas (Lal et al., 2004), probablemente, esto se deba a que una parte importante de la biomasa se encuentra bajo tierra y ésta es la fracción más costosa y difícil de cuantificar. Sin embargo, debido a su magnitud es necesario considerar los cambios en la vegetación y el secuestro de carbono en estos ecosistemas cuando se discute el balance de carbono a nivel global.

El estudio de la biomasa vegetal puede ser abordado principalmente por dos vías. Utilizando métodos indirectos no destructivos, los más comunes son los Factores de expansión de la biomasa (BEF, a partir de su nombre en inglés *Biomass Expansion Factor*), que convierten el volumen del árbol o del rodal directamente en un peso estimado de biomasa, estos varían en función de las condiciones de crecimiento y de desarrollo del rodal (edad, volumen de madera, calidad de sitio, entre otras). O a través de métodos directos destructivos, como las ecuaciones de biomasa a partir de relaciones alométricas del árbol. Éstas son consideradas el método más exacto (IPCC, 2003; Jalkanen et al., 2005; Zianis D., et al., 2005) y son específicas para cada especie, pero mucho más complejas y costosas de construir. Para desarrollarlas es necesario hacer un muestreo destructivo fraccionando y separando cada componente del árbol para determinar su biomasa y obtener ecuaciones que estimen la biomasa del árbol (total y de cada una de sus partes) a partir de variables de árbol o de rodal.

Debido a: a) la importancia de los bosques de los ambientes semiáridos de Argentina, b) las tasas de sustitución de estos bosques, en particular para agricultura, c) que es posible encontrar estrategias de conservación de los

bosques de ambientes semiáridos basadas en el ofrecimiento de servicios ambientales, d) que es necesario cuantificar, para ofrecer estos servicios, la cantidad de biomasa existente en los individuos de *P. caldenia* y e) que no existen ecuaciones para la cuantificación de la biomasa de *P. caldenia*, el objetivo de este trabajo es desarrollar un modelo de cuantificación de biomasa y analizar la partición de biomasa dentro del árbol para *P. caldenia*.

4. Materiales y métodos

4.1 Sitio de estudio

El sitio de estudio se encuentra en la provincia de San Luís, (Argentina), muy próximo al límite norte de la distribución natural del caldenal. (33°30'31.47" S, 65°23'32.11" O) (Figura 3). El monte forma parte de una explotación ganadera de propiedad privada, a la que nunca se le han practicado intervenciones silvícolas. (Ver grupos de fotos 2, Anexo I)

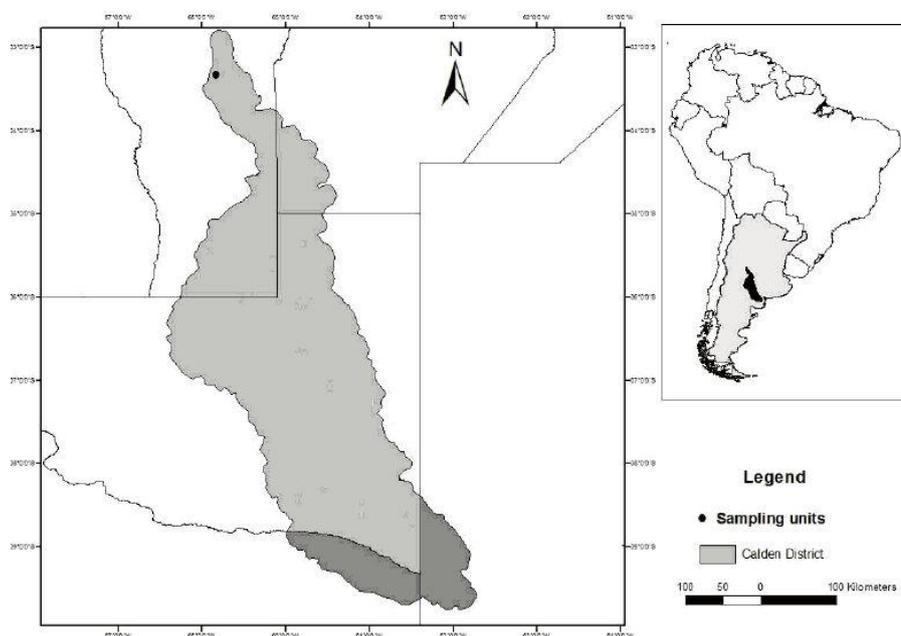


Figura 3. Ubicación relativa del establecimiento en el que fueron replanteadas las parcelas dentro del distrito del caldenal.

El clima es templado y semiárido, con grandes amplitudes térmicas estacionales, la máxima absoluta registrada es de 45,7 ° C y la mínima de -

14,1°C (De Fina y Ravelo, 1975). Las temperaturas medias se encuentran entre los 22,5°C y 25,5°C durante el mes más caluroso (enero), mientras que la media de temperaturas mínimas está entre 6,5°C y 9,5°C durante el mes más frío (Julio). El período de heladas se extiende desde el mes de abril a noviembre (Echeverría y Bertón, 2006).

Las precipitaciones son estacionales, aproximadamente el 80% de las mismas se distribuye de noviembre a marzo y aumentan de oeste a este. La media anual es de 594 mm (datos de INTA EEA San Luís, periodo 1903-2000). Existe un importante déficit hídrico en al menos 6 o 7 meses del año. (Ver Anexo I, Figura 1)

Los suelos de la región son poco evolucionados, con poca diferenciación de horizontes, muy drenados, de baja retención hídrica y un contenido de materia orgánica bajo o medio (1,5-3%). Suelen presentar carbonato de calcio en forma desagregada o en concreciones. Debido a la poca estructuración del suelo es importante la erosión eólica e hídrica en vastos sectores de este distrito, presentando dunas arenosas en casi todo el área (Cano, 1980, Boyero, 1985, Peña Zubiate et al., 1998). De acuerdo con Peña Zubiate y D'Hiriart (2000) el suelo del sitio de estudio puede ser clasificado como un Haplustol entico.

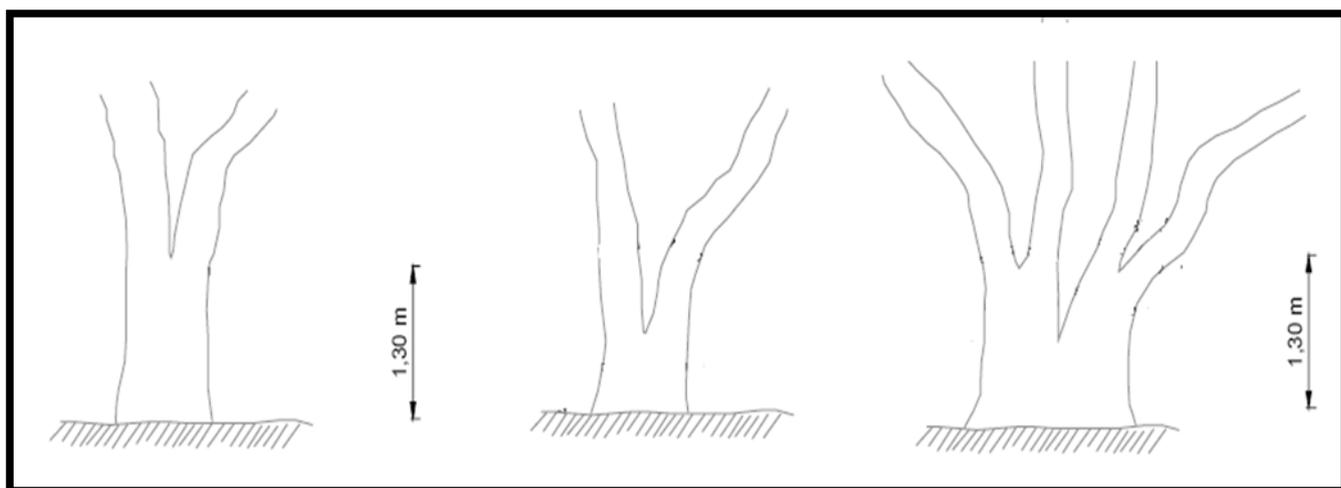
4.2. Metodología de muestreo

Se replantearon en campo 30 parcelas circulares distribuidas al azar en una superficie de 92 ha, siguiendo los mismos criterios utilizados en el Primer Inventario Nacional de Bosques Nativos de Argentina (Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación, 2007). Cada parcela tiene una superficie de 500 m², en la que se inventariaron todos los árboles de caldén con un diámetro en la base superior a 7,5 cm.

Cada árbol fue clasificado en función de la altura a la que se bifurca de la siguiente manera (Ver grupos de fotos 3 y 4, Anexo I):

- Árboles Monofustes: Son aquellos árboles que presentan un único fuste

- aéreo que puede bifurcarse por encima del 1.3 m de altura. (Figura 4 a)
- Árboles Multifustes: Son árboles que presentan más de un fuste aéreo, se bifurcan por debajo de 1,30 m) (Figura 4 b y c)



(a)

(b)

(c)

Figura 4. Clasificación de árboles en función del número de fustes aéreos. a) Árboles monofustes, b) y c) Árboles Multifustes. (Fuente: Secretaría de medio ambiente y desarrollo sustentable de la Nación Argentina)

En cada pie inventariado, se midieron las siguientes variables dendrométricas: diámetro a la altura normal, DAP (cm) y diámetro en la base, DB (cm) con forcípula, Altura total (m), altura a la que comienza la copa (m) y punto de máxima amplitud de copa (m), con hipsómetro digital VERTEX III. Altura de bifurcación (cm) y ancho de copa con cinta métrica (cm).

Con los datos en las parcelas (Tabla 1) se establecieron 11 clases diamétricas de 5 cm, y se seleccionaron al azar 38 árboles distribuidos a lo largo de las cuatro primeras, ya que concentran el 91,7 % de los árboles inventariados. (Ver anexo II Tabla1.)

Tabla 1. Resumen de las principales medidas dendro y dasométricas de las parcelas replantadas en campo para *Prosopis caldenia*. (n=30)

	DAP	DB	H total	H copa	A. copa	Densidad	% Monof.	% Multif.
Máximo	54,00	57,55	11,42	5,71	54,41	960	69,5	78
Mínimo	3,52	5,05	1,43	0,21	0,02	180	22	31
Media	11,48	16,13	4,88	1,72	4,41	453	48	52
Desviación estándar	6,51	8,72	1,34	0,61	5,04	195	12,86	12,86

VARIABLES DENDROMÉTRICAS: DAP: diámetro a la altura del pecho (cm), DB: Diámetro en la base (cm), H total: Altura total (m), H copa: Altura de copa (m), A. copa: Área de copa (m²), VARIABLES DASOMÉTRICAS: Densidad (Número de árboles. ha⁻¹), % Monof.: Porcentaje de árboles monofustes, % Multif.: Porcentaje de árboles multifustes. A. copa. Área de copa (m²).

Cada árbol fue apeado y separado en las siguientes fracciones: hojas, raíces, fuste, ramas de menos de 2 cm, entre 2 y 7 cm y de más de 7 cm de diámetro. Se tomaron dos rodajas de aproximadamente 5 cm de grosor, una en la base y otra a 1.3 m de altura, para análisis dendrocronológicos. (Ver Grupos de fotos 5, Anexo I). Las raíces fueron extraídas con un bulldozer (FIAT modelo AD 18). A través de este método la mayor parte del sistema radical fue extraído, pero la fracción fina del mismo no fue capturada por tanto no se incluye en el análisis (Ver grupo de Fotos 6, Anexo I). Cada fracción fue pesada en campo, con una balanza portátil Wei Heng modelo A05L con una precisión de 10 gr Una muestra representativa de cada fracción fue llevada a estufa durante 72 hs a 80 °C, para estimar el contenido de humedad y poder llevar el peso de la biomasa a materia seca.

En la tabla 2 están reflejadas las principales características de los árboles fraccionados.

Tabla 2: Valores máximos, medios, mínimos y desviación estándar para las variables independientes y las diferentes fracciones de biomasa para los árboles apeados (n:38).

	Altura total	DAP	DB	Fracciones de Biomasa.						
				< 2	2-7	>7	Hojas	Fuste	Raíz	Total
Máximo	7,5	21,1	24,9	39,9	22,0	42,7	4,4	49,3	66,4	199,9
Mínimo	3	5,0	7,4	1,7	0,2	0	0,3	1,6	3,3	10,1
Media	5,2	11,0	14,3	7,2	8,0	10,9	1,4	11,8	20,3	59,5
Desviación estándar	1,0	3,9	4,7	7,3	5,5	10,1	1,0	10,4	15,4	40,8

DAP: Diámetro a la altura normal (cm.), DB. Diámetro en la base (cm.), < 2: Ramillas de < 2 cm. de diámetro (kg), 2-7: Ramillas de entre 2-7 cm. de diámetro (kg), > 7: Ramas de más de 7 cm. de diámetro (kg), Total.: Biomasa Total (kg).

4.3 Análisis de los datos

Los datos fueron analizados siguiendo 4 pasos consecutivos: análisis de correlación entre variables, ajuste individual de ecuaciones de biomasa, ajuste simultáneo de ecuaciones de biomasa y finalmente, un análisis de la partición y distribución de la biomasa dentro del árbol.

Se realizó un análisis de correlación entre las variables dendrométricas y cada fracción de la biomasa para definir cuáles son las que debían considerarse en el modelo. Una vez seleccionadas las variables independientes que mejor se correlacionan con el peso seco de la biomasa se evaluaron diferentes ecuaciones lineales y no lineales (Tabla 3) que relacionan el peso seco de cada fracción de biomasa con las variables dendrométricas de cada árbol.

Tabla 3. Modelos evaluados para estimar biomasa de *Prosopis caldenia*.

$W = \beta * (AB * h)$	$W = (\beta * AB^2) + (\lambda * h)$
$W = \beta * (AB^2 * h)$	$W = (\beta * AB^2) + (\lambda * h) + (\theta * AB^2 * h)$
$W = (\beta * AB) + (\lambda * AB^2) + (\theta * AB^2 * h)$	$W = (\beta * AB^2) + \lambda * (AB * h)$
$W = (\beta * AB) + (\lambda * h)$	$W = \beta * (AB^2 * h) + \lambda * (AB * h)$
$W = (\beta * AB^2) + \lambda * (AB^2 * h)$	$W = \beta * (AB^\lambda) * (h^\theta)$
$W = \alpha + \beta * (AB^2 * h)^\lambda$	

W: Peso de la biomasa seca (Kg.), AB: Área basimétrica. (cm), h: Altura total (m), α , β , λ , θ : parámetros de los modelos.

Se evaluaron 11 modelos para cada fracción y se escogió el mejor de ellos en función de los siguientes parámetros estadísticos: Suma del cuadrado del error (SSE), Coeficiente de correlación ajustado (R^2_{adj}) y el nivel de significación de los estimadores. (Ver Anexo II, Paso 2).

Una vez determinado el modelo que mejor se comporta para cada fracción y con los parámetros estimados, se ajustaron de manera simultánea todas las ecuaciones. Esto se llevó a cabo en dos etapas, utilizando el método de los mínimos cuadrados generalizados conjuntos, para garantizar la propiedad de aditividad entre los componentes de la biomasa, es decir que la suma total de las fracciones de biomasa sea igual al valor correspondiente de la biomasa total del árbol (Parresol, 1999 y 2001) y una regresión ponderada sobre los residuos para evitar la heterocedasticidad. Para el ajuste de los modelos se utilizó SAS/ ETS proc MODEL procedure (SAS Institute Inc., 2004).

Finalmente, con los datos de biomasa seca de cada fracción, se calculó la relación biomasa subterránea / biomasa aérea y se analizó la partición de la biomasa dentro del árbol.

5. Resultados

Las variables con los mayores coeficientes de correlación, y que han sido seleccionadas como variables independientes explicativas, fueron el Área Basimétrica y la altura total. En la Tabla 4, están los valores de los coeficientes de correlación para las variables y cada fracción.

Tabla 4. Coeficientes de correlación para Altura total y Área basimétrica en cada fracción de biomasa para *Prosopis caldenia*.

		Altura de Copa	Altura Total	Diámetro normal	Diámetro en la base	Área basimétrica	Diámetro de copa
Ramas < 2	Coef. de correlación	-0,09	0,11	0,48	0,64	0,67	0,17
	P valor	0,62	0,51	0,003	<,0001	<,0001	0,33
Ramas de 2-7	Coef. de correlación	0,007	0,34	0,63	0,77	0,77	0,06
	P valor	0,97	0,04	<,0001	<,0001	<,0001	0,75
Ramas de >7	Coef. de correlación	-0,02	0,24	0,67	0,77	0,76	0,14
	P valor	0,91	0,15	<,0001	<,0001	<,0001	0,41
Hojas	Coef. de correlación	0,03	0,14	0,56	0,72	0,74	0,19
	P valor	0,88	0,4	0,0004	<,0001	<,0001	0,25
Raíces	Coef. de correlación	0,009	0,29	0,66	0,87	0,89	0,13
	P valor	0,97	0,08	<,0001	<,0001	<,0001	0,44
Fuste	Coef. de correlación	0,07	0,24	0,6	0,82	0,85	0,11
	P valor	0,71	0,15	<,0001	<,0001	<,0001	0,53
Biomasa Total	Coef. de correlación	-0,02	0,33	0,56	0,83	0,86	0,09
	P valor	0,9	0,04	0,0004	<,0001	<,0001	0,61

La fracción hojas presentó valores muy bajos de ajuste en todos los modelos ensayados y en 8 de ellos los parámetros estimados no eran estadísticamente significativos, este inconveniente se resolvió uniendo en un mismo componente las fracciones hojas y las ramillas de < de 2 cm de diámetro.

De los 11 modelos evaluados, el que mejor ajuste individual presentó en todos los casos fue el siguiente:

$$W = (\beta * AB^2) + (\lambda * h)$$

En la Tabla 5 están resumidos los resultados de los ajustes independientes de cada modelo en cada una de las fracciones. Es decir, como se comporta el modelo para cada fracción de biomasa independientemente de las demás. El análisis completo puede consultarse en el Anexo II, paso 2.

Tabla 5. Ajustes independientes del modelo para cada fracción de biomasa de *Prosopis caldenia*.

Fracción de biomasa	SSE	Raíz MSE	R ² - Adj.	Parámetros estimados	P. Valor
Ramillas de < 2 + Hojas	314,11	3,09	0,70	0,000042	<,0001
				0,719539	<,0001
Ramillas de 2-7	358,52	3,35	0,66	0,00004	<,0001
				1,068399	<,0001
Ramas de >7	536,11	4,30	0,75	0,000063	<,0001
				1,086934	<,0001
Fuste	680,32	4,61	0,82	0,000093	<,0001
				1,0858	<,0001
Raíces	2781,21	9,63	0,70	0,000126	<,0001
				2,71165	<,0001
Biomasa Total	16098,21	23,17	0,77	0,000366	<,0001
				7,558194	<,0001

R < 2, Ramillas de menos de 2 cm. de diámetro, R.2-7, Ramillas de 2-7 cm. de diámetro, Ramas de >7, Ramas de más de 7 cm. de diámetro, BT, Biomasa Total. SSE: Suma del cuadrado del error, Raíz MSE: Raíz del error cuadrático de la media. R²- Adj.: Coeficiente de correlación R² ajustado. El primer parámetro estimado presentado en cada fracción de biomasa corresponde al estimador β y el segundo al λ del modelo seleccionado.

En la Tabla 6 están resumidos los resultados del ajuste simultáneo del sistema de ecuaciones, los parámetros finales estimados, la significancia y el ajuste de los mismos. El análisis completo puede consultarse en el Anexo III, paso 3.

Tabla 6. Ajuste simultáneo de las ecuaciones para cada fracción de biomasa de *P. caldenia*

Fracción de biomasa	SSE	Raíz MSE	R ² - Adj.	Parámetros estimados	P. Valor
Ramillas de < 2 + Hojas	229,51	6,95	0,71	0,000042	<,0001
				0,660188	<,0001
Ramillas de 2-7	323,52	9,80	0,65	0,000041	<,0001
				0,996982	<,0001
Ramas de >7	1021,11	30,94	0,58	0,000061	<,0001
				1,150017	<,0001
Fuste	1452,52	44,02	0,61	0,000109	<,0001
				1,78755	<,0001
Raíces	2999,41	93,73	0,62	0,000117	<,0001
				2,091753	<,0001
Biomasa Total	16356,82	545,2	0,71		

SSE: Suma del cuadrado del error, Raíz MSE: Raíz del error cuadrático de la media. R²- Adj.: Coeficiente de correlación r² ajustado. El primer parámetro estimado presentado en cada fracción de biomasa corresponde al estimador β y el segundo al λ del modelo seleccionado.

Finalmente, los resultados de la partición y la distribución de la biomasa dentro del árbol muestran que el mayor porcentaje de biomasa se encuentra en la copa (ramas de diferentes tamaños y hojas), con un porcentaje medio del 46, un máximo de 82 y un mínimo de 22, en segundo lugar se encuentra la fracción raíz con un porcentaje medio de 35, un máximo de 65 y un mínimo de 6 (Figura 5 a). La fracción correspondiente al fuste es la menor, con un valor medio de 19, un máximo de 38 y un mínimo de 4. Si dividimos la biomasa en función de su capacidad fotosintética (Fig. 5 b) y agrupamos por un lado el tejido leñoso (fuste y ramas de diferentes diámetros) y por otro las raíces y el tejido foliar, concluimos que la mayor parte de la biomasa de Caldén es tejido leñoso con un porcentaje medio de 62,9 un mínimo de 33,37 y un máximo de 91,82 el tejido fotosintético es el menor con un porcentaje medio de 2,45 , un mínimo 0,59 y un máximo de 10,64. La fracción raíces mantiene los valores descriptos anteriormente ocupando el segundo lugar. La relación biomasa subterránea: biomasa aérea, para *P. caldenia* arrojó un valor medio de 0,58 con un máximo de 1.88 y un mínimo de 0,065.

Figura 5 : Partición de la biomasa dentro de cada árbol apeado fraccionada en copa, fuste y raíces (a) y en función de las secciones fotosintéticamente activas (b)

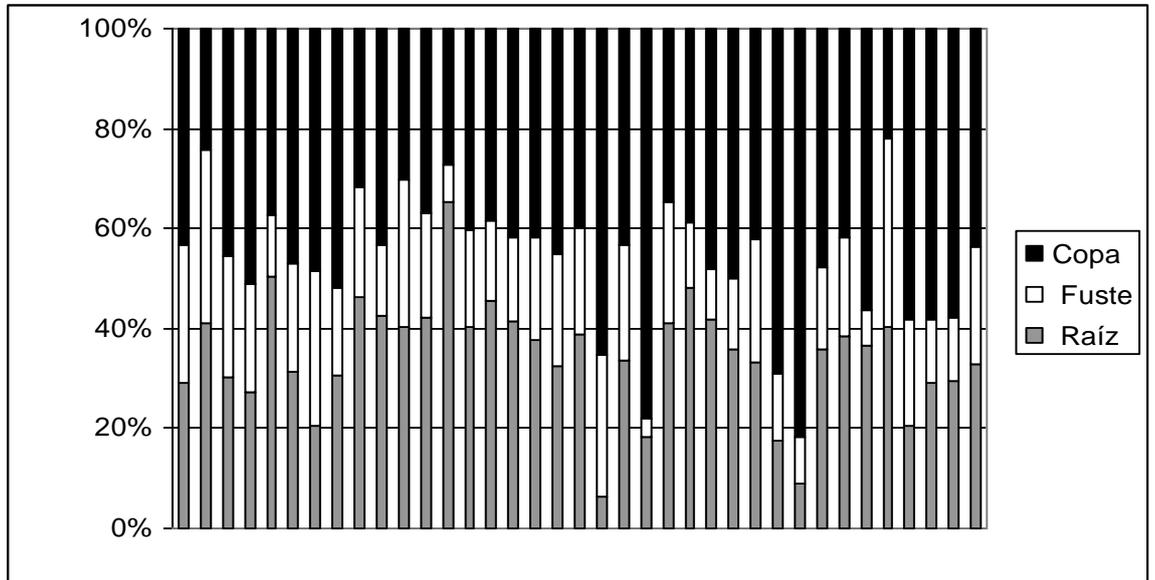


Figura 5 a.

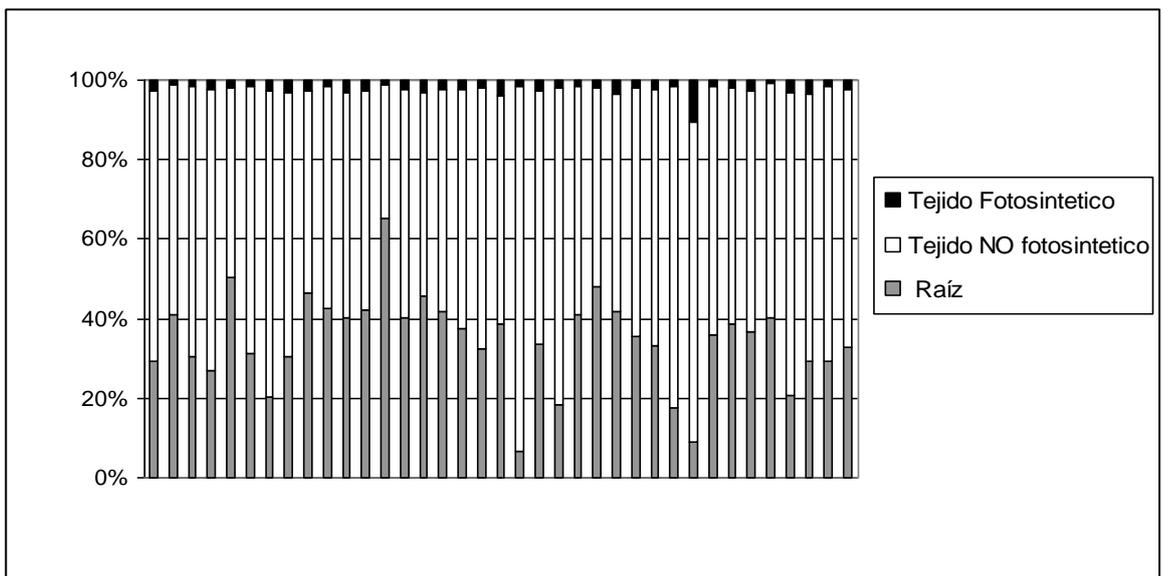


Figura 5 b.

6. Discusión

Los resultados muestran que es factible encontrar una ecuación para la estimación de biomasa de *Prosopis caldenia*, tanto de sus fracciones como de la suma de todas ellas. Para los caldenales ubicados en el extremo oriental de su distribución natural, las ecuaciones que presentaron el mejor ajuste incluyen como variables independientes explicativas la sección normal y la altura total.

La sección normal fue calculada a partir del diámetro basal de la cepa, independientemente del número de fustes aéreos, estos no se consideraron ya que el objetivo principal de este trabajo es cuantificar la biomasa total de caldén (aérea y subterránea), entonces, independientemente del número de fustes aéreos que presente un árbol el sistema radical para el mismo será único y debido a la importancia que presenta la fracción raíces para caldén (el segundo destino en la partición de biomasa dentro del árbol) el criterio elegido ha sido, que un árbol es igual a un sistema radical, independientemente del número de fustes que presente.

La altura total fue incluida como variable en todos los modelos a pesar de que en algunas fracciones su inclusión no mejorará significativamente el ajuste. Esto se debe a que es una variable fácil de medir en el campo, comúnmente presente en los inventarios forestales y que al incluirla recogemos de manera indirecta información sobre el ambiente competitivo en el que se desarrolló el árbol como la edad del rodal, la densidad o la calidad de estación (Wirth, C., 2004). Esto hace que el modelo sea más general y habilita su uso a diferentes sitios (Ketterings et al., 2001).

Se evaluaron todas las variables independientes medidas a campo; área de copa, altura de inserción de la copa, altura de bifurcación, número de fustes, punto de máxima amplitud de copa y altura de bifurcación pero ninguna superó los coeficientes de correlación de las variables seleccionadas.

La estimación alométrica de la fracción hojas, es una de las más complejas. Ledesma et al, (2010), estimaron la biomasa foliar para *Prosopis flexuosa* mediante relaciones alométricas y concluyeron que las estimaciones que presentaron el mejor ajuste fueron aquellas basadas en variables dendrométricas medidas dentro y en la base de la copa viva, superando a las

medidas en el fuste. Las peores estimaciones de biomasa foliar que obtuvieron fueron las obtenidas utilizando como variable predictora el diámetro en la base del fuste, seguidas de las medidas en el ápice del fuste.

En *P. caldenia* el comportamiento es similar, la predicción de la biomasa foliar a partir la sección normal, el diámetro basal o a la altura del pecho no es adecuada y no mejora incorporando otras variables como la altura total. Es por esto, que la biomasa foliar fue sumada a la fracción de ramas de < 2 cm de diámetro. Esta homogenización de las fracciones no supone mayores problemas a nivel práctico ya que estas dos fracciones están muy ligadas y en el caso de establecer un aprovechamiento de caldén tendrían un mismo destino. Todos los modelos del sistema de ecuaciones presentan un ajuste independiente similar, con un valor mínimo de $R^2_{Adj.}$ de 0,66 para las ramillas de 2-7 cm de diámetro y un máximo de 0,82 para el fuste.

Las muestras analizadas reflejan la heterogeneidad presente en el rodal, se han incluido árboles de todos los tipos morfológicos (con uno y varios fustes) y de un amplio rango de diámetros y alturas (Tabla 2). La partición de la biomasa dentro del árbol indica que el Caldén destina una mayor cantidad de sus recursos al desarrollo de la copa, en segundo lugar al sistema radical y por último al fuste, datos que se confirman con las alturas de inserción de copa (Datos no mostrados). Proporciones similares de partición de biomasa han sido descritas por Ruiz-Peinado, et al.(2011), para *Quercus ilex* y *Quercus suber*. Estas tres especies además de estas similitudes, comparten importantes características a nivel de ecosistema.

La dehesa y el caldenal son formaciones forestales en los que la producción de madera no es la actividad principal sino que lo es la ganadería extensiva y el rol de los árboles es proporcionar sombra para el bienestar animal y la producción de fruto que es utilizado como un suplemento a la oferta forrajera del pastizal natural subyacente. Se desarrollan en un ambiente marcado por un déficit hídrico en la estación de crecimiento y sobre suelos poco evolucionados con una fertilidad media-baja.

Las primeras descripciones del caldenal, al inicio de las actividades

agropecuarias, reportan una formación arbórea abierta, con árboles dispersos de caldén acompañados ocasionalmente por algarrobo (*P. flexuosa*), en la que las copas de los árboles no se tocan, sin un estrato arbustivo y con un pastizal rico en gramíneas bajas, dándole un aspecto de tipo sabánico (Koutche, J., 1936) similar a la dehesa española. Hoy, esta situación es muy difícil de encontrar con excepción de rodales sobremaduros o con problemas de regeneración, lo más común en los rodales remanentes es que la combinación de incendios (utilizados como una herramienta sistemática para estimular el rebrote del estrato herbáceo) y un manejo inapropiado de ganado modelan la fisonomía del bosque, cambian su estructura estimulando la reproducción vegetativa, aumentando la densidad, colonizando nuevas áreas y cambiando las relaciones alométricas del árbol. Son todos estos factores los que acentúan la heterogeneidad del caldenal, disminuyen el ajuste del modelo desarrollado y hacen más difícil su generalización.

Álvarez, et al. (2011) desarrollaron ecuaciones alométricas para *P. flexuosa*, encontrando cambios en el incremento radial anual entre individuos mono y multifustes posiblemente debidos a diferencias en la capacidad fotosintética de los diferentes hábitos de crecimiento ya que, una vez alcanzado cierto diámetro el área de copa cae en los individuos multifustes debido a la competencia entre los fustes revirtiendo la tendencia inicial de crecimiento. Huang, et al. (2007), encontraron que solo dos incendios fueron necesarios para alterar la estructura de la vegetación y cambiar la relación cobertura-biomasa, siendo lineal en las zonas control (sin fuego) a no lineal en las áreas quemadas. Las características morfológicas de plantas regeneradas vegetativamente después de un fuego incluyen una menor altura total y una mayor relación biomasa aérea : biomasa subterránea, que los árboles no quemados (Midgley, 1996).

Cannell, (1982) y Cairns, (1997) no encontraron diferencias significativas en la relación biomasa aérea : biomasa subterránea, entre diferentes grupos de especies y establecieron un ratio general de 0,25 para especies deciduas, independientemente de la latitud o la textura edáfica en la

que se desarrollen los árboles. Para *P. caldenia*, el valor medio encontrado fue de 0.58. Ruiz-Peinado et al., (2011) calculó los ratios para las principales especies de la península ibérica, el valor medio para las especies deciduas no coincidió con el determinado por Cairns. Varias especies como *Quercus canariensis* (0.49), *Quercus faginea* (0.36), *Castanea sativa* (0.77), *Ceratonia siliqua* (0.81) o *Alnus glutinosa* (0.81) presentaron ratios similares o aún más altos que caldén (valores entre paréntesis). Esta diferencia en los valores encontrados para las especies deciduas españolas y para caldén, con respecto al valor establecido por Cairns podría ser explicado por el tipo de gestión que han recibido estos montes (cortes de la parte aérea para la extracción de leña y carbón) y la recurrencia del fuego que estimulan el rebrote vegetativo pero fundamentalmente por los efectos que producen el clima árido- semiárido, que conducen a grandes y profundos sistemas radicales mejor adaptados para la captación de agua y nutrientes. Gaston et al. (1998), determinó un ratio medio de 0.47 para bosques y sabanas en ambientes áridos y semi-áridos.

Para estimar el carbono almacenado en la biomasa, generalmente se asume que el valor de la fracción de carbono en la materia seca es igual al 50 % de la misma, (Brown, 1984; IPCC, 1996). Sin embargo, existen numerosos estudios que indican que esto no es así y que el contenido de carbono varía en función de la especie y del tejido del árbol considerado (Francis, 2000; Gifford, 2000; Soares y Oliveira, 2002; Herrero de Aza, 2011; Castaño-Santamaría, 2012). De Petre, A. et al. (2005) cuantificaron el contenido de carbono en las diferentes fracciones del leño para dos especies del Espinal *Prosopis affinis* (Ñandubay) y *Prosopis nigra* (Algarrobo) y determinaron valores medios de 47,83 y 47,62 % de C respectivamente. En función de esto se recomienda utilizar para *P. caldenia* un valor de 0,48 como factor de conversión.

Finalmente es importante remarcar que, para estimar de manera precisa la biomasa leñosa de un rodal el conocer la historia de disturbios (régimen de fuegos, cargas ganaderas, tiempo de pastoreo, extracción o no de productos forestales, etc.) y la tenencia de la tierra pueden ser factores claves y es probable que una mejora significativa en las ecuaciones desarrolladas para *P.*

caldenia, se logre disminuyendo la variabilidad en los datos de partida, estratificando el muestreo con premisas que estén en función de las perturbaciones que modifican la alometría del árbol (herbivoría, fuegos, tipos morfológicos, etc.) o incluyéndolos en los modelos como variables explicativas.

De acuerdo con los datos publicados por la Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación Argentina en el informe sobre el estado de conservación del caldenal la mayor proporción de los bosques de caldén han sido intensamente degradados y fragmentados. Esta situación puede ser una oportunidad para impulsar el secuestro de carbono como un objetivo en la gestión del caldenal, ya que cambios relativamente simples que se produzcan en la gestión actual (menor frecuencia e intensidad de fuegos, cargas ganaderas adecuadas, manejo de la densidad del rodal, etc) tendrán un alto impacto y servirán de estímulo a los propietarios.

7. Conclusiones

El sistema de ecuaciones presentado permite estimar la biomasa y el contenido de carbono de los bosques de Caldén de Argentina, de manera más precisa y exacta que a través de la metodología utilizada hasta ahora que basaba en estimaciones medias de otras regiones próximas o por coeficientes generales desarrollados por organismos internacionales (IPCC, FAO, etc) , en los que por ejemplo se subestima la biomasa subterránea, ya que la relación biomasa aérea:biomasa subterránea en Caldén es muy superior a los valores comúnmente utilizados a pesar de no estar incluida en su estimación la fracción fina de la biomasa radical.

El modelo presentado, gracias a las variables independientes explicativas seleccionadas puede ser aplicado en toda la región del caldenal, ya que al utilizar la altura total, recogemos de manera indirecta información del sitio y de las condiciones de crecimiento del árbol (Índice de sitio, competencia, etc) y la sección normal permite incluir árboles con uno o más fustes aéreos sin tener que diferenciarlos en el tratamiento de los datos, esto

es clave ya que el porcentaje de árboles con uno o varios fustes aéreos depende, entre otras cosas, de la gestión y las actividades que recibe el monte (ganadería, fuego, extracción de leña, etc) condiciones altamente heterogéneas en la región del caldenal.

Finalmente, las variables independientes utilizadas para el desarrollo del modelo se encuentran en el Primer Inventario de Bosques Nativos de Argentina el modelo puede aplicarse a los datos del mismo permitiendo una cuantificación del almacenamiento de carbono de toda la región del caldenal y establecer un balance del carbono de la región a medida que aumente el número de inventarios.

El caldenal es un ecosistema complejo y este es sólo el primer paso en la cuantificación del carbono del mismo, para evaluar de manera integral la capacidad de sumidero de carbono del mismo es necesario ampliar el estudio de la biomasa al resto de los componentes del ecosistema; el estrato arbustivo, herbáceo, especies arbóreas acompañantes, carbono orgánico del suelo y madera muerta.

8. Agradecimientos

Este trabajo no hubiese sido posible sin la valiosa ayuda en el trabajo de campo de Leticia Garay, Cecilia Bintana, Pía Rodríguez, Mónica Zavala, Celina Chocobare, Matías Nievas, Ricardo Rossi y Emilia Orquín. Sin su ayuda no sólo hubiese sido imposible realizarlo sino que además habría sido infinitamente más aburrido y tedioso de llevarlo a cabo.

Al señor Marcelo Marchissio y su familia por permitirnos trabajar en su establecimiento y brindarnos todas las comodidades para hacerlo. Al señor Miguel Chaparro y a “Topita” por su paciencia, ayuda y permitirnos interferir en su trabajo.

A Celia Herrero por su preocupación, paciencia y buen humor para enseñarme a trabajar y analizar los datos de este trabajo, sin su ayuda el tiempo invertido hubiese sido muchísimo mayor.

A la Universidad Nacional de San Luís por permitirnos utilizar con total libertad sus instalaciones para el almacenamiento y procesado de las muestras.

Finalmente, a European Union mobility programme ERASMUS MUNDUS ECW 2009 1655/001-001 quienes financian mi formación en esta universidad.

9. Bibliografía.

- ÁLVAREZ, J. A., VILLAGRA, P. E., VILLALBA, R., CONY, M. a., & ALBERTO, M. 2011. Wood productivity of *Prosopis flexuosa* D.C. woodlands in the central Monte: Influence of population structure and tree-growth habit. *Journal of Arid Environments*, 75(1), 7–13.
- BOYERO, M., A. 1985. *Prosopis caldenia* Burk, en Argentina. *Segundo Encuentro Regional CIID América Latina y el Caribe. Forestación en zonas áridas y Semiáridas* (pp. 270–323). Santiago de Chile.
- BROWN, S., LUGO, A. 1990. Effects of forest clearing and succession on the carbon and nitrogen content of soils in Puerto Rico and US Virgin Islands. *Plant and Soil*, 124, 53–64.
- BURKART, A. 1939. El nombre científico del caldén en La Pampa. *Darwiniana*, 3, 11–115.
- BURKART, A. 1967. Leguminosas. Flora de la Provincia de Buenos Aires. (pp. 394–467). IBTA Buenos Aires.
- BURKE, I., YONKER, C., PARTON, W., COLE, C., FLACH, K., SCHIMEL, D. 1989. Texture, climate and cultivation effects on soil organic matter content in US Grassland soils. *Soil Science Society of America Journal*, 53, 800–805.
- CANNELL, M. G. R. 1982. World forest biomass and primary production data. Academic Press, 391.
- CAIRNS, M., BROWN, S., HELMER, E. H., & BAUMGARDNER, G. 1997. Root biomass allocation in the world's upland forests. *Oecología*, 111(1), 1–11.
- CANO, E. 1980. *Inventario Integrado de los Recursos Naturales de la Provincia de La Pampa*. (p. 493). Bs. As.: INTA- Ministerio de Economía y Asuntos Agrarios-Univ. Nac. de La Pampa.
- CASTAÑO-SANTAMARÍA, J y BRAVO, F. 2012. Variation in carbon concentration and basic density along stems of sessile oak (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.) and Pyrenean oak (*Quercus pyrenaica* Willd.) in the cantabrian Range (NW Spain). *Annals of Forest Science*, 69 (6) 633- 672.
- ECHEVERRÍA, J. y BERTÓN, J. 2006. Temperatura del aire. In *Aptitud forestal de la provincia de San Luís*. (Echeverría, J. Jobaggy, E. y Collado, D.).
- BRAVO, F., BRAVO - OVIEDO, A and DIAZ-BALTEIRO, L. 2008. Carbon sequestration in Spanish Mediterranean forests under two management alternatives: a modeling approach. *European Journal of Forest Research*,

127(3), 225–234.

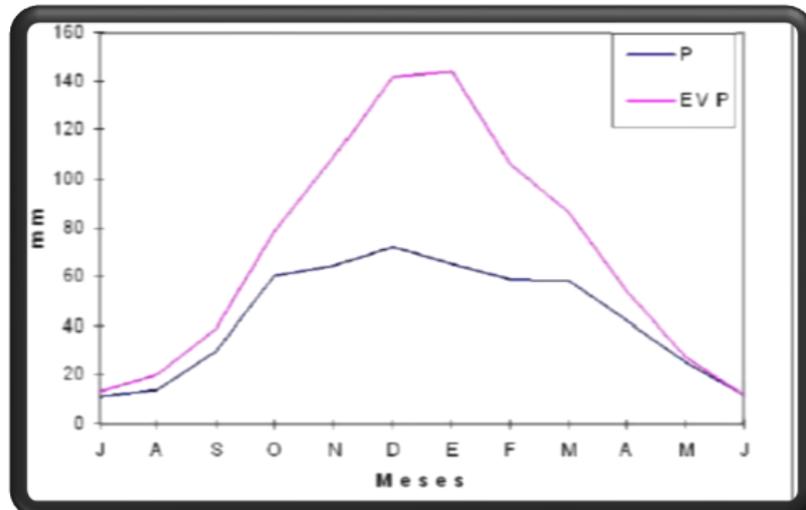
- FAO. 1998. Directrices para la evaluación en los países tropicales y subtropicales.
- FUNDACIÓN BARILOCHE. 2005. Inventario nacional de la República Argentina de fuentes de emisiones y absorciones de gases de efecto invernadero. Buenos Aires, Argentina.
- GARIBALDI, J. and REY SANTOS, O. (2006). SEMARNAT - Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales PNUMA - Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.). *EL CAMBIO CLIMÁTICO EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE* (p. 140).
- GASTON, G., BROWN, S., LORENZINI, M and SINGHI, K. 1998. State and change in carbon pools in the forests of. *Global Change Biology*, 4, 97–114.
- HERRERO DE AZA, C, TURRIÓN, M, PANDO,V y BRAVO,F. 2011. Carbon in heartwood, sapwood and bark along the stem profile in three Mediterranean *Pinus* species. *Annals of forest science*. 68 (6) 1067-1076.
- HUANG, C., MARSH, S. E., MCCLARAN, M. P., & ARCHER, S. R. 2007. Postfire stand structure in a semiarid savanna: cross-scale challenges estimating biomass. *Ecological Society of America*, 17(7), 1899–910.
- IPCC. 1996. Intergovernmental Panel on Climate Change. Report of the twelfth session of the intergovernmental panel on climate change. Reference manual and workbook of the Land Use Change and Forestry.
- IPCC 1996 revised guidelines for national greenhouse gas inventories. Mexico city.
- IPCC. 2000. Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC Special Report: Land Use Change and Forestry. Cambridge University Press.
- IPCC. (2006). Revised 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Programme. In K. Eggleston, H.S, Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., Tanabe (Ed.), *Reference Manual, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme*.
- MAKIPAA, A., STAHL, R., and JALKANEN, G., 2005. Estimation of the biomass stock of trees in Sweden: comparison of biomass equations and age-dependent biomass expansion factors. *Annals of Forest Science* 62 (8) p. 845-851
- KETTERINGS, Q.M., COE R., VAN NOORDWJJK, V., AMBAGAU, Y., PALM, C.

- A. 2001. Reducing uncertainty in the use of allometric biomass equations for predicting above-ground tree biomass in mixed secondary forests. *Forest Ecology and management*, 146, 199–209.
- KOUTCHE, J. y CARMELICH, V. 1936. Contribución al conocimiento de los bosques de la República Argentina: Estudio Forestal del caldén. *Bol. Min. Agric. Nac.* XXXVII (1-4):1-22, 1–22.
- LERNER, P. 2004. El Caldenal: dinámica de poblaciones de caldén y procesos de expansión de leñosas en pastizales. *Ecología y manejo de los bosques de Argentina*,. UNLP.
- LAL, R. 2002. Soil carbon dynamics in cropland and rangeland. *Environmental Pollution*, 116(3), 353–362.
- LAL, R. 2004. Carbon sequestration in dryland ecosystems. *Environmental management*, 33(4), 528–44.
- LELL, J. 2004. El caldenal: una visión panorámica del mismo enfatizando en su uso. In F. J. L. . G. J. F. Arturi, M.F. (Ed.), *Ecología y manejo de los bosques de Argentina*. UNLP.
- MIDGLEY, J. J. (1996). Why the world's vegetation is not totally dominated by resprouting plants; because resprouters are shorter than reseeders. *Ecography*, 19, 92–96.
- BROWN, S. 1984. Biomass of Tropical Forest: a New Estimate Based on Forest Volumes. *Science*, 223, 1290–1293.
- DE PETRE, A., ULF, Ali, S., REYNERO, N. 2005. Proyectos de Investigación Aplicada a los Recursos Forestales Nativos (PIARFON). Alternativas de sustentabilidad del bosque nativo del Espinal. Área Captura de Carbono.
- FRANCIS, J. 2000. Estimating Biomass and Carbon Content of Saplings in Puerto Rican Secondary Forests. *Caribbean Journal of Science*., 36(3), 346–350.
- GIFFORD, R. 2000. Carbon contents of above-ground tissues of forest and woodland trees. (p. 17). Canberra.
- SOARES, C. and OLIVEIRA, M. L. 2002. Equações para estimar a quantidade de carbono na parte aérea de árvores de eucalipto em viçosa, Minas Gerais. *Árvore*, 26 (5), 533–539.
- ZIANIS, D., MUUKKONEN, P., MÄÄKIPÄÄ, R., 2005. Biomass and stem volume equations for tree species in Europe. *Silva Fennica, Monographs*, 4, 63.
- PARDOS, J. A. 2010. *Los ecosistemas forestales y el secuestro de carbono ante el calentamiento global* (p. 253). Madrid, España: Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria Ministerio de Ciencia e Innovación.

- PARRESOL, B.R. 2001. Additivity of nonlinear biomass equations. *Canadian Journal of Forest Research*, 31, 865–878.
- PARRESOL, B.R. 1999. Assessing tree and stand biomass: a review with examples and critical comparisons. *Forest Science*, 45, 573–593.
- PERLIN, J. 1999. *Historia de los bosques. El significado de la madera en el desarrollo de la civilización*. (GAIA Proyecto 2050, Ed.) (p. 512). Madrid, España.
- PEÑA ZUBIATE, C. A., ANDERSON, D. L., DEMMI, M. A., SAENZ, J. L. y D'HIRIART, A. 1998. *Carta de suelos y vegetación de la provincia de San Luis*. (p. 115). Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación, INTA y Gobierno de la provincia de San Luis.
- PEÑA ZUBIATE, C.A, D'HIRIART, A. 2000. Carta de suelos de la Provincia de San Luis. Hoja Villa Mercedes. In I.-G. de la provincia de S. Luis. (Ed.), (pp. 196– 2 Mapas).
- RUIZ-PEINADO, R., RIO, M., & MONTERO, G. 2011. New models for estimating the carbon sink capacity of Spanish, *20(1)*, 176–188.
- SECRETARÍA DE AMBIENTE Y DESARROLLO SUSTENTABLE DE LA NACION ARGENTINA. 2006. Inventario de campo de la región del Espinal. Distritos Caldén y Ñandubay. Estado de conservación del distrito Caldén.
- SECRETARÍA DE AMBIENTE Y DESARROLLO SUSTENTABLE DE LA NACION ARGENTINA. 2007. Primer Inventario de Bosques Nativos. Inventario de Campo de la Región del Espinal. Distritos Caldén y Ñandubay. Manual de Teledetección.
- STEIBEL, P. 2003. Flora y vegetación de la Provincia de La Pampa. UNLP.
- VIGLIZZO, E. F., & JOBBAGY, E. 2010. Expansión de la Frontera Agropecuaria en Argentina y su Impacto Ecológico-Ambiental Agropecuaria en Argentina y su Impacto Ecológico-Ambiental Editores : (p. 198). I.N.T.A.
- WIRTH C., SCHUMACHER J., S. E. D. 2004. Generic biomass functions for Norway spruce in Central Europe - a meta-analysis approach toward prediction and uncertainty estimation. *Tree Physiology*, 24, 121–139.
- ZINDA, R., ADEMA, E. y RUCCI, T. 2005. Relevamiento fisonómico de la vegetación el área del Caldenal. Publicación Técnica N°60, *INTA Angüil.*, 391 pp.

Anexo I.
Figuras y fotografías.

Figura 1. Balance hídrico mensual en el norte de la región del cardenal (Nueva Galia, San Luis). P: Precipitación. EVP: Evapotranspiración Potencial.
Fuente: Barbosa et al. 2005.



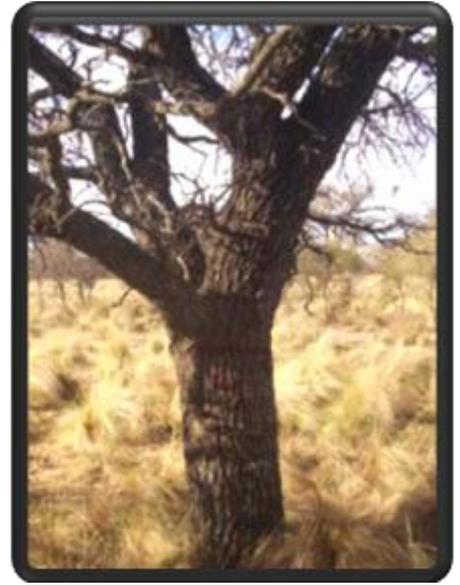
Grupo de Fotos 1. (a) Detalle de las Hojas, (b) Detalle del fruto, (c) Arboles Monofustes, (d) y (e) Arboles Multifustes.



(a)



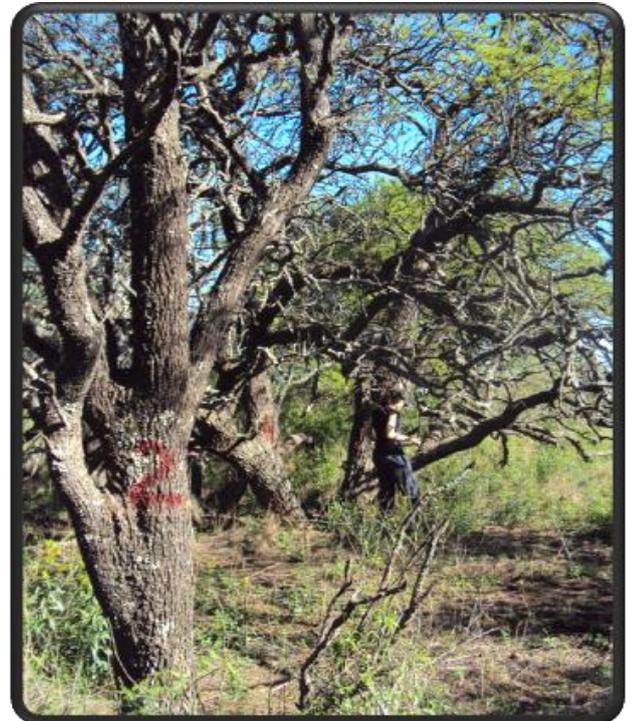
(b)



(c)



(d)



(e)

Grupo de Fotos 2: Vistas generales de la zona de estudio.



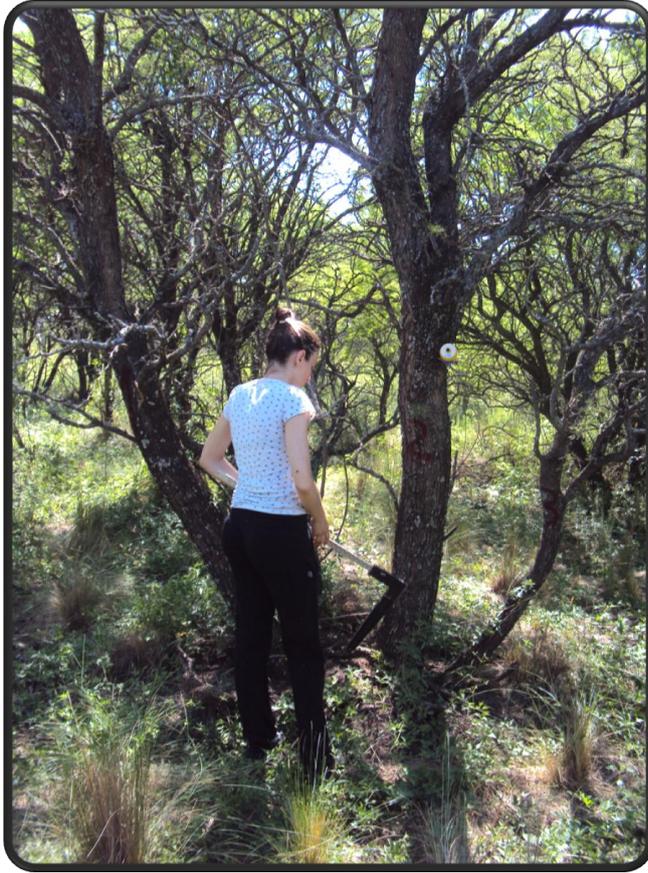
Grupo de Fotos 3: Replanteo de parcelas y toma de datos. a) Replanteo de las parcelas a campo b) Toma de datos. Ancho de copa. c) Toma de datos Diámetros y alturas. d) Toma de muestras dendrocronológicas.



(a)



(b)

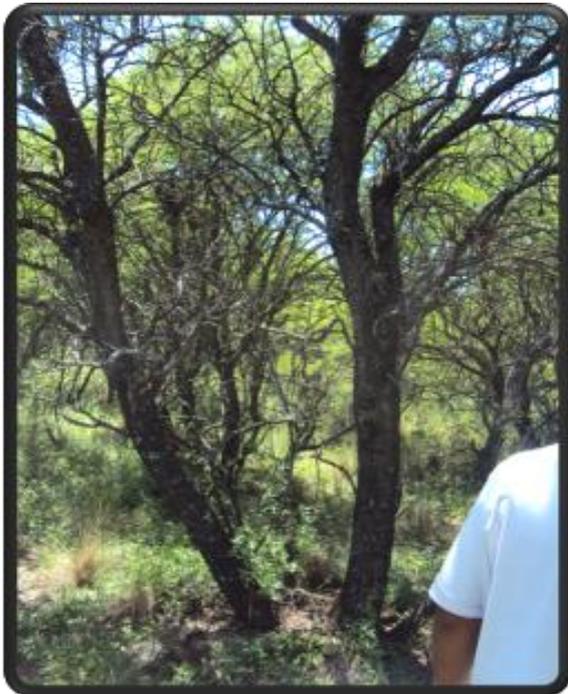


(c)



(d)

Grupo de Fotos 4: Árbol multifuste, con rebrotes basales.



Grupo de Fotos 5: a) Bulldozer desmontando. b) Arboles acordonados para ser quemados. c) Cordones de arboles quemándose.



(a)



(b)



(c)

Grupo de Fotos 6: (a) y (b) Sistema radical extraído. (c) Separando la fracción hojas. (d) Pesando la fracción ramas de 2-7 cm. de diámetro.



(a)



(b)



(c)



(d)

Anexo II. Análisis de datos y métodos estadísticos.

Tabla 1. Clases diamétricas.

Clases diamétricas	Rango de diámetros Basales.	n	% del Total
1	7.5- 12.49	278	43.57
2	12.5-17.49	172	26.96
3	17.5-22.49	98	15.36
4	22.5-27.49	37	5.80
5	27.5-32.49	17	2.66
6	32.5-37.49	17	2.66
7	37.5-42.49	6	0.94
8	42.5-47.49	6	0.94
9	47.5-52.49	5	0.78
10	52.5-57.49	2	0.31

n: Árboles correspondientes a cada clase diamétrica; % del total: Porcentaje de árboles correspondientes a cada clase diamétrica.

II Paso: Con las variables seleccionadas en 1 para cada fracción de biomasa se ejecutó el siguiente scrip en SAS.

a) Importar los datos, transformar y calcular las variables necesarias para ejecutar los modelos.

```
libname bio 'D:\Documents and Settings\lucia\Escritorio';
run;
PROC IMPORT OUT= BIO.ajuste
            DATAFILE= "H:\Tesis\Biomasa\SAS biomasa
calden\AreaBasimetrica.xls"
            DBMS=EXCEL REPLACE;
    RANGE="Hojal$";
    GETNAMES=YES;
    MIXED=NO;
    SCANTEXT=YES;
    USEDATE=YES;
    SCANTIME=YES;
RUN;
data ajuste; set bio.ajuste;
run;
data uno; set ajuste;
d=dbh__cm_;
h=ht_m;
da=DAB;
AB=Area Basimétrica;
bhyr2=(hojas+Ramas2);
d2h=dbh__cm_*dbh__cm_*ht_m;
da2h=DAB*DAB*ht_m;
d2=dbh__cm_*dbh__cm_;
dh=dbh__cm_*ht_m;
```

```
dah=DAB*ht_m;
bf=BIOMMgfuste*1000;
b7=PsMgramas*1000;
br27=(PsMgramillas27*1000);
bh=(PsMghojas)*1000;
br=(PsMgraiz)*1000;
bt=biomasatotal*1000;
br2=PsMgramillas2*1000;
run;
```

b) Ejecutamos cada modelo para la fracción de biomasa de las Hojas más ramillas de <2 cm de diámetro. Con el Área basimétrica y la Altura total como variables independientes.

```
*modelo 1;
proc model data=uno;
  parms a1;
  bhyr2=a1*(ABh);
fit bhyr2 start=(a1=-2.50275)/out=residuosbhyr2;
run;

*modelo 2;
proc model data=uno;
  parms a1;
  bhyr2=a1*(AB2h);
fit bhyr2start=(a1=-2.50275)/out=residuosbhyr2;
run;

*modelo 3;
proc model data=uno;
  parms a1 a2 a3;
  bhyr2=a1*AB+a2*AB2+a3*(AB2h);
fit bhyr2 start=(a1 0.072525 a2 1.887325 a3 0.74115
)/out=residuosbhyr2;
run;

*modelo 4;
proc model data=uno;
  parms a1 a2 a3;
  bhyr2=a1*AB+a2*h;
fit bhyr2 start=(a1 0.072525 a2 1.887325 a3 0.74115 )
/out=residuos bhyr2;
run;

*modelo 5;
proc model data=uno;
  parms a1 a2 a3;
  bhyr2=a1*AB2+a2*(AB2h);
fit bhyr2start=(a1 0.072525 a2 1.887325 a3 0.74115 )
/out=residuosbhyr2;
run;

*modelo 6;
proc model data=uno;
  parms a1 a2 a3;
  bhyr2=a1*AB2+a2*h;
```

```
fit bhyr2 start=(a1 0.072525 a2 1.887325 a3 0.74115 )
/out=residuosbhyr2;
run;

*modelo 7;
proc model data=uno;
  parms a1 a2 a3;
  bhyr2=a1*AB2+a2*h+a3*(AB2h);
fit bhyr2 start=(a1 0.072525 a2 1.887325 a3 0.74115 )
/out=residuosbhyr2;
run;

*modelo 8;
proc model data=uno;
  parms a1 a2 a3;
  bhyr2=a1*(AB2h)+a2*(ABh);
fit bhyr2 start=(a1 0.072525 a2 1.887325 a3 0.74115 )
/out=residuosbhyr2;
run;

*modelo 9;
proc model data=uno;
  parms a1 a2 a3;
  bhyr2=a1*(AB2)+a2*(ABh)+a3*(AB2h);
fit bhyr2 start=(a1 0.072525 a2 1.887325 a3 0.74115 )
/out=residuosbhyr2;
run;

*modelo 10;
proc model data=uno;
  parms a1 a2 a3;
  bhyr2 =a1*(AB**a2)*(h**a3);
fit bhyr2 start=(a1 0.072525 a2 1.887325 a3 0.74115 )
/out=residuosbhyr2;
run;

*modelo 11;
proc model data=uno;
  parms a1 a2 a3;
  bhyr2=a1*(AB**a2);
fit bhyr2start=(a1 0.072525 a2 1.887325 a3 0.74115 )
/out=residuosbhyr2;
run;

*modelo 12;
proc model data=uno;
  parms a1 a2 a3;
  bhyr2=a1*((AB2h)**a2);
fit bhyr2 start=(a1 0.072525 a2 1.887325 a3 0.74115 )
/out=residuosbhyr2;
run;
```

A continuación se presenta la tabla de resultados de todos los modelos para la fracción analizada:

Fracción : Ramillas < 2						
Modelo	SSE	Raíz MSE	R 2- Adj.	Parámetro	Estimador	P. Valor
1	1410.1	6.1734	0.0461	a ₁	0.006322	<.0001
2	1668.4	6.7150	-0.1286	a ₁	0.000016	<.0001
3	733.2	4.5771	0.4756	a ₁	0.045271	<.0001
				a ₂	-3.12E-6	0.8262
				a ₃	-4.64E-6	0.1943
4	760.2	4.5953	0.4714	a ₁	0.033125	<.0001
				a ₂	0.182935	0.4432
5	1330.6	6.0795	0.0749	a ₁	0.000044	0.0046
				a ₂	6.855E-6	0.0707
6	789.1	4.6817	0.4514	a ₁	0.000047	<.0001
				a ₂	0.92551	<.0001
7	782.3	4.7278	0.4405	a ₁	0.000052	<.0001
				a ₂	0.982485	<.0001
				a ₃	-1.84E-6	0.5864
8	1408.8	6.2556	0.0205	a ₁	1.124E-6	0.8559
				a ₂	0.005929	0.0143
9	793.1	4.7603	0.4328	a ₁	0.000063	<.0001
				a ₂	0.009001	<.0001
				a ₃	-0.00002	0.0031
10	716.7	4.5250	0.4875	a ₁	0.203452	0.3162
				a ₂	0.756003	<.0001
				a ₃	-0.2151	0.1948
11	753.0	4.5733	0.4765	a ₁	0.08577	0.2166
				a ₂	0.852797	<.0001
12	976.5	5.2081	0.3211	a ₁	0.119457	0.3718
				a ₂	0.346845	0.0003

Tabla 2: Resultados de los modelos evaluados para la fracción Hojas más ramillas de < 2 cm de diámetro.

Para esta fracción de biomasa, el modelo mejor es el N° 6. A continuación graficamos los árboles y eliminamos los outs layers, con el fin de optimizar el ajuste.

```
*modelo6;
Data dos; set uno;
if Arbol= 34 or Arbol= 22 or Arbol=33 then delete;
run;
proc model data=dos;
  parms a1 a2 a3;
  bhyr2=a1*AB2+a2*h;
fit bhyr2 start=(a1 0.072525 a2 1.887325 a3 0.74115
)/out=residuosbhyr2;
```

```
run;

proc gplot data=dos;
plot br2*d;
run;
```

Resultados finales del modelo seleccionado. En observaciones se especifican los árboles que fueron eliminados de la base de datos.

Fracción: Ramas < 2							
Modelo	SSE	Raíz MSE	R 2- Adj.	Parámetro	Estimador	P. Valor	Observaciones
6	302.1	3.0256	0.7140	a ₁	0.000042	<.0001	22-33-34
				a ₂	0.719539	<.0001	

Tabla 3. Ajuste final del modelo seleccionado y out layers eliminados.

c) Ejecutamos cada modelo para la fracción de biomasa Fuste. Con el Área Basimétrica y la Altura total como variables independientes.

```
*modelo 1;
proc model data=uno;
  parms a1;
  bf=a1*(ABh);
fit bf start=(a1=-2.50275)/out=residuosbf;
run;

*modelo 2;
proc model data=uno;
  parms a1;
  bf=a1*(AB2h);
fit bf start=(a1=-2.50275)/out=residuosbf;
run;

*modelo 3;
proc model data=uno;
  parms a1 a2 a3;
  bf=a1*AB+a2*AB2+a3*(AB2h);
fit bf start=(a1 0.072525 a2 1.887325 a3 0.74115 )/out=residuosbf;
run;

*modelo 4;
proc model data=uno;
  parms a1 a2 a3;
  bf=a1*AB+a2*h;
fit bf start=(a1 0.072525 a2 1.887325 a3 0.74115 )/out=residuosbf;
run;

*modelo 5;
proc model data=uno;
  parms a1 a2 a3;
  bf=a1*AB2+a2*(AB2h);
fit bf start=(a1 0.072525 a2 1.887325 a3 0.74115 )/out=residuosbf;
run;

*modelo 6;
proc model data=uno;
```

```
      parms a1 a2 a3;
      bf=a1*AB2+a2*h;
fit bf start=(a1 0.072525 a2 1.887325 a3 0.74115 )/out=residuosbf;
run;
*modelo 7;
proc model data=uno;
      parms a1 a2 a3;
      bf=a1*AB2+a2*h+a3*(AB2h);
fit bf start=(a1 0.072525 a2 1.887325 a3 0.74115 )/out=residuosbf;
run;
*modelo 8;
proc model data=uno;
      parms a1 a2 a3;
      bf=a1*(AB2h)+a2*(ABh);
fit bf start=(a1 0.072525 a2 1.887325 a3 0.74115 )/out=residuosbf;
run;
*modelo 9;
proc model data=uno;
      parms a1 a2 a3;
      bf=a1*(AB2)+a2*(ABh)+a3*(AB2h);
fit bf start=(a1 0.072525 a2 1.887325 a3 0.74115 )/out=residuosbf;
run;

*modelo 10;
proc model data=uno;
      parms a1 a2 a3;
      bf=a1*(AB**a2)*(h**a3);
fit bf start=(a1 0.072525 a2 1.887325 a3 0.74115 )/out=residuosbf;
run;

*modelo 11;
proc model data=uno;
      parms a1 a2 a3;
      bf=a1*(AB**a2);
fit bf start=(a1 0.072525 a2 1.887325 a3 0.74115 )/out=residuosbf;
run;

*modelo 12;
proc model data=uno;
      parms a1 a2 a3;
      bf=a1*((AB2h)**a2);
fit bf start=(a1 0.072525 a2 1.887325 a3 0.74115 )/out=residuosbf;
run;
```

A continuación se presenta la tabla de resultados de todos los modelos para la fracción analizada:

Fracción: Fuste						
Modelo	SSE	Raíz MSE	R 2- Adj.	Parámetro	Estimador	P. Valor
1	2421.9	8.0905	0.4020	a ₁	0.010863	<.0001
2	2580.7	8.3516	0.3628	a ₁	0.000029	<.0001
3	1004.9	5.3582	0.7377	a ₁	0.051331	<.0001
				a ₂	0.000015	0.3804
				a ₃	1.627E-6	0.6944
4	1034.5	5.3605	0.7375	a ₁	0.060757	<.0001
				a ₂	-0.02745	0.9211
5	1772.8	7.0174	0.5501	a ₁	0.000068	0.0003
				a ₂	0.000015	0.0014
6	1005.4	5.2846	0.7449	a ₁	0.000089	<.0001
				a ₂	1.31608	<.0001
7	971.3	5.2679	0.7465	a ₁	0.000078	<.0001
				a ₂	1.187926	<.0001
				a ₃	4.147E-6	0.2752
8	2264.2	7.9306	0.4254	a ₁	0.000012	0.1221
				a ₂	0.006547	0.0311
9	969.9	5.2641	0.7469	a ₁	0.000091	<.0001
				a ₂	0.011002	<.0001
				a ₃	-0.00002	0.0142
10	1018.0	5.3931	0.7343	a ₁	0.034397	0.2602
				a ₂	1.090603	<.0001
				a ₃	0.018358	0.8773
11	1018.7	5.3194	0.7415	a ₁	0.037838	0.1115
				a ₂	1.078746	<.0001
12	1600.5	6.6678	0.5939	a ₁	0.023869	0.3354
				a ₂	0.509507	<.0001

Tabla 6: Resultados de lo modelos evaluados para la fracción Fuste.

El modelo que mejor ajuste presento es el N° 6, graficamos los árboles y eliminamos los outs layers.

```
*modelo ;
data fuste; set uno;
  if arbol= 2 or Arbol= 22 or Arbol= 33 then delete;
run;
proc model data=fuste;
  parms a1 a2 a3;
  bf=a1*AB2+a2*h;
fit bf start=(a1 0.072525 a2 1.887325 a3 0.74115 )/out=residuosbf;
run;
```

```
proc gplot data= uno;
plot bf*AB;
run;
```

Resultados finales del modelo seleccionado. En observaciones se especifican los árboles que fueron eliminados de la base de datos:

Variable: Fuste							
Modelo	SSE	Raíz MSE	R 2-adj.	Parámetro	Estimador	P. Valor	Observaciones
6	625.6	4.4214	0.8157	a ₁	0.000088	<.0001	2-22-33
				a ₂	1.247103	<.0001	

Tabla 7. Ajuste final del modelo seleccionado y out layers eliminados.

d) Ejecutamos cada modelo para la fracción de biomasa Ramas de más e 7 cm. de diámetro. Con el Área basimétrica y la Altura total como variables independientes.

```
*modelo 1;
proc model data=uno;
  parms a1;
  b7=a1*(ABh);
fit b7 start=(a1=-2.50275)/out=residuosb7;
run;

*modelo 2;
proc model data=uno;
  parms a1;
  b7=a1*(AB2h);
fit b7 start=(a1=-2.50275)/out=residuosb7;
run;

*modelo 3;
proc model data=uno;
  parms a1 a2 a3;
  b7=a1*AB+a2*AB2+a3*(AB2h);
fit b7 start=(a1 0.072525 a2 1.887325 a3 0.74115 )/out=residuosb7;
run;

*modelo 4;
proc model data=uno;
  parms a1 a2 a3;
  b7=a1*AB+a2*h;
fit b7 start=(a1 0.072525 a2 1.887325 a3 0.74115 )/out=residuosb7;
run;

*modelo 5;
proc model data=uno;
  parms a1 a2 a3;
  b7=a1*AB2+a2*(AB2h);
fit b7 start=(a1 0.072525 a2 1.887325 a3 0.74115 )/out=residuosb7;
run;

*modelo 6;
proc model data=uno;
  parms a1 a2 a3;
  b7=a1*AB2+a2*h;
```

```
fit b7 start=(a1 0.072525 a2 1.887325 a3 0.74115 )/out=residuosb7;
run;
*modelo 7;
proc model data=uno;
  parms a1 a2 a3;
  b7=a1*AB2+a2*h+a3*(AB2h);
fit b7 start=(a1 0.072525 a2 1.887325 a3 0.74115 )/out=residuosb7;
run;
*modelo 8;
proc model data=uno;
  parms a1 a2 a3;
  b7=a1*(AB2h)+a2*(ABh);
fit b7 start=(a1 0.072525 a2 1.887325 a3 0.74115 )/out=residuosb7;
run;
*modelo 9;
proc model data=uno;
  parms a1 a2 a3;
  br27=a1*(AB2)+a2*(ABh)+a3*(AB2h);
fit br27 start=(a1 0.072525 a2 1.887325 a3 0.74115 )/out=residuosbr27;
run;
*modelo 10;
proc model data=uno;
  parms a1 a2 a3;
  b7=a1*(AB**a2)*(h**a3);
fit b7 start=(a1 0.072525 a2 1.887325 a3 0.74115 )/out=residuosb7;
run;
*modelo 11;
proc model data=uno;
  parms a1 a2 a3;
  b7=a1*(AB**a2);
fit b7 start=(a1 0.072525 a2 1.887325 a3 0.74115 )/out=residuosb7;
run;
*modelo 12;
proc model data=uno;
  parms a1 a2 a3;
  b7=a1*((AB2h)**a2);
fit b7 start=(a1 0.072525 a2 1.887325 a3 0.74115 )/out=residuosb7;
run;
```

A continuación se presenta la tabla de resultados de todos los modelos para la fracción analizada:

Fracción: Ramas > 7						
Modelo	SSE	Raíz MSE	R 2- Adj.	Parámetro	Estimador	P. Valor
1	1962.1	7.2822	0.3410	a ₁	0.009305	<.0001
2	2509.7	8.2359	0.1571	a ₁	0.000023	<.0001
3	1209.6	5.8788	0.5705	a ₁	0.058722	<.0001
				a ₂	-0.00002	0.2762
				a ₃	7.199E-8	0.9873
4	1231.4	5.8485	0.5750	a ₁	0.046443	<.0001
				a ₂	0.235158	0.4386
5	2214.6	7.8433	0.2356	a ₁	0.000041	0.0351
				a ₂	0.000015	0.0032
6	1477.6	6.4065	0.4900	a ₁	0.000063	<.0001
				a ₂	1.314007	<.0001
7	1435.3	6.4039	0.4904	a ₁	0.000051	0.0023
				a ₂	1.171372	0.0001
				a ₃	4.616E-6	0.3172
8	1958.4	7.3756	0.3240	a ₁	1.901E-6	0.7946
				a ₂	0.008641	0.0030
9	457.0	3.6136	0.5559	a ₁	0.000044	<.0001
				a ₂	0.009686	<.0001
				a ₃	-0.00002	0.0012
10	1215.7	5.8936	0.5684	a ₁	0.081114	0.3235
				a ₂	0.904986	<.0001
				a ₃	0.057863	0.7179
11	1220.6	5.8227	0.5787	a ₁	0.101906	0.1825
				a ₂	0.879983	<.0001
12	1421.9	6.2848	0.5092	a ₁	0.055241	0.3404
				a ₂	0.433518	<.0001

Tabla 8: Resultados de los modelos evaluados para la fracción Ramas de más de 7 cm. de diámetro.

El modelo que mejor ajuste presento es el N° 6, graficamos los árboles y eliminamos los outs layers.

```
*modelo6;
```

```
data br7; set uno;
if arbol= 33 or Arbol= 11 or Arbol =25 or Arbol= 31 or Arbol=6 then
delete;
run;
```

```
proc model data=br7;
parms a1 a2 a3;
b7=a1*AB2+a2*h;
```

```
fit b7 start=(a1 0.072525 a2 1.887325 a3 0.74115 )/out=residuosb7;
run;

proc gplot data= uno;
plot b7*d;
run;
```

Resultados finales del modelo seleccionado. En observaciones se especifican los árboles que fueron eliminados de la base de datos:

Fracción: Ramas > 7							
Modelo	SSE	Raíz MSE	R 2- Adj.	Parámetro	Estimador	P. Valor	Observaciones
6	476.9	4.0553	0.7573	a ₁	0.000063	<.0001	33-11-25-6-31
				a ₂	1.086934	<.0001	

Tabla 9. Ajuste final del modelo seleccionado y out layers eliminados.

e) Ejecutamos cada modelo para la fracción de biomasa Ramas con diámetro entre 2-7 cm. Con el Area basimétrica y Altura total como variables independientes.

```
*modelo 1;
proc model data=uno;
  parms a1;
  br27=a1*(ABh);
fit br27 start=(a1=-2.50275)/out=residuosbr27;
run;

*modelo 2;
proc model data=uno;
  parms a1;
  br27=a1*(AB2h);
fit br27 start=(a1=-2.50275)/out=residuosbr27;
run;

*modelo 3;
proc model data=uno;
  parms a1 a2 a3;
  br27=a1*AB+a2*AB2+a3*(AB2h);
fit br27 start=(a1 0.072525 a2 1.887325 a3 0.74115 )/out=residuosbr27;
run;

*modelo 4;
proc model data=uno;
  parms a1 a2 a3;
  br27=a1*AB+a2*h;
fit br27 start=(a1 0.072525 a2 1.887325 a3 0.74115 )/out=residuosbr27;
run;

*modelo 5;
proc model data=uno;
  parms a1 a2 a3;
  br27=a1*AB2+a2*(AB2h);
fit br27 start=(a1 0.072525 a2 1.887325 a3 0.74115 )/out=residuosbr27;
run;

*modelo 6;
proc model data=uno;
  parms a1 a2 a3;
  br27=a1*AB2+a2*h;
fit br27 start=(a1 0.072525 a2 1.887325 a3 0.74115 )/out=residuosbr27;
run;
```

```
*modelo 7;
proc model data=uno;
  parms a1 a2 a3;
  br27=a1*AB2+a2*h+a3*(AB2h);
fit br27 start=(a1 0.072525 a2 1.887325 a3 0.74115 )/out=residuosbr27;
run;
*modelo 8;
proc model data=uno;
  parms a1 a2 a3;
  br27=a1*(AB2h)+a2*(ABh);
fit br27 start=(a1 0.072525 a2 1.887325 a3 0.74115 )/out=residuosbr27;
run;
*modelo 9;
proc model data=uno;
  parms a1 a2 a3;
  br27=a1*(AB2)+a2*(ABh)+a3*(AB2h);
fit br27 start=(a1 0.072525 a2 1.887325 a3 0.74115 )/out=residuosbr27;
run;
*modelo 10;
proc model data=uno;
  parms a1 a2 a3;
  br27=a1*(AB**a2)*(h**a3);
fit br27 start=(a1 0.072525 a2 1.887325 a3 0.74115 )/out=residuosbr27;
run;
*modelo 11;
proc model data=uno;
  parms a1 a2 a3;
  br27=a1*(AB**a2);
fit br27 start=(a1 0.072525 a2 1.887325 a3 0.74115 )/out=residuosbr27;
run;
*modelo 12;
proc model data=uno;
  parms a1 a2 a3;
  br27=a1*((AB2h)**a2);
fit br27 start=(a1 0.072525 a2 1.887325 a3 0.74115 )/out=residuosbr27;
run;
```

A continuación se presenta la tabla de resultados de todos los modelos para la fracción analizada:

Fracción: Ramas de 2-7 cm. de diámetro.						
Modelo	SSE	Raíz MSE	R 2- Adj.	Parámetro	Estimador	P. Valor
1	764.0	4.5440	0.2977	a ₁	0.006849	<.0001
2	1178.9	5.6446	-0.0837	a ₁	0.000017	<.0001
3	446.0	3.5697	0.5666	a ₁	0.046619	<.0001
				a ₂	-0.00002	0.0311
				a ₃	7.683E-8	0.9778
4	427.3	3.4452	0.5963	a ₁	0.028497	<.0001
				a ₂	0.469657	0.0117
5	1079.4	5.4758	-0.0199	a ₁	0.000024	0.0769
				a ₂	0.000012	0.0010
6	485.6	3.6729	0.5411	a ₁	0.00004	<.0001
				a ₂	1.120331	<.0001
7	470.6	3.6670	0.5426	a ₁	0.000033	0.0008
				a ₂	1.035317	<.0001
				a ₃	2.751E-6	0.2981
8	760.0	4.5948	0.2819	a ₁	-1.95E-6	0.6682
				a ₂	0.007531	<.0001
9	457.0	3.6136	0.5559	a ₁	0.000044	<.0001
				a ₂	0.009686	<.0001
				a ₃	-0.00002	0.0012
10	429.0	3.5012	0.5830	a ₁	0.122364	0.1904
				a ₂	0.769789	<.0001
				a ₃	0.091319	0.5074
11	434.7	3.4750	0.5893	a ₁	0.166642	0.0888
				a ₂	0.739358	<.0001
12	480.1	3.6520	0.5463	a ₁	0.094527	0.1965
				a ₂	0.368444	<.0001

Tabla 10: Resultados de los modelos evaluados para la fracción Ramas de 2-7 cm. de diámetro

El modelo que mejor ajuste presento es el N° 6, graficamos los árboles y eliminamos los outs layers.

```
*modelo 6;
data br27; set uno;
if Arbol=11 or Arbol=22 then delete;
run;
proc model data=br27;
    parms a1 a2 a3;
    br27=a1*AB2+a2*h;
fit br27 start=(a1 0.072525 a2 1.887325 a3 0.74115 )/out=residuosbr27;
run;

proc gplot data=uno;
plot br27*da;
```

run;

Resultados finales del modelo seleccionado. En observaciones se especifican los arboles que fueron eliminados de la base de datos:

Variable: Ramas de 2-7 cm. de diámetro.							
Modelo	SSE	Raíz MSE	R 2-Adj.	Parámetro	Estimador	P. Valor	Observaciones
6	304.7	3.0857	0.6577	a ₁	0.00004	<.0001	11-22
				a ₂	1.068399	<.0001	

Tabla 11. Ajuste final del modelo seleccionado y out layers eliminados.

f) Ejecutamos cada modelo para la Biomasa Total. Con el Area basimétrica y la Altura total como variables independientes.

```
*modelo 1;
proc model data=uno;
  parms a1;
  bt=a1*(ABh);
fit bt start=(a1=-2.50275)/out=residuosbt;
run;
*modelo 2;
proc model data=uno;
  parms a1;
  bt=a1*(AB2h);
fit bt start=(a1=-2.50275)/out=residuosbt;
run;
*modelo 3;
proc model data=uno;
  parms a1 a2 a3;
  bt=a1*AB+a2*AB2+a3*(AB2h);
fit bt start=(a1 0.072525 a2 1.887325 a3 0.74115 )/out=residuosbt;
run;
*modelo 4;
proc model data=uno;
  parms a1 a2 a3;
  bt=a1*AB+a2*h;
fit bt start=(a1 0.072525 a2 1.887325 a3 0.74115 )/out=residuosbt;
run;
*modelo 5;
proc model data=uno;
  parms a1 a2 a3;
  bt=a1*AB2+a2*(AB2h);
fit bt start=(a1 0.072525 a2 1.887325 a3 0.74115 )/out=residuosbt;
run;
*modelo 6;
proc model data=uno;
  parms a1 a2 a3;
  bt=a1*AB2+a2*h;
fit bt start=(a1 0.072525 a2 1.887325 a3 0.74115 )/out=residuosbt;
run;
*modelo 7;
proc model data=uno;
  parms a1 a2 a3;
```

```
        bt=a1*AB2+a2*h+a3*(AB2h);
fit bt start=(a1 0.072525 a2 1.887325 a3 0.74115 )/out=residuosbt;
run;
*modelo 8;
proc model data=uno;
    parms a1 a2 a3;
    bt=a1*(AB2h)+a2*(ABh);
fit bt start=(a1 0.072525 a2 1.887325 a3 0.74115 )/out=residuosbt;
run;
*modelo 9;
proc model data=uno;
    parms a1 a2 a3;
    bt=a1*(AB2)+a2*(ABh)+a3*(AB2h);
fit bt start=(a1 0.072525 a2 1.887325 a3 0.74115 )/out=residuosbt;
run;
*modelo 10;
proc model data=uno;
    parms a1 a2 a3;
    bt=a1*(AB**a2)*(h**a3);
fit bt start=(a1 0.072525 a2 1.887325 a3 0.74115 )/out=residuosbt;
run;
*modelo 11;
proc model data=uno;
    parms a1 a2 a3;
    bt=a1*(AB**a2);
fit bt start=(a1 0.072525 a2 1.887325 a3 0.74115 )/out=residuosbt;
run;
*modelo 12;
proc model data=uno;
    parms a1 a2 a3;
    bt=a1*((AB2h)**a2);
fit bt start=(a1 0.072525 a2 1.887325 a3 0.74115 )/out=residuosbt;
run;
```

A continuación se presenta la tabla de resultados de todos los modelos para la fracción analizada:

Fracción: Biomasa Total						
Modelo	SSE	Raíz MSE	R 2- Adj.	Parámetro	Estimador	P. Valor
1	41001.6	33.2889	0.3843	a ₁	0.051446	<.0001
2	54132.2	38.2496	0.1871	a ₁	0.000131	<.0001
3	14624.4	20.4412	0.7678	a ₁	0.307723	<.0001
				a ₂	-0.00006	0.3543
				a ₃	-5.72E-7	0.9711
4	14321.3	19.9453	0.7790	a ₁	0.259533	<.0001
				a ₂	1.339096	0.1992
5	42223.1	34.2471	0.3483	a ₁	0.000261	0.0030
				a ₂	0.000078	0.0006
6	17891.7	22.2933	0.7239	a ₁	0.000366	<.0001
				a ₂	7.220017	<.0001
7	17190.4	22.1620	0.7271	a ₁	0.000317	<.0001
				a ₂	6.638825	<.0001
				a ₃	0.000019	0.2402
8	40412.2	33.5047	0.3763	a ₁	0.000024	0.4734
				a ₂	0.043103	0.0013
9	16526.4	21.7298	0.7377	a ₁	0.000391	<.0001
				a ₂	0.062239	<.0001
				a ₃	-0.0001	0.0007
10	14427.7	20.3032	0.7710	a ₁	0.473311	0.1157
				a ₂	0.909259	<.0001
				a ₃	0.010444	0.9145
11	14432.5	20.0226	0.7773	a ₁	0.494931	0.0352
				a ₂	0.904156	<.0001
12	22836.3	25.1861	0.6476	a ₁	0.31697	0.1876
				a ₂	0.431045	<.0001

Tabla 12: Resultados de lo modelos evaluados para la Biomasa Total.

El modelo que mejor ajuste presento es el N° 6 , graficamos los árboles y eliminamos los outs layers.

```
*modelo 1;
data bt; set uno;
if Arbol=11 or Arbol=24 or Arbol= 27 then delete;
run;

proc model data=bt;
    parms a1 a2 a3;
    bt=a1*AB2+a2*h;
fit bt start=(a1 0.072525 a2 1.887325 a3 0.74115 )/out=residuosbt;
run;
```

```
proc gplot data=uno;
plot bt*da;
run;
```

Resultados finales del modelo seleccionado. En observaciones se especifican los árboles que fueron eliminados de la base de datos:

Fracción: Biomasa Total.							
Modelo	SSE	Raiz MSE	R 2-adj	Parámetro	Estimador	P. Valor	Observaciones
6	13465.5	21.1861	0.7764	a ₁	0.000366	<.0001	11-24-27
				a ₂	7.558194	<.0001	

Tabla 13. Ajuste final del modelo seleccionado y out layers eliminados.

g) Ejecutamos cada modelo para la fracción de Raíces. Con el Diámetro en la base y Altura total como variables independientes.

```
*modelo 1;
proc model data=uno;
  parms a1;
  br=a1*(ABh);
fit br start=(a1=-2.50275)/out=residuosbr;
run;

*modelo2;
proc model data=uno;
  parms a1;
  br=a1*(AB2h);
fit br start=(a1=-2.50275)/out=residuosbt;
run;

*modelo 3;
proc model data=uno;
  parms a1 a2 a3;
  br=a1*AB+a2*AB2+a3*(AB2h);
fit br start=(a1 0.072525 a2 1.887325 a3 0.74115 )/out=residuosbr;
run;

*modelo 4;
proc model data=uno;
  parms a1 a2 a3;
  br=a1*AB+a2*h;
fit br start=(a1 0.072525 a2 1.887325 a3 0.74115 )/out=residuosbr;
run;

*modelo 5;
proc model data=uno;
  parms a1 a2 a3;
  br=a1*AB2+a2*(AB2h);
fit br start=(a1 0.072525 a2 1.887325 a3 0.74115 )/out=residuosbr;
run;

*modelo 6;
proc model data=uno;
  parms a1 a2 a3;
  br=a1*AB2+a2*h;
fit br start=(a1 0.072525 a2 1.887325 a3 0.74115 )/out=residuosbr;
run;
```

```
*modelo 7;
proc model data=uno;
  parms a1 a2 a3;
  br=a1*AB2+a2*h+a3*(AB2h);
fit br start=(a1 0.072525 a2 1.887325 a3 0.74115 )/out=residuosbr;
run;

*modelo 8;
proc model data=uno;
  parms a1 a2 a3;
  br=a1*(AB2h)+a2*(ABh);
fit br start=(a1 0.072525 a2 1.887325 a3 0.74115 )/out=residuosbr;
run;

*modelo 9;
proc model data=uno;
  parms a1 a2 a3;
  br=a1*(AB2)+a2*(ABh)+a3*(AB2h);
fit br start=(a1 0.072525 a2 1.887325 a3 0.74115 )/out=residuosbr;
run;

*modelo 10;
proc model data=uno;
  parms a1 a2 a3;
  br=a1*(AB**a2)*(h**a3);
fit br start=(a1 0.072525 a2 1.887325 a3 0.74115 )/out=residuosbr;
run;

*modelo 11;
proc model data=uno;
  parms a1 a2 a3;
  br=a1*(AB**a2);
fit br start=(a1 0.072525 a2 1.887325 a3 0.74115 )/out=residuosbr;
run;

*modelo 12;
proc model data=uno;
  parms a1 a2 a3;
  br=a1*((AB2h)**a2);
fit br start=(a1 0.072525 a2 1.887325 a3 0.74115 )/out=residuosbr;
run;
```

A continuación se presenta la tabla de resultados de todos los modelos para la fracción analizada:

Fracción: Raíces						
Modelo	SSE	Raíz MSE	R 2- Adj.	Parámetro	Estimador	P. Valor
1	5706.9	12.4194	0.3596	a ₁	0.018107	<.0001
2	7137.1	13.8887	0.1991	a ₁	0.000046	<.0001
3	2638.7	8.6828	0.6870	a ₁	0.105779	<.0001
				a ₂	-0.00003	0.3390
				a ₃	2.296E-6	0.7323
4	2626.7	8.5419	0.6970	a ₁	0.090711	<.0001
				a ₂	0.478797	0.2822
5	5899.8	12.8017	0.3195	a ₁	0.000084	0.0093
				a ₂	0.000029	0.0006
6	3159.9	9.3689	0.6355	a ₁	0.000127	<.0001
				a ₂	2.54409	<.0001
7	2994.4	9.2496	0.6448	a ₁	0.000103	<.0001
				a ₂	2.261725	<.0001
				a ₃	9.137E-6	0.1730
8	5594.0	12.4655	0.3548	a ₁	0.00001	0.3996
				a ₂	0.014455	0.0033
9	3060.9	9.3518	0.6369	a ₁	0.000127	<.0001
				a ₂	0.020687	<.0001
				a ₃	-0.00003	0.0135
10	2622.8	8.6566	0.6889	a ₁	0.144042	0.1965
				a ₂	0.923978	<.0001
				a ₃	0.048642	0.6839
11	2635.7	8.5565	0.6960	a ₁	0.178473	0.0808
				a ₂	0.899096	<.0001
12	3533.4	9.9071	0.5925	a ₁	0.098136	0.2433
				a ₂	0.440703	<.0001

Tabla 14: Resultados de los modelos evaluados para la Biomasa Total.

El modelo que mejor ajuste presento es el N° 6, graficamos los 0.5925 árboles y eliminamos los outs layers.

```
*modelo 6;
data br; set uno;
if Arbol = 11 or Arbol = 24 or Arbol = 27 then delete;
run;
proc model data=br;
    parms a1 a2 a3;
    br=a1*AB2+a2*h;
fit br start=(a1 0.072525 a2 1.887325 a3 0.74115 )/out=residuosbr;
run;
proc gplot data=uno;
plot br*da ;
```

run;

Resultados finales del modelo seleccionado. En observaciones se especifican los árboles que fueron eliminados de la base de datos:

Fracción: Raíces							
Modelo	SSE	Raíz MSE	R 2- Adj.	Parámetro	Estimador	P. Valor	Observaciones
6	2341.5	8.8346	0.6987	a ₁	0.000126	<.0001	11-24-27
				a ₂	2.71165	<.0001	

Tabla 15. Ajuste final del modelo seleccionado y out layers eliminados.

III Paso: Ajuste simultáneo de los modelos seleccionados. En esta etapa, se corrigió la heterocedasticidad, se analizaron los residuos estudentizados, se calcularon los parámetros finales de la ecuación y aseguramos la propiedad de aditividad de los modelos seleccionados ajustándolos de manera simultánea.

a) Calculamos el peso de la fracción Hojas mas Ramillas de < 2 cm de diámetro., el modelo que mejor se ajusto fue el N° 6 :

```
proc nlin data=uno method=marquardt;
model bhyr2=a1*AB2+a2*h;
parameters a1 0.000042 a2 0.719539; /*ACA VA EL PARAMETRO QUE SALIO
EN EL PASO ANTERIOR*/
output sse=est out=tres r=r p=p student=st ;
/*estimamos parametros sin aplicar peso*/
run;
proc gplot data=tres;
axis2 label=(a=90 r=0 'Hojas' );
plot st*d=1 /vref=0 vaxis= -2 to 4 by 1 haxis=0 to 18 by 1
grid overlay legend=none;
symbol1 value=dot height=0.5 cv= black ci= black width=2
interpol=none;
legend1 label= none frame cframe=white cborder=black position=center
value=(justify=center);
run;

* Si el análisis grafico de los residuos indica que hay
heterocedasticidad ejecutamos lo siguiente;
data cuatro; set tres;
r2=r*r;
lr=log(r2);run;
*calculo el peso;
proc reg data=cuatro;
model lr=ld2h;
run;
quit;
/*obtenemos el peso (k o ID que pondremos en el siguiente paso*/
data cinco;
set cuatro;
peso=1/((AB2h** -0.00000139)); /*cambiar peso según el resultado
anterior*/
```

```
run;
proc nlin data=cinco;
model bhyr2=a1*AB2+a2*h; _weight_=peso; /*cambiar formula
bfy7,br7,br27,br2,ba,bh,bt*/
parameters a1 0.000042 a2 0.719539; /*parametros que estimamos en la
primera parte, no hace falt acambiarlo es un valor inicial*/
output out=seis r=r1 p=p1 student=st1 sse=sse;
run;
/*obtenemos los parámetros finales de la ecuación*/
data siete; set seis;
rp=st1*(peso**0.5);
run;
proc gplot;
plot rp*p1=1;
symbol1 v=circle c=blue;
run;
quit;
*para ver cuales son los anómalos;
data ver; set siete;
if rp> 0.06;
proc print;
run;
```

b) Calculamos el peso de las Ramillas de 2-7 cm de diámetro, el modelo que mejor se ajusto fue el N°6

```
proc nlin data=br27 method=marquardt;
model br27=a1*AB2+a2*h;
parameters a1 0.00004 a2 1.068399; /*ACA VA EL PARAMETRO QUE SALIO EN
EL PASO ANTERIOR*/
output sse=est out=tres r=r p=p student=st ;
/*estimamos parametros sin aplicar peso*/
run;

proc gplot data=tres;
axis2 label=(a=90 r=0 'Ramas <2' );
plot st*da=1 /vref=0 vaxis= -2 to 3 by 1 haxis=7 to 25 by 1
grid overlay legend=none;
symbol1 value=dot height=0.5 cv= black ci= black width=2
interpol=none;
legend1 label= none frame cframe=white cborder=black position=center
value=(justify=center);
run;
* Si el analisis grafico de los residuos indica que hay
heterocedasticidad ejecutamos lo siguiente;
data cuatro; set tres;
r2=r*r;
lr=log(r2);run;
*calculo el peso;
proc reg data=cuatro;
model lr=lda2h;
run;
quit;
/*obtenemos el peso (k o ID que pondremos en el siguiente paso*/
data cinco;
set cuatro;
peso=1/((AB2h** 0.17440)); /*cambiar peso según el resultado anterior,
es el estimador del parametro que no es el intercep*/
```

```
run;
proc nlin data=cinco;
model br27=a1*AB2+a2*h; _weight_=peso; /*cambiar formula
bfy7,br7,br27,br2,ba,bh,bt*/
parameters a1 0.00004 a2 1.068399; /*parametros que estimamos en la
primera parte*/
output out=seis r=r1 p=p1 student=st1 sse=sse;
run;
/*obtenemos los parámetros finales de la ecuación*/
data siete; set seis;
rp=st1*(peso**0.5);
run;
proc gplot;
plot rp*p1=1;
symbol1 v=circle c=blue;
run;
quit;
```

c) Calculamos el peso de las Ramillas de > 7 cm de diámetro, el modelo que mejor se ajusto fue el N° 6.

```
proc nlin data=br7 method=marquardt;
model b7= a1*AB2+a2*h;
parameters a1 0.000063 a2 1.086934; /*ACA VA EL PARAMETRO QUE SALIO
EN EL PASO ANTERIOR*/
output sse=est out=tres r=r p=p student=st ;
/*estimamos parametros sin aplicar peso*/
run;

proc gplot data=tres;
axis2 label=(a=90 r=0 'Ramas >7' );
plot st*d=1 /vref=0 vaxis= -2 to 3 by 1 haxis=4 to 25 by 1
grid overlay legend=none;
symbol1 value=dot height=0.5 cv= black ci= black width=2
interpol=none;
legend1 label= none frame=cframe=white cborder=black position=center
value=(justify=center);
run;

* Si el análisis grafico de los residuos indica que hay
heterocedasticidad ejecutamos lo siguiente;
data cuatro; set tres;
r2=r*r;
lr=log(r2);run;
*calculo el peso;
proc reg data=cuatro;
model lr=ld2h;
run;
quit;
/*obtenemos el peso (k o ID que pondremos en el siguiente paso*/
data cinco;
set cuatro;
peso=1/((AB2h** 0.00946)); /*cambiar peso según el resultado
anterior*/
run;
proc nlin data=cinco;
```

```
model b7=a1*AB2+a2*h;      _weight_=peso; /*cambiar formula
bfy7,br7,br27,br2,ba,bh,bt*/
parameters a1 0.000063 a2 1.086934; /*parametros que estimamos en la
primera parte*/
output out=seis r=r1 p=p1 student=st1 sse=sse;
run;
/*obtenemos los parámetros finales de la ecuación*/
data siete; set seis;
rp=st1*(peso**0.5);
run;
proc gplot;
plot rp*p1=1;
symbol1 v=circle c=blue;
run;
quit;

data ver; set siete;
if rp>0.5;
proc print;
run;

data siete; set siete;
if arbol=33 then delete;
run;
proc gplot;
plot rp*p1=1;
symbol1 v=circle c=blue;
run;
quit;
```

d) Calculamos el peso del Fuste, el modelo que mejor se ajustó fué el N° 6.

```
proc nlin data=fuste method=marquardt;
model bf=a1*AB2+a2*h;
parameters a1 0.000088 a2 1.247103; /*ACA VA EL PARAMETRO QUE SALIO
EN EL PASO ANTERIOR*/
output sse=est out=tres r=r p=p student=st ;
/*estimamos parametros sin aplicar peso*/
run;

proc gplot data=tres;
axis2 label=(a=90 r=0 'Fuste' );
plot st*da=1 /vref=0 vaxis= -2 to 3 by 1 haxis=4 to 25 by 1
grid overlay legend=none;
symbol1 value=dot height=0.5 cv= black ci= black width=2
interpol=none;
legend1 label= none frame cframe=white cborder=black position=center
value=(justify=center);
run;
* Si el analisis grafico de los residuos indica que hay
heterocedasticidad ejecutamos lo siguiente;

data cuatro; set tres;
r2=r*r;
lr=log(r2);run;
*calculo el peso;
proc reg data=cuatro;
```

```
model lr=lda2h;
run;
quit;
/*obtenemos el peso (k o ID que pondremos en el siguiente paso*/
data cinco;
set cuatro;
peso=1/((AB2h** 0.56757)); /*cambiar peso según el resultado anterior*/
run;
proc nlin data=cinco;
model bf=a1*AB2+a2*h; _weight_=peso; /*cambiar formula bfy7,br7,br27,br2,ba,bh,bt*/
parameters a1 0.000088 a2 1.247103 ; /*parametros que estimamos en la primera parte*/
output out=seis r=r1 p=p1 student=st1 sse=sse;
run;
/*obtenemos los parámetros finales de la ecuación*/
data siete; set seis;
rp=st1*(peso**0.5);
run;

proc gplot;
plot rp*p1=1;
symbol1 v=circle c=blue;
run;
quit;
```

e) Calculamos el peso de la fracción raíces, el modelo que mejor se ajustó fué el N° 6.

```
proc nlin data=br method=marquardt;
model br= a1*AB2+a2*h;
parameters a1 0.000126 a2 2.71165; /*ACA VA EL PARAMETRO QUE SALIO EN EL PASO ANTERIOR*/
output sse=est out=tres r=r p=p student=st ;
/*estimamos parametros sin aplicar peso*/
run;

proc gplot data=tres;
axis2 label=(a=90 r=0 'Raiz' );
plot st*da=1 /vref=0 vaxis= -2 to 3 by 1 haxis=4 to 25 by 1
grid overlay legend=none;
symbol1 value=dot height=0.5 cv= black ci= black width=2
interpol=none;
legend1 label= none frame cframe=white cborder=black position=center
value=(justify=center);
run;

proc gplot data=tres;
plot st*da=1;
symbol1 v=circle c=blue;
run;quit;
* Si el análisis grafico de los residuos indica que hay heterocedasticidad ejecutamos lo siguiente;
data cuatro; set tres;
r2=r*r;
lr=log(r2);run;
```

```
*calculo el peso;
proc reg data=cuatro;
model lr=lda2h;
run;
quit;
/*obtenemos el peso (k o ID que pondremos en el siguiente paso*/
data cinco;
set cuatro;
peso=1/((AB2h** 0.49281 )); /*cambiar peso según el resultado anterior*/
run;
proc nlin data=cinco;
model br=a1*AB2+a2*h; _weight_=peso; /*cambiar formula bfy7,br7,br27,br2,ba,bh,bt*/
parameters a1 0.000126 a2 2.71165 ; /*parametros que estimamos en la primera parte*/
output out=seis r=r1 p=p1 student=st1 sse=sse;
run;

/*obtenemos los parámetros finales de la ecuación*/
data siete; set seis;
rp=st1*(peso**0.5);
run;
proc gplot data=tres;
axis2 label=(a=90 r=0 'Fuste' );
plot st*d=1 /vref=0 vaxis= -2 to 3 by 1 haxis=4 to 25 by 1
grid overlay legend=none;
symbol1 value=dot height=0.5 cv= black ci= black width=2
interpol=none;
legend1 label= none frame cframe=white cborder=black position=center
value=(justify=center);
run;

proc gplot;
plot rp*p1=1;
symbol1 v=circle c=blue;
run;
quit;

data ver; set siete;
if rp>0.35;
proc print;
run;
```

f) Calculamos el peso de la Biomasa Total, el modelo que mejor se ajustó fue el N°6

```
proc nlin data=bt method=marquardt;
model bt= a1*AB2+a2*h;
parameters a1 0.000366 a2 7.558194 ; /*ACA VA EL PARAMETRO QUE SALIO EN EL PASO ANTERIOR*/
output sse=est out=tres r=r p=p student=st ;
/*estimamos parametros sin aplicar peso*/
run;

proc gplot data=tres;
axis2 label=(a=90 r=0 'Raiz' );
```

```
plot st*da=1 /vref=0 vaxis= -2 to 3 by 1 haxis=4 to 25 by 1
grid overlay legend=none;
symbol1 value=dot height=0.5 cv= black ci= black width=2
interpol=none;
legend1 label= none frame cframe=white cborder=black position=center
value=(justify=center);
run;

proc gplot data=tres;
plot st*da=1;
symbol1 v=circle c=blue;
run;quit;

* Si el análisis grafico de los residuos indica que hay
heterocedasticidad ejecutamos lo siguiente;

data cuatro; set tres;
r2=r*r;
lr=log(r2);run;
*calculo el peso;
proc reg data=cuatro;
model lr=lda2h;
run;
quit;
/*obtenemos el peso (k o ID que pondremos en el siguiente paso*/
data cinco;
set cuatro;
peso=1/((AB2h** - 0.09172 )); /*cambiar peso según el resultado
anterior*/
run;
proc nlin data=cinco;
model bt=a1*AB2+a2*h; _weight_=peso; /*cambiar formula
bfy7,br7,br27,br2,ba,bh,bt*/
parameters a1 0.000366 a2 7.558194 ; /*parametros que estimamos en la
primera parte*/
output out=seis r=r1 p=p1 student=st1 sse=sse;
run;
/*obtenemos los parámetros finales de la ecuación*/
data siete; set seis;
rp=st1*(peso**0.5);
run;
proc gplot;
plot rp*p1=1;
symbol1 v=circle c=blue;
run;
quit;
data ver; set siete;
if rp>0.09;
proc print;
run;
```

g) En este paso eliminamos de la base de datos definitiva sobre la que vamos a hacer el ajuste simultáneo, los árboles eliminados para corregir la heterocedasticidad (en este caso ninguno) y creamos la base de datos sobre la que vamos a realizar el ajuste simultáneo.

```
data simul; set uno;
/*if arbol= then bh=.;
if arbol= then br2=.;
if arbol= then b7=.;
if arbol= then br27=.;
if arbol= then br=.;
if arbol= then bt=.;*/
run;
```

IV Paso: Ajuste simultáneo:

```
ods pdf file="D:\Documents and
Settings\lucia\Escritorio\lucia\AREA_BASAL(hojas y ramas menos de dos
unidsa).pdf";
```

Dry Weight Models for Calden

```
title1 'Sistema de ecuaciones ajuste simultaneo BIOMASA SUR Calden';
proc model data=simul;
  var bhyr2 br27 b7 bf br bt ABh;
  parms a1 a2 a3 a4 a5 a6 a7 a8 a9 a10;

  bhyr2=a1*AB2+a2*h;
  resid.bhyr2=resid.bhyr2/((AB** -0.00000139)**0.5); /*dar los
valores de los residuos de cada parámetro(=peso)*/;
  e1 = actual.bhyr2 - pred.bhyr2;

  br27=a3*AB2+a4*h;
  resid.br27=resid.br27/((AB** 0.17440)**0.5); /*dar los valores de
los residuos de cada parámetro(=peso)*/;
  e2 = actual.br27 - pred.br27;

  b7=a5*AB2+a6*h ;
  resid.b7=resid.b7/((AB**0.00946)**0.5); /*dar los valores de los
residuos de cada parámetro(=peso)*/;
  e3 = actual.b7 - pred.b7;

  bf=a7*AB2+a8*h;
  resid.bf=resid.bf/((ABh**0.56757)**0.5); /*dar los valores de
los residuos de cada parámetro(=peso)*/
  e4 = actual.bf - pred.bf;

  br=a9*AB2+a10*h;
  resid.br=resid.br/((ABh** 0.49281)**0.5); /*dar los valores de
los residuos de cada parámetro(=peso)*/;
  e5 = actual.br - pred.br;

  bt=( ( a1*AB2+a2*h)+
      (a3*AB2+a4*h)+
```

```

(a5*AB2+a6*h)+
(a7*AB2+a8*h)+
(a7*AB2+a8*h));

resid.bt=resid.bt/((ABh**-0.09172)**0.5); /*dar los valores de
los residuos de cada parámetro(=peso)*/;
e6 = actual.bt - pred.bt;

outvars e1 e2 e3 e4 e5 e6 ;

fit bhyr2 br27 b7 bf br bt
start=( a1 0.000042 a2 0.7195 a3 0.000041 a4 1.0221 a5
0.000063 a6 1.0820 a7 0.000093 a8 1.0858 a9 0.000135 a10 2.3668
) /
sur outs=Smatrix outest=coeff cov out=values outpredict collin;

quit;
run;
ods pdf close;
quit;

```

Resultados del ajuste simultáneo: (Las tablas se presentan directamente desde la salida del programa SAS en formato pdf)

a) Resumen del modelo:

Resumen de modelo	
Variables de modelo	7
Parámetros	10
Variables OutVars	6
Ecuaciones	6
Número de sentencias	23

Las ecuaciones 6 para estimar	
bhyr2 =	F(a1, a2)
br27 =	F(a3, a4)
b7 =	F(a5, a6)
bf =	F(a7, a8)
br =	F(a9, a10)
bt =	F(a1, a2, a3, a4, a5, a6, a7, a8)

Variables de modelo	bhyr2 br27 b7 bf br bt ABh
Parámetros(Valor)	a1(0.000042) a2(0.7195) a3(0.000041) a4(1.0221) a5(0.000063) a6(1.082) a7(0.000093) a8(1.0858) a9(0.000135) a10(2.3668)
Ecuaciones	bhyr2 br27 b7 bf br bt

b) Resumen de la estimación de los parámetros:

Resumen de minimizar	
Parámetros estimados	10
Método	Gauss
Iteraciones	1

Observaciones procesadas	
Leer	39
Resuelto	39
Usado	34
Ausente	5

Criterio de convergencia final	
R	0
PPC	0
RPC(a10)	0.15433
Objeto	0.031481
Traza(S)	1066.132
Valor objetivo	5.575405

c) Resumen del procedimiento MODEL:

Diagnósticos de colinealidad												
Número	Autovalor	Número de la condición	Proporción de la variación									
			a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a8	a9	a10
1	2.694078	1.0000	0.0012	0.0015	0.0021	0.0040	0.0041	0.0049	0.0085	0.0123	0.0090	0.0129
2	1.867224	1.2012	0.0154	0.0178	0.0320	0.0313	0.0422	0.0540	0.0026	0.0029	0.0013	0.0012
3	1.641931	1.2809	0.0828	0.0928	0.0591	0.0654	0.0004	0.0003	0.0001	0.0000	0.0000	0.0002
4	1.119256	1.5515	0.0000	0.0100	0.0046	0.0087	0.0152	0.0033	0.0169	0.0268	0.0236	0.0369
5	0.822557	1.8098	0.0746	0.0559	0.0941	0.0828	0.0404	0.0964	0.0069	0.0048	0.0029	0.0139
6	0.735191	1.9143	0.0359	0.0550	0.0602	0.1004	0.1201	0.1263	0.0052	0.0059	0.0018	0.0060
7	0.645283	2.0433	0.2009	0.2456	0.1541	0.1675	0.0009	0.0003	0.0000	0.0003	0.0000	0.0000
8	0.332860	2.8449	0.1607	0.1679	0.2116	0.2246	0.1517	0.1676	0.0167	0.0198	0.0112	0.0228
9	0.104095	5.0873	0.0460	0.1668	0.0469	0.1343	0.0693	0.2552	0.0956	0.4294	0.1555	0.4369
10	0.037525	8.4732	0.3825	0.1868	0.3353	0.1810	0.5555	0.2918	0.8475	0.4978	0.7946	0.4692

No lineal SUR Resumen de errores residuales							
Ecuación	Modelo DF	Error DF	SSE	MSE	Raíz MSE	R-cuadrado	R-Sq adj
bhr2	1	33	229.5	6.9541	2.6371	0.7084	0.7084
resid.bhr2		33	229.5	6.9541	2.6371		
br27	1	33	323.5	9.8017	3.1308	0.6526	0.6526
resid.br27		33	134.3	4.0695	2.0173		
b7	1	33	1021.1	30.9428	5.5626	0.5829	0.5829
resid.b7		33	972.2	29.4610	5.4278		
bf	1	33	1452.5	44.0165	6.6345	0.6152	0.6152
resid.bf		33	30.8852	0.9359	0.9674		
br	2	32	2999.4	93.7327	9.6816	0.6360	0.6246
resid.br		32	103.9	3.2458	1.8016		
bt	4	30	16356.8	545.2	23.3501	0.7423	0.7166
resid.bt		30	30644.0	1021.5	31.9604		

No lineal SUR Parameter Estimadores				
Parámetro	Estimador	Err std aprox	Valor t	Aprox Pr > t
a1	0.000042	3.945E-6	10.70	<.0001
a2	0.660188	0.0867	7.62	<.0001
a3	0.000041	5.411E-6	7.58	<.0001
a4	0.996982	0.1073	9.30	<.0001
a5	0.000061	8.148E-6	7.44	<.0001
a6	1.150017	0.1711	6.72	<.0001
a7	0.000109	9.796E-6	11.17	<.0001
a8	1.78755	0.2004	8.92	<.0001
a9	0.000117	0.000013	8.65	<.0001
a10	2.091753	0.2236	9.36	<.0001

Covarianza de la matriz de residuales usada para la estimación						
	bhr2	br27	b7	bf	br	bt
bhr2	6.85710	2.79948	9.2701	1.02329	2.83979	61.3244
br27	2.79948	4.07076	6.9143	0.87766	1.93030	45.6263
b7	9.27012	6.91429	28.8757	2.44378	7.07747	147.5392
bf	1.02329	0.87766	2.4438	1.17790	0.82280	19.3680
br	2.83979	1.93030	7.0775	0.82280	3.04581	50.4505
bt	61.32440	45.62634	147.5392	19.36805	50.45054	987.5102

Covarianza de residuales						
	bhr2	br27	b7	bf	br	bt
bhr2	6.95415	2.82640	9.5110	0.82617	3.00734	63.054
br27	2.82640	4.06950	6.9722	0.76777	1.93643	46.206
b7	9.51102	6.97219	29.4610	1.94248	7.33375	152.120
bf	0.82617	0.76777	1.9425	0.93591	0.55913	16.174
br	3.00734	1.93643	7.3337	0.55913	3.24575	52.643
bt	63.05421	46.20618	152.1198	16.17442	52.64329	1021.465

Número de observaciones		Estadísticos para el sistema	
Usado	34	Objetivo	5.5754
Ausente	5	Objetivo*N	189.5638

Covarianzas de los estimadores de parámetros										
	a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a8	a9	a10
a1	1.556E-11	-.0000002	1.061E-11	-.0000001	1.979E-11	-.0000002	2.219E-11	-.0000002	3.037E-11	-.0000002
a2	-1.505E-7	0.0075119	-9.195E-8	0.0039483	-1.796E-7	0.0080801	-2.05E-7	0.0086048	-2.318E-7	0.0091573
a3	1.061E-11	-.0000001	2.928E-11	-.0000003	2.704E-11	-.0000002	2.823E-11	-.0000003	3.893E-11	-.0000003
a4	-9.391E-8	0.0039483	-2.582E-7	0.0115029	-2.388E-7	0.0100204	-2.59E-7	0.0101268	-2.941E-7	0.0102240
a5	1.979E-11	-.0000002	2.704E-11	-.0000002	6.639E-11	-.0000006	5.485E-11	-.0000005	7.84E-11	-.0000006
a6	-1.798E-7	0.0080801	-2.34E-7	0.0100204	-6.203E-7	0.0292835	-5.047E-7	0.0209395	-6.008E-7	0.0238129
a7	2.219E-11	-.0000002	2.823E-11	-.0000003	5.485E-11	-.0000005	9.597E-11	-.0000009	1.226E-10	-.0000009
a8	-2.062E-7	0.0086048	-2.542E-7	0.0101268	-5.073E-7	0.0209395	-9.29E-7	0.0401447	-9.89E-7	0.0400505
a9	3.037E-11	-.0000002	3.893E-11	-.0000003	7.84E-11	-.0000006	1.226E-10	-.0000010	1.821E-10	-.0000011
a10	-2.139E-7	0.0091573	-2.573E-7	0.0102240	-5.546E-7	0.0238129	-9.143E-7	0.0400505	-1.148E-6	0.0499888