

**CAPITULO I**  
**REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

## **1. REVISION BIBLIOGRAFICA**

### **1.1 La atmósfera terrestre**

La atmósfera terrestre es una delgada capa de gases que rodea a nuestro planeta.

Esta delgada capa de gases que rodea al planeta, es muy importante dado que en ella residen los gases que son fundamentales para el desarrollo de la mayor parte de la vida en el planeta, además de que la atmósfera representa un medio importante en el que reside una buena parte de la vida de la Tierra.

La composición química de la atmósfera está compuesta por los siguientes gases, Nitrógeno (N), Oxígeno (O<sub>2</sub>), Argón (Ar) y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Este último gas, presente en proporciones tan bajas, es de crucial importancia en el proceso de calentamiento de la atmósfera.

El dióxido de carbono - CO<sub>2</sub>: es el responsable del 70% de los gases con efecto invernadero; este gas se produce por la combustión de petróleo, gas natural, carbón y otros agentes fósiles; se produce por ejemplo en la fabricación de cemento y el transporte. (Margarita Caballer, 10 octubre 2007)

**Fuente:** IPCC cambio climático (2021)

### **1.2 El carbono**

#### **Definición y características del carbono**

El carbono representa un elemento químico cuya letra representativa en la tabla periódica es "C", con el número atómico 6 y una masa atómica de 12,01 es el 15° elemento con mayor abundancia a nivel de la corteza terrestre y el segundo más abundante en la conformación del cuerpo humano. Este elemento se puede encontrar como diamante, grafito y carbón, el uso más común que se le da a este elemento es para la fabricación de hidrocarburos y combustibles a base de fósiles los cuales son potenciadores de energía renovable.

Es un componente esencial de la vida en la Tierra y se encuentra en todas las formas de vida, incluyendo plantas, animales y seres humanos. El carbono tiene la capacidad

única de formar enlaces químicos con otros átomos, lo que le permite participar en una amplia gama de reacciones químicas y formar compuestos orgánicos.

**Fuente:** Dióxido de carbono y calentamiento climático global (2018)

### **1.3 Dióxido de carbono**

Es un gas incoloro y soluble en agua, cuyas moléculas se componen por un átomo de carbono y dos de oxígeno, unidos por enlaces dobles covalentes.

El CO<sub>2</sub> constituye aproximadamente el 0,04 % de los gases presentes en la atmósfera terrestre. Es un gas indispensable para la vida tal como la conocemos y está presente en numerosos compuestos orgánicos, entre ellos los hidrocarburos (gas natural, petróleo, etc.) o el aire que exhalamos los seres vivos aerobios (o sea, que respiramos). La importancia biológica del CO<sub>2</sub> radica principalmente en que las plantas lo necesitan para llevar a cabo la fotosíntesis, así como cierto tipo de cyanobacterias para sus procesos de obtención de energía.

En presencia de una presión constante, el dióxido de carbono es un gas, pero también se le puede forzar a convertirse en líquido al incrementar la presión (mediante el proceso de licuefacción) o incluso en sólido, formando el llamado “hielo seco” o nieve carbónica.

La mayor concentración de este gas en el planeta está, sin embargo, en la atmósfera, disuelto entre muchos otros gases que componen el aire. También se encuentra en aguas termales, volcanes y rocas carbonatadas, que cuando se diluyen en agua o algunos ácidos liberan este gas. Se le produce cotidianamente como subproducto de procesos naturales, como la respiración, la descomposición de la materia orgánica o la combustión (por ejemplo, en incendios forestales) y en la fermentación de los azúcares. También se lo genera artificialmente, a través de la quema de combustibles fósiles y numerosos procesos industriales.

**Fuente:** Guía practica para la medición de la captura de carbono en la biomasa forestal (2009)

#### **1.4 Ciclo del carbono terrestre**

El dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) es intercambiado entre la vegetación terrestre y la atmósfera. Se producen cambios en los balances netos entre el secuestro (también conocido como almacenamiento o fijación) y la liberación a lo largo de periodos de tiempo: (a) minuto a minuto (ej., cuando las nubes interceptan la luz solar), (b) patrón día noche, a lo largo de un ciclo estacional de predominancia del crecimiento y la descomposición y (c) las etapas del ciclo de vida de la vegetación o del sistema de uso de la tierra.

**Fuente:** FOREST CARBON PARTNERSHIP (2017)

El carbono puede tomar diversos rumbos. En la mayoría de los años, el efecto anual neto de la fotosíntesis, la respiración y la descomposición es un incremento relativamente pequeño del carbono almacenado. Sin embargo, las ganancias acumuladas en algunos casos se pierden en los años de inundaciones o cuando el fuego consume la materia orgánica. El carbono también puede trasladarse fuera del lugar. Los productos orgánicos (como la madera, la resina, las semillas, los tubérculos) dejan el área de producción y pasan a formar parte de los flujos del comercio, usualmente concentrados en los sistemas urbanos y sus vertederos de residuos. Sólo pequeñas cantidades de reservas de carbono pueden filtrarse fuera de la tierra e ingresar en sumideros de largo plazo en ambientes de agua dulce u oceánicos, o contribuir a la formación de turba. REDD+ (Reducción de las Emisiones debidas a la Deforestación y la Degradación de los bosques)

**Fuente:** CARBON FINANCE ASSIST (2015)

#### **1.5 Carbono orgánico (C) en el suelo**

Las actividades humanas y otras perturbaciones naturales y los cambios en el tipo de bosque, de la productividad y de las tasas de descomposición, pueden alterar la dinámica del C en los suelos forestales. Las distintas actividades de la gestión forestal, tales como el ciclo de corta, la elección de las especies arbóreas, el drenaje, las prácticas de cosecha (árboles enteros o leña regeneración, corte parcial o entresacado), las

actividades de preparación del terreno (fuegos controlados, escarificación) y la fertilización, tienen incidencia en las existencias del C orgánico del suelo (Harmon y Marks 2002, Liski et al. 2001, Johnson y Curtis 2001).

Es también de esperar que los cambios en los regímenes de perturbaciones y, en especial, en la ocurrencia de incendios forestales, pestes y otras perturbaciones que impliquen el reemplazo de árboles y arbustos que pueden alterar los depósitos de C de los suelos forestales (Li y Apps 2002, de Groot et al. 2002).

Además, el drenaje (encharcamiento) de las áreas con árboles forestales sobre suelos orgánicos reduce las existencias de C del suelo (IPCC 2006).

**Fuente:** CARBON FINANCE ASSIST (2015)

## **1.6 Fuentes de emisión de carbono**

Existen diferentes fuentes de emisión de carbono, algunas de origen humano y otras naturales.

### **Emisiones de carbono de origen humano**

- **Quema de combustibles fósiles**

Una de las principales fuentes de emisión de carbono por parte de los humanos es la quema de combustibles fósiles. Cuando quemamos carbón, petróleo o gas natural para generar energía, se emiten gases de efecto invernadero, incluido el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Estos gases atrapan el calor del sol en la atmósfera, provocando el calentamiento global y el cambio climático.

- **Deforestación**

La deforestación, especialmente en regiones tropicales, es otra fuente importante de emisiones de carbono. Los bosques son sumideros de carbono, es decir, absorben grandes cantidades de dióxido de carbono de la atmósfera. Sin embargo, cuando se talan árboles para la agricultura, la ganadería o la explotación forestal, se libera el carbono almacenado en ellos, contribuyendo al aumento de las emisiones de CO<sub>2</sub>.

## **Emisiones de carbono naturales**

- **Respiración de los organismos**

Todos los seres vivos respiran y, durante ese proceso, liberan dióxido de carbono a la atmósfera. Esto incluye a los humanos, animales y plantas. Esta emisión es parte natural del ciclo del carbono y no representa un problema en sí misma. Sin embargo, el aumento de las emisiones de origen humano ha desequilibrado este ciclo.

- **Erupciones volcánicas**

Las erupciones volcánicas también liberan grandes cantidades de dióxido de carbono y otros gases a la atmósfera. Estas emisiones son naturales y forman parte del ciclo geológico de la Tierra. Sin embargo, a diferencia de las emisiones humanas, las erupciones volcánicas no ocurren con la misma frecuencia ni a gran escala.

### **1.7 Efectos del exceso de carbono en el medio ambiente**

El aumento de las emisiones de carbono tiene consecuencias significativas en el medio ambiente. Estas son algunas de las principales:

#### **Calentamiento global**

- **Cambio climático y patrones climáticos alterados**

El dióxido de carbono es, junto con otros compuestos, un gas de efecto invernadero. Esto significa que contribuye a formar una capa gaseosa en la atmósfera que impide la radiación del calor y aumenta la temperatura de la superficie planetaria, lo cual conduce a cambios climáticos paulatinos cuyos efectos sufrimos los seres vivos.

Todo apunta a que el incremento de los niveles de CO<sub>2</sub> en la atmósfera, producto de la actividad industrial humana sostenida desde el siglo XVII (quema de hidrocarburos, metalurgia, fermentación masiva, fabricación de hormigón, etc.), habría desbalanceado notoriamente el ciclo del carbono, acumulando mucho más de este gas en la atmósfera del que es posible

deshacerse naturalmente. Para hacerse una idea, el CO<sub>2</sub> atmosférico en 1750 era de un 0,028 %, y a principios del siglo XXI se encuentra en 0,037 %.

Este incremento del gas también aumenta lentamente la temperatura del planeta en unos pocos grados y eso, aunque no lo parezca, tiene efectos catastróficos sobre el clima al alterar el delicado balance del ciclo hídrico, las corrientes marinas y la distribución del calor. Esto tiene consecuencias tan graves como la creación de nuevos desiertos; el derretimiento de los polos y las nieves perennes, aumentando así el nivel de los océanos; inundaciones y lluvias torrenciales que arruinan ciudades y cultivos, y causan desplazamientos de tierra; e incluso estaciones climáticas más extremas: inviernos más gélidos y veranos más intensos.

Por si fuera poco, el aumento del CO<sub>2</sub> atmosférico repercute en el presente en los océanos, produciendo más ácido carbónico y modificando el pH de los mares, que se hacen paulatinamente más ácidos y menos aptos para la vida.

Al conjunto de estos procesos y consecuencias se los conoce como cambio climático y actualmente existe todo un debate respecto a qué medidas tomar para atajarlo, impedirlo e incluso revertirlo, lo cual exige un esfuerzo mancomunado de toda la comunidad internacional

**Fuente:** CEPAL Soluciones basadas en la naturaleza y remoción de dióxido de carbono (2016)

- **Derretimiento de los glaciares**

El calentamiento global también provoca el derretimiento de los glaciares. Esto amenaza a las comunidades costeras y a los ecosistemas marinos, además de agravar los efectos de las tormentas y las inundaciones.

- **Acidificación de los océanos**

El dióxido de carbono liberado en la atmósfera no solo se queda allí, sino que también se disuelve en los océanos. Esto provoca la acidificación de los océanos, lo que afecta negativamente a los organismos marinos, como los corales y los moluscos, que tienen dificultades para construir sus conchas o esqueletos en aguas más ácidas.

- **Pérdida de biodiversidad**

El cambio climático y la alteración de los ecosistemas tienen un impacto directo en la biodiversidad. Muchas especies no pueden adaptarse lo suficientemente rápido a los cambios en su hábitat y enfrentan un mayor riesgo de extinción. Además, la pérdida de ecosistemas como los bosques también afecta a otras especies que dependen de ellos para su supervivencia.

**Fuente:** IPCC cambio climático (2021)

## **1.8 Medidas para reducir las emisiones de carbono**

Es urgente tomar medidas para reducir las emisiones de carbono y evitar un mayor deterioro del medio ambiente. Aquí te presento algunas acciones que podemos llevar a cabo:

- **Reforestación y protección de los bosques**

La reforestación y la protección de los bosques son vitales para mitigar las emisiones de carbono. Los árboles absorben CO<sub>2</sub> de la atmósfera y lo convierten en oxígeno a través de la fotosíntesis. Plantar árboles y preservar los bosques existentes ayuda a contrarrestar las emisiones y a mantener el equilibrio del ciclo del carbono.

- **Uso de energías renovables**

Una de las medidas más efectivas para reducir las emisiones de carbono es hacer un cambio hacia fuentes de energía renovables, como la solar, eólica, hidroeléctrica o geotérmica. Estas energías no emiten gases de efecto invernadero durante su generación y son una alternativa sostenible y limpia.

- **Eficiencia energética**

Otra forma de reducir las emisiones de carbono es mejorar la eficiencia energética en nuestros hogares, negocios e industrias. Esto implica cambiar a electrodomésticos y equipos más eficientes, así como reducir el consumo de energía en general, apagando luces y electrodomésticos cuando no estén en uso.

- **Promoción del transporte público y uso de vehículos eléctricos**



Reducir el uso de vehículos personales que funcionan con combustibles fósiles es una excelente manera de disminuir las emisiones de carbono. Podemos promover el uso del transporte público o compartir vehículos. Además, optar por vehículos eléctricos es una opción cada vez más viable y sostenible, ya que no emiten gases contaminantes durante su uso.

**Fuente:** CEPAL Soluciones basadas en la naturaleza y remoción de dióxido de carbono (2016)

### **1.9 la fotosíntesis**

La fotosíntesis es un proceso químico usado por las plantas mediante el cual producen energía química a partir de la energía lumínica solar. Gracias a esta energía del sol, las plantas convierten el agua del suelo y el dióxido de carbono del aire en glucosa, un nutriente esencial que les provee energía y permite la fabricación de la celulosa. La fotosíntesis es el proceso químico más importante en la tierra, mediante el cual se sintetizan sustancias orgánicas a partir de la energía lumínica solar.

**Fuente:** BIO enciclopedia

### **1.10 Sumidero de carbono**

Un sumidero de carbono es cualquier sistema natural que absorbe y almacena más carbono de la atmósfera del que emite. Los mayores sumideros de carbono en nuestro planeta son los bosques, el suelo y el océano. Simplificando: un sumidero de carbono es un almacén de carbono procedente de la atmósfera.

### **1.11 Principales sumideros de carbono**

- **Bosques y plantas**

Como comentábamos antes, los bosques son uno de los principales sumideros de carbono debido principalmente a su gran abundancia y a la capacidad de generar estructuras muy duraderas en el tiempo como es la madera. Por ejemplo, a nivel normativo se estima que un bosque puede ser considerado como proyecto de absorción de carbono a partir de los 20 años.

La principal amenaza de estos sumideros son los incendios forestales que en poco tiempo son capaces de liberar CO<sub>2</sub> almacenado durante décadas en la vegetación.

**Fuente:** IPCC cambio climático (2021)

- **El suelo como sumidero de carbono**

Los suelos son el lugar donde se desarrolla la vida en el planeta y está compuesto por partículas minerales, pero también por la materia vegetal y animal descompuesta, aire, agua y también infinidad de organismos vivos como bacterias, gusanos, artrópodos que viven en el interior del suelo. Todos esto tiene una gran cantidad de carbono procedente como comentábamos en el ejemplo de esos productores primarios que son las plantas. Este carbono queda almacenado en el suelo en lugar de retornar a la atmósfera.

Las emisiones de las turberas drenadas se estiman en 1,9 gigatoneladas de CO<sub>2</sub>e al año. Esto equivale al 5 % de las emisiones antropógenas mundiales de gases de efecto invernadero, una cantidad desproporcionada teniendo en cuenta que las turberas dañadas cubren solo el 0,3 % de la masa terrestre. Los incendios en los bosques pantanosos de turba de Indonesia en 2015, por ejemplo, emitieron casi 16 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> al día; que es más que toda la economía de los Estados Unidos.

**Fuente:** IUCN (2015)

- **Los océanos**

El mayor sumidero de carbono del mundo son los océanos.

Los océanos son fundamentales para eliminar carbono de la atmósfera y lo hacen a través de los organismos fotosintéticos que componen el fitoplancton como las diatomeas, dinoflagelados y otros organismos. No sólo lo hacen a través de ellos, también lo hacen absorbiendo directamente CO<sub>2</sub> de la atmósfera a través del equilibrio con el ión bicarbonato.

La absorción de CO<sub>2</sub> por parte del océano se puede ver reducida por el aumento de la temperatura por cuestiones puramente químicas, pero un exceso de CO<sub>2</sub>

en el océano también puede ser un grave problema ya que conduce a la acidificación del océano con consecuencias directas sobre los seres vivos que lo habitan

**Fuente:** IPCC cambio climático (2021)

### **1.12 Bonos De Carbono**

Los bonos de carbono son el mecanismo que permite transferir los ingresos del carbono de las empresas a los reguladores (normalmente, los gobiernos). En la mayoría de los casos, la asignación anual de bonos viene dictada por los objetivos de emisión del país o estado.

El modelo de límites máximos y comercio (cap-and-trade) es el enfoque más común para fijar el precio de las emisiones de CO<sub>2</sub>. Muchos países, entre ellos EE.UU., Canadá, México, China, Nueva Zelanda, el Reino Unido y los países de la UE, ya han adoptado este modelo y otros muchos están contemplando su adopción. En este modelo, un regulador establece un tope o límite máximo (el nivel más alto autorizado de emisiones) y las empresas comercian con los permisos de emisión en función de la demanda del mercado de bonos de carbono.

Cada vez es más difícil para las empresas mantener sus operaciones por debajo del límite máximo, ya que éste se reduce constantemente con el tiempo. Al mismo tiempo, una empresa puede ganar dinero vendiendo los bonos de carbono que no va a usar a otras empresas. Así pues, las empresas tienen un motivo para reducir su huella medioambiental. Al fin y al cabo, las empresas que colaboren con la reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> en el marco de un sistema de límites máximos y comercio lo tendrán más fácil para cumplir los objetivos de emisión.

**Fuente:** EOS DATA ANALYTICS (2009)

### **1.13 Métodos para la cuantificación de la biomasa en los bosques naturales**

La metodología utilizada y recomendada por el IPCC (2006) para medir cuatro de los cinco depósitos de carbono, exceptuando la biomasa subterránea, en las PPMs (Parcelas Permanentes de Muestreo):

- Biomasa aérea (tronco, ramas y follaje de individuos de árboles de más de 10 cm de diámetro).
- Biomasa subterránea (raíces).
- Biomasa área de sotobosque (individuos de árboles menores a 10 cm de diámetro y otras plantas),
- Biomasa de la necromasa (árboles en pie, suelo y ramas, incluyendo hojarasca).
- Carbono orgánico en el suelo.

**Fuente:** IPCC (2006)

### **1.14 Biomasa aérea en sotobosque**

Se denomina sotobosque a la vegetación formada por hierbas, arbustos y regeneración del bosque que crecen bajo las copas de los árboles emergentes. El sotobosque representa aproximadamente el 90% de la abundancia de los árboles en el bosque, Por su alta densidad, se diseñan sub-parcelas anidadas a las parcelas mayores para su medición. Estos datos son importantes para los modelos predictivos sobre la dinámica poblacional y composición del estrato arbóreo (DeWalt y Chave 2004). Además, permite calcular la tasa de recuperación de biomasa en áreas intervenidas.

**Fuente:** BIO enciclopedia (2018)

### **1.15 Biomasa**

La biomasa, se define como la cantidad de organismos vivos de una o más especies o de todas las especies de una comunidad, por unidad de superficie en un momento dado

**Fuente:** Zamora y Quiroz (2000)

#### **1.15.1 Biomasa forestal**

La biomasa forestal se define como el peso (o estimación equivalente) de materia orgánica que existe en un determinado ecosistema forestal por encima y por debajo del suelo. Normalmente es cuantificado en toneladas por hectárea de peso verde o seco

**Fuente:** Schlegel *et al.*(2002)

### **1.15.2 Biomasa aérea viva**

La biomasa aérea viva se refiere a la cantidad de material vegetal vivo que se encuentra sobre el suelo en un determinado ecosistema. Esto incluye troncos, ramas, hojas y cualquier otro material vegetal que esté en contacto directo con la atmósfera y para la estimación del carbono secuestrado en la biomasa aérea viva, se evaluarán todos los árboles mayores de 10 cm de DAP en subparcelas de 20m x 20m (componente arbóreo). En la subparcela de 2 m x 10m. que corresponde al sotobosque (componente del sotobosque), comprendido por árboles y arbustos menores a 10 cm de DAP hasta 1,5 m.

Los individuos menores a 1,5 m de altura se evaluarán en subparcelas de 0,5 m x 0,50 m (Componente herbáceo y de gramíneas) realizando un muestreo destructivo.

**Fuente:** Zamora y Quiroz (2000).

### **1.15.3 Necromasa o materia orgánica**

Se refiere a la materia orgánica que reposa sobre la superficie del suelo, generalmente en estado fresco y con bajo grado de descomposición. Se subdivide en dos grupos:

#### **1.15.4 Necromasa mayor**

También conocida como detritos de madera gruesa. Es toda la masa vegetal muerta compuesta por pedazos de madera, leños, troncos y árboles muertos en pie o caídos

a. Biomasa de árboles muertos en pie y en el suelo.

Se evalúa de manera similar a la biomasa arbórea viva. Es decir, se mide el diámetro y la altura del árbol en la parcela que le corresponda. Se registra los árboles muertos en tres clases según la metodología

**Fuente:** Saldarriaga 1994; citado por Herrera *et al.* (2001)

### **1.15.5 Necromasa menor (hojarasca - Bh)**

Es la cantidad de materia orgánica de los organismos muertos, expresado por unidad de superficie. Muchas veces incluye las partes muertas de los organismos vivos. Está constituida por las siguientes fracciones:

- Las partes muertas inactivas de los seres vivos, como ramas secas y raíces muertas.
- Los detritos de los árboles finos y gruesos caídos sobre el terreno
- Un capital de MO y nutrientes que se ven sometidos a distintos procesos que integran la descomposición
- Sitios de anidamiento de aves y otros vertebrados terrestres

**Fuente:** Saldarriaga 1994; citado por Herrera *et al.* (2001)

### **1.15.6 Carbono en el suelo**

El carbono orgánico del suelo (SOC) es el carbono que permanece en el suelo tras la descomposición parcial de cualquier material producido por organismos vivos. Dependiendo de la geología local, las condiciones climáticas y el uso y la gestión del suelo (entre otros factores), los suelos tienen diferentes cantidades de SOC

**Fuente:** IPCC cambio climático (2021)

### **1.15.7 Calculo de biomasa, carbono y CO2 aérea viva árboles y arbustos.**

Se estimará la biomasa aérea de cada individuo usando la ecuación de Brown et al., (1989), según un estudio de análisis de errores cuadráticos medios (Villegas et al., 2009), entre las diferentes ecuaciones propuestas (Brown 1997, Brown 1997b, Araujo *et al.*, 1999, Carvalvo *et al.*, 2005, Chave *et al.*, 2005 y Chave et al., 2005) determina que la ecuación utilizada para estos cálculos resulta siendo la que genera menores errores distribuidos aleatoriamente y con media cero y varianza de 0.5.

Una vez calculada la biomasa para cada individuo se sintetizará esta información para cada parcela sumando todos los datos y dividiendo entre 0.20 ha para obtener los

resultados por hectárea y promediar entre las 6 parcelas en cada sistema de usos de suelos con su respectivo error estándar.

**Fuente:** BIO enciclopedia (2018)

### **1.16 Beneficios de la retención de carbono en la biomasa**

Los beneficios no relacionados con el clima de un balance de carbono mejorado en el suelo son conocidos y valorados en el desarrollo agrícola. Están asociados con muchos objetivos medioambientales que se concentran en los recursos naturales y agrícolas (gestión de cuencas hidrográficas, gestión hídrica, gestión de las sequías, sostenibilidad de sistemas de cultivo, control de la erosión, gestión del riesgo de inundaciones, manejo de la calidad del agua, eco-turismo). De alguna forma, se podría considerar que la secuestración del carbono del suelo proporciona una ganancia triple como beneficio público.

- **Valor para el agricultor:** La secuestración del C mejora los rendimientos agrícolas (aumento del rendimiento, ahorro de insumos, ahorro de agua) e ingresos (producción adicional y Pago de Servicios Ambientales).
- **Valor para la comunidad:** La secuestración de C contribuye al aumento de la resiliencia de los sistemas agrícolas y de las cuencas hidrográficas para hacer frente a las crisis climáticas (participación a la adaptación al cambio climático, PSA).
- **Valor para la sociedad:** El gran potencial de mitigación de la agricultura proviene de la secuestración de C (valor de carbono local y global).

**Fuente:** IPCC (2006).

### **1.17 Marco legal**

#### **Ley de Medio Ambiente - Ley 1333**

##### **Artículo 1.**

La presente Ley tiene por objeto la protección y conservación del medio ambiente y los recursos naturales, regulando las acciones del hombre con relación a la naturaleza

y promoviendo el desarrollo sostenible con la finalidad de mejorar la calidad de vida de la población.

### **Artículo 2.**

Para los fines de la presente Ley, se entiende por desarrollo sostenible, el proceso mediante el cual se satisfacen las necesidades de la actual generación, sin poner en riesgo la satisfacción de necesidades de las generaciones futuras. La concepción de desarrollo sostenible implica una tarea global de carácter permanente.

### **Artículo 19.**

Son objetivos del control de la calidad ambiental:

1. Preservar, conservar, mejorar y restaurar el medio ambiente y los recursos naturales a fin de elevar la calidad de vida de la población.
2. Normar y regular la utilización del medio ambiente y los recursos naturales en beneficio de la sociedad en su conjunto.
3. Prevenir, controlar, restringir y evitar actividades que conlleven efectos nocivos o peligrosos para la salud y/o deterioren el medio ambiente y los recursos naturales.
4. Normar y orientar las actividades del Estado y la Sociedad en lo referente a la protección del medio ambiente y al aprovechamiento sostenible de los recursos naturales, a objeto de garantizar la satisfacción de las necesidades de la presente y futuras generaciones.

### **Artículo 32.**

Es deber del Estado y la sociedad preservar, conservar, restaurar y promover el aprovechamiento de los recursos naturales renovables, entendidos para los fines de esta Ley, como recursos bióticos, flora y fauna, y los abióticos como el agua, aire y suelo con una dinámica propia que les permite renovarse en el tiempo.



**Artículo 45.**

Es deber del Estado normar y controlar la conservación y manejo adecuado de los suelos.

El Ministerio de Asuntos Campesinos y Agropecuarios en coordinación con la Secretaría Nacional del Medio Ambiente, establecerá los reglamentos pertinentes que regulen el uso, manejo y conservación de lo suelos y sus mecanismos de control de acuerdo a lo establecido en el ordenamiento territorial.

**Artículo 46.**

Los bosques naturales y tierras forestales son de dominio originario del Estado, su manejo y uso debe ser sostenible. La autoridad competente establecida por Ley especial, en coordinación con sus organismos departamentales descentralizados, normará el manejo integral y el uso sostenible de los recursos del bosque para los fines de su conservación, producción, industrialización y comercialización, así como también y en coordinación con los organismos competentes, la preservación de otros recursos naturales que forman parte de su ecosistema y del medio ambiente en general.

**Artículo 47.**

La autoridad competente establecida por Ley especial, clasificará los bosques de acuerdo a su finalidad considerando los aspectos de conservación, protección y producción, asimismo valorizará los bosques y sus resultados servirán de base para la ejecución de planes de manejo y conservación de recursos, coordinando con las instituciones afines del sector.

**Artículo 103.**

Todo el que realice acciones que lesionen, deterioren, degraden, destruyan el medio ambiente o realice actos descritos en el artículo 20°, según la gravedad del hecho, comete una contravención o falta, que merecerá la sanción que fija la Ley.

**Artículo 109.**

Todo el que tala bosques sin autorización, para fines distintos al uso doméstico del propietario de la tierra amparado por título de propiedad, causando daño y degradación del medio ambiente será sancionado con dos o cuatro años de pena de privación de libertad y multa equivalente al cien por ciento del valor del bosque talado.

Si la tala se produce en áreas protegidas o en zonas de reserva, con daño o degradación del medio ambiente, la pena privativa de libertad y la pecuniaria se agravarán en un tercio.

Si la tala se hace contraviniendo normas expresas de producción y conservación de los bosques, la pena será agravada en el cien por ciento, tanto la privación de libertad la pecuniaria.

**CAPITULO II**  
**MATERIALES Y METODOLOGÍA**

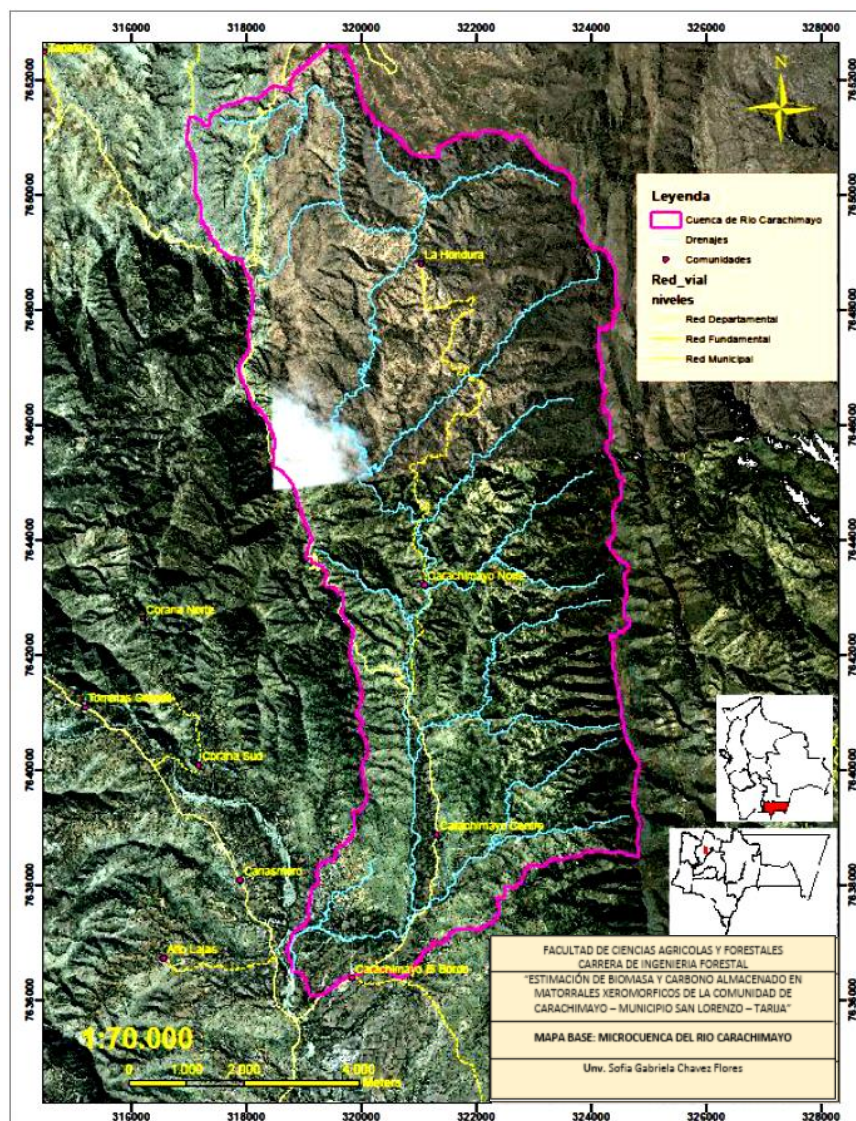
## 2 MATERIALES Y METODOS

### 2.1 Características de la zona de estudio

#### 2.1.1 Ubicación geográfica

La microcuenca del río Carachimayo ubicada, en la jurisdicción del Municipio de la provincia Méndez que corresponde a la primera Sección Municipal de la Provincia Méndez- Sección San Lorenzo del Departamento de Tarija.

**Mapa N° 1** Ubicación del área de estudio



**Fuente:** Elaboración propia (2023)

Geográficamente se halla entre las coordenadas 21° 24' 36'' a 21° 10' 15'' de latitud sur y 63° 56' 12'' a 63° 58' 30'' de longitud oeste y a una altura media de 2100 msnm.

El área de estudio comprende una superficie total de 78,4 Km<sup>2</sup>

### 2.2.1 Geología y Geomorfología

Según la consultora los Sistemas Geológicos de la Microcuenca Carachimayo, de mayor preponderancia son Silúrico, Cuaternario y Ordovícico.

Geomorfología y unidades de terreno en la microcuenca de Carachimayo

**Fuente:** EDISUR (2014)

**Cuadro N° 1 Geomorfología**

Geomorfología	Area_km 2	Area_ha	Porcentaje
Colina alta con disección muy fuerte	24,2	2.420	30,8
Colina baja con disección moderada	8,5	850	10,8
Llanura fluvio lacustre con disección ligera	4,1	410	5,2
Pie de monte coluvial con disección ligera	6,1	610	7,7
Rio	0,7	70	0,9
Serranía alta con disección muy fuerte	34,9	3.490	44,5
<b>Total</b>	<b>78,4</b>	<b>7.850</b>	<b>100</b>

**Fuente:** EDISUR, (2014)

### 2.2.2 Características climáticas

El clima del área es frío a templado, con un periodo de disponibilidad de agua en el suelo variable de 3 a 5 meses. La zona posee climas:

a) Clima frío árido

La temperatura media mensual es de alrededor de 10° C. La amplitud térmica es bastante grande y las heladas son frecuentes durante todo el año. Las precipitaciones son muy escasas (niveles menores de 300 mm) y prevalecen en los meses de la estación invernal

b) Clima semi árido

Este clima se ubica en la parte norte y más alta de la microcuenca donde los rangos altitudinales son de 2500 msnm y temperaturas de 16 ° C como promedio, cuyo índice de Lang es de 56, y calificando como cálido semi árido. Las lluvias anuales están entre los 200 y los 400 mm. Una cantidad de lluvia inferior a los 200 mm anuales

**Fuente:** EDISUR (2014)

## 2.3 Características de flora

### 2.3.1 Flora de la zona de la microcuenca del río Carachimayo

#### 2.3.1.1 Especies arbórea

**Cuadro N° 2 Especies arbórea**

Nombre común	Nombre científico
Churqui	<i>Acacia caven</i>
Algarrobo blanco	<i>Prosopis alba</i> .
Molle	<i>Schinus Molle</i>
Álamo	<i>Pópulos canarienses</i>
Sauce	<i>Salix Sp</i>

**Fuente:** EDISUR (2014)

### 2.3.1.2 Especie arbustiva

**Cuadro N° 3 Especie arbustiva**

Nombre común	Nombre científico
Taquillo	<i>Prosopis nigra Griseb</i>
Llantén	<i>Plantago tomentosa</i>
Lecherón	<i>Sapium haemospermum</i>
Karallanta	<i>Nicotiana glauca Graham</i>
Thola	<i>Bacchariss Boliviensis</i>
Chilca	<i>sp.1</i>
Quewiña	<i>Polilepsis sp.</i>

**Fuente:** EDISUR (2014)

### 2.3.1.3 Especies herbáceas en la zona (pastizales y gramíneas)

**Cuadro N° 4 Especies herbáceas en la zona (pastizales y gramíneas)**

Nombre común	Nombre científico
Pasto en Capullos	<i>Digitaria sp.1</i>
Paja	<i>Schizachyrium sp.1</i>
Pasto pampeño, grama dulce, horqueta	<i>Paspalum notatum</i> Fluegge
Pasto arroz	<i>Pharus sp.</i>

Pasto blanco	<i>Chlorispoly dactyla</i>
--------------	----------------------------

**Fuente:** EDISUR (2014)

## 2.4 Estructura de la vegetación horizontal y vertical

Estructura vertical, que es la distribución de las especies en capas o estratos en función de su altura.

Estructura horizontal, que es la distribución de las especies en el espacio (independientemente de su altura).

**Cuadro N° 5 Estructura vertical de la vegetación según Kuchler (1967)**

Altura (m)	Kuchler (1949)
38	<b>A</b> <b>Alto</b>
34	
30	
26	
22	<b>M</b> <b>Medio</b>
18	
14	
10	
9	<b>B</b> <b>Bajo</b>
8	
7	
6	
5	
4	
3	
2	<b>Matorral</b>
1	<b>Matas</b>
0,5	
0,25	
0,1	
0	



## **2.5 Materiales**

### **Materiales de campo**

- Brújula – a elección
- Cintas métricas de 50 m
- GPS – a elección
- Estacas de 30 cm
- Martillo – a elección
- Alambre delgado para amarrar placas a los tubos y plántulas
- Palas, palitas jardineras o similares
- Colector para muestras de suelo (pico de pato)
- Cilindro para toma de muestras de suelo 3cm de diámetro y 5 cm de diámetro
- Tijeras podadoras
- Bolsas plásticas negras
- Machetes
- Mapas de campo
- Cámara fotográfica

### **Materiales de gabinete**

- Crayones y/o tizas
- Lápices, bolígrafos
- Borradores y tajadores
- Planillas de campo
- Computadora
- Impresora

### **Materiales de laboratorio**

- Vaso de precipitado
- Balanza de precisión
- Tijeras de podar

- Marcador
- Horno de secado eléctrico

## 2.6 Método

### 2.6.1 Desarrollo de parcelas permanentes de monitoreo de biomasa

#### 2.6.1.1 Número de parcelas

Se establecieron 6 parcelas por cada uso de suelo o sistema productivo.

#### 2.6.1.2 Tamaño de parcela

El tamaño de cada parcela rectangular fue de 20m x 100m, a la vez cada una dividida en subparcelas de diferentes superficies para evaluar las diferentes clases y tamaños de plantas

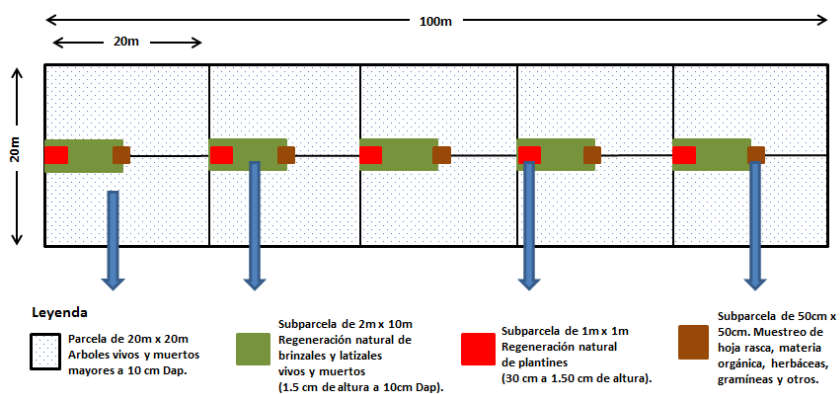
#### 2.6.1.3 Tamaño de parcela

El tamaño de cada parcela rectangular fue de 20m x 100m, a la vez cada una dividida en subparcelas de diferentes superficies para evaluar las diferentes clases y tamaños de plantas





**Fuente:** IBIF. (Instituto Boliviano de Investigación Forestal.)

### 2.6.2 Tamaño y forma de la unidad de muestreo





**Figura N° 1** Diseño de Parcelas permanentes de monitoreo de biomasa, carbono y CO<sub>2</sub> en diferentes usos de suelo



**Fuente:** IBIF. (Instituto Boliviano de Investigación Forestal.)

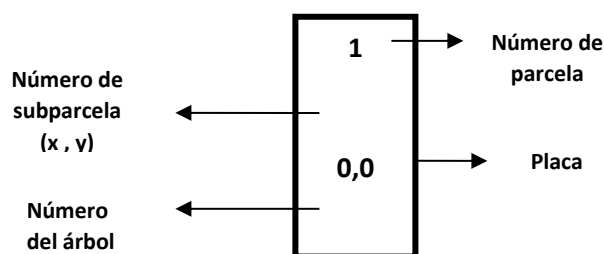
-  Sub-parcelas de 20 m x 20 m
-  Sub-parcelas de 2 m x 10m
-  Sub-parcelas de 1m x 1m
-  Sub-parcelas de 50 cm x 50 cm

### 2.6.3 Levantamiento de la información de campo

-  Sub-parcelas de 20 m x 20 m se evalúan todos los árboles vivos y muertos mayores a 10 cm de diámetro a la altura de 1,30 m del nivel del suelo (DAP).
-  Sub-parcelas de 2 m x 10m se evalúan los árboles y arbustos menores a 10 cm de DAP (latizales y brinzales).
-  Sub-parcelas de 1m x 1m se evalúan los plantines igual o mayor a 30 cm de altura hasta 1.5 m de altura.
-  Sub-parcelas de 50 cm x 50 cm se realiza el muestreo destructivo donde se colectan muestras de herbáceas o arbustos y gramíneas, como también se colecta la hojarasca y materia orgánica.

### 2.6.4 Variables registradas en arboles

- **Categoría:** Se registra la categoría del árbol en las siguientes clases: **1.** Árbol vivo, **2.** Árbol reclutado, **3.** Árbol muerto naturalmente, **4.** Árbol aprovechado (tocón), **5.** Árbol muerto por extracción, **6.** Árbol talado para otros usos, **7.** Árbol anillado vivo, **8.** Árbol no encontrado, **9.** Árbol olvidado en la anterior medición **10.** Árbol muerto por tratamiento silvicultural, **11.** Árbol muerto por fuego.
- **Nombre común:** En esta casilla se debe anotar el nombre común de cada individuo encontrado (árboles y palmas). Registrar el nombre y el apellido cuando sea posible, ej. verdolago amarillo, tajibo rosado, etc.
- **X, Y:** Se debe indicar las coordenadas de cada árbol con base a un plano cartesiano



- **Diámetro altura pecho (DAP):** Se deben medir todos los árboles  $\geq$  a 10 cm de DAP

## 2.7 Análisis de la información

### 2.7.1 Estimación de biomasa y carbono de arboles

Si se dispone del porcentaje de materia orgánica en lugar del carbono orgánico, se puede utilizar un factor de conversión de 0,58 (58%) para estimar el contenido de C. Más aún: es una buena práctica que las mediciones de existencias de C en el suelo se tomen en base a una masa equivalente (p. ej. Ellert *et al.*, 2001; Gifford y Roderick, 2003)

### 2.7.2 Estimación de biomasa y carbono de vegetación menor

Se cuantificó en base a las hojas, flores, frutos, semillas y fragmentos de estos, ramitas y material leñoso menores a 10 cm de diámetro. Las muestras se tomaron de 30 subparcelas de 0,25 m<sup>2</sup> (0,5 x 0,5 m), distribuidas sistemáticamente dentro de las 6 parcelas de 20 x 100m. Se recolectará toda la hojarasca y materia orgánica compuestas por ramitas y ramas, registrando el peso fresco por 0,25 m<sup>2</sup>. El cual se colectará en una bolsa plástica debidamente codificada, posteriormente estas muestras serán enviadas al laboratorio de la F.C.A.F. (U.A.J.M.S) para el secado de las mismas en una estufa durante 24 horas hasta que se obtener un peso seco constante.

## 2.8 Carbono en el suelo

En las subparcelas señaladas para el muestreo de la necromasa o materia orgánica (0,5 x 0,5 m), se abrirá un poso de 0,30m x 0,20 m y de 0,25 m de profundidad. Donde se tomará la muestra de suelo de a la profundidad de 15 cm, haciendo un total de 6

muestras por cada parcela de 20m x 100m. En cada una de estas profundidades, se usará un cilindro rígido de volumen conocido con el cual estimará la densidad aparente del suelo. Este valor será el peso seco de un volumen determinado de suelo expresado en gramos por centímetro cúbico (g/cm<sup>3</sup>).

Las muestras tomadas del suelo se codificarán y serán enviadas al laboratorio para la cuantificación de materia orgánica total en porcentaje.

## **2.9 Cuantificación de la biomasa y carbono**

### **2.9.1 Método Directo**

El método directo es destructivo, consiste en la corta y peso de ejemplares de muestras de biomasa y se extrapolan los resultados a grandes áreas (Araujo *et al.* 1999). Este método consiste en seleccionar un árbol, medir sus dimensiones básicas, cortarlo y determinar la biomasa a través del peso directo de cada uno de sus componentes (raíces, fuste, ramas, y follaje), a su vez la biomasa y raíces se puede subdividir en categoría diamétricas (Ortiz, 1993).

### **2.9.2 Método indirecto**

Cuando los árboles se calculan en forma indirecta, es decir, utilizando el método de cubicación de Smalian, al final se suman estos volúmenes para obtener el volumen total del fuste o de las ramas. Asimismo, se toman muestras de madera del fuste y ramas y se pesan en el campo para que no pierdan humedad, luego se calculan en el laboratorio los factores de conversión de volumen a peso seco necesarios, es decir la densidad verde y la densidad seca (Segura, 1999).

$$V(m^3) = \frac{\pi}{4} * \left( \frac{D1^2 + D2^2}{2} \right) * L$$

D1 = Diámetro promedio del extremo menor de la troza (m)

D2 = Diámetro promedio del extremo mayor de la troza (m)

L = Largo de la troza (m)

### 2.9.3 Ecuaciones alométricas

Se estimará la altura total y la altura comercial de árboles usando un clinómetro.

Según las Ecuaciones de Dauber (1995)

$$ht = d * (\alpha 1 - \alpha 0)$$

$$hf = d * (\alpha 2 - \alpha 0)$$

**Donde:**

ht = altura total en metros

hf = altura de fuste en metros

$\alpha 0$  = inclinación al pie del árbol en porcentaje

$\alpha 1$  = inclinación altura total del árbol en porcentaje

$\alpha 2$  = inclinación principio de la copa en porcentaje

d = distancia en metros

Se estima la biomasa aérea de cada individuo usando la ecuación de Brown et al., (1989), según un estudio de análisis de errores cuadráticos medios (Villegas et al., 2009), entre las diferentes ecuaciones propuestas (Brown 1997, Brown 1997b, Araujo *et al.*, 1999, Carvalho *et al.*, 2005, Chave *et al.*, 2005 y Chave et al., 2005) determina que la ecuación utilizada para estos cálculos resulta siendo la que genera menores errores distribuidos aleatoriamente y con media cero y varianza de 0.5.

### 2.9.4 Biomasa del componente arbóreo (BA)

Para los individuos con diámetros mayores o igual a 10 cm, la biomasa se estimará utilizando la ecuación propuesta por diferentes autores; las cuales incorpora datos provenientes de diferentes tipos de bosques y utilizan variables como el DAP, altura total y densidad de la especie. Luego se emplean las formulas del IPCC (2006) para medir las entradas y salidas de CO<sub>2</sub>.

Cuadro N° 6 Biomasa aérea

Según el uso de suelo	Ecuaciones	Fuente
Bosques naturales, bosques intervenidos y bosques diferidos	$BA = \exp[-2.409 + 0.952 * \ln(DM * (DAP)^2 * He)]$	Brown <i>et al.</i> (1989)
(bosque con árboles y pastizales)	$BA = 42.69 + (-12.8 * DAP + 1.242 * DAP^2 * He)$	Brown (1997)
	$BA = \exp[2.134 + 2.53 * \ln(DAP)]$	Brown (1997)
	$BA = 0.6 * (4.06 * DAP^{1.78})$	Araujo <i>et al.</i> (1999)
	$BA = 1000 * 0.6 \exp[3.3233 + 2.546 * \ln(DAP/1000)]$	Carvalho <i>et al.</i> (1988)
	$BA = 0.112 * (DM * DAP^2 * He)^{0.916}$	Chave <i>et al.</i> (2005)
	$BA = 0.0509 * (DM * DAP^2 * He)$	Chave <i>et al.</i> (2005)
	$BA = \exp(-1,803 - 0,976 * \ln(InvStress) + 0,976 * \ln(DM) + 2,673 * \ln(DAP) - 0,0299 * (\ln(DAP))^2)$	Chave <i>et al.</i> (2014)

**Fuente:** Villegas et al. (2009)

### 2.9.5 Biomasa del sotobosque (BSt)

Los individuos del sotobosque tienen un DAP menores a 10 cm, que corresponde a la regeneración natural (plántulas, latizales y brinzales). La biomasa de estos individuos

que se encuentran en las clases de tamaño con diámetro entre 5 hasta 10 cm, se calculara con las mismas ecuaciones usadas para los árboles del componente arbóreo

Y para los individuos con diámetros entre 1 a 5 cm, se utilizará la ecuación propuesta por Nascimento y Laurance (2002), que fue desarrollada específicamente para estimar la biomasa de plantas pequeñas (1 a 5 cm de diámetro).

$$\mathbf{BSt} = [\mathbf{exp}(-\mathbf{1.7689} + \mathbf{2.3770} * \mathbf{ln(D)})]$$

Dónde:

BSt = Biomasa del sotobosque < 5cm de diámetro a 30 cm del suelo (Mg ha<sup>-1</sup>)

D = Diámetro del arbolito o arbusto (cm)

n = Número de arbolitos en la parcela

### **2.9.6 Biomasa de la necromasa (BN)**

#### **Densidad de la madera y las clases de descomposición (1, 2 y 3 )**

La densidad para cada clase de descomposición se determina utilizando la ecuación siguiente:

$$\mathbf{P} = \frac{\mathbf{Ps}}{\mathbf{Vm}}$$

Dónde:

P = Densidad por clase de descomposición (gr/cm<sup>3</sup>)

Ps = Peso seco de la muestra (gr)

Vm = Volumen de la muestra (cm<sup>3</sup>)

### **2.9.7 Biomasa de árboles muertos en pie y suelo (BAMP)**

La biomasa de los árboles muertos en pie, que presentan sólo un fuste (SR), se estimará con la ecuación siguiente:

$$\mathbf{BAMP} = [(\mathbf{0.7854} * \mathbf{DAP}^2 * \mathbf{H} * \mathbf{DM} * \mathbf{0.65})]$$



Dónde:

BAMP = Biomasa de árboles muertos en pie (Mg)

DM = Densidad de la madera por clase de descomposición (gr/cm<sup>3</sup>)

DAP = Diámetro de fuste (cm)

H = Altura total (m)

0.65 = Factor de forma

Los árboles muertos en pie, que aun presentan ramas, la biomasa se calculara utilizando las ecuaciones descritas para la biomasa arbórea viva según su diámetro.

Para estimar la biomasa de árboles muertos en el suelo, se utilizará las siguientes ecuaciones que dependen del diámetro promedio de los fustes. En el caso los fustes con diámetro promedio mayor o igual a 10 cm, la biomasa se calculará mediante la siguiente ecuación:

$$\mathbf{BMS}_{\geq 10} [ (0.7854 * D^2 * L * P_d * 0.65) ]$$

$$\mathbf{D} = \sqrt[n]{D_1 * D_2 \dots * D_n}$$

Dónde:

BMS<sub>≥10</sub> = Biomasa de la madera muerta en el suelo con diámetro ≥ 10 cm (Mg)

D = Diámetro promedio (cm)

L = Longitud del fuste (m)

Pd = Densidad por clase de descomposición (gr/cm<sup>3</sup>)

0.65 = factor de forma

En el caso de la madera muerta con diámetro menor a 10 cm, la biomasa se calculará mediante la siguiente ecuación:

$$\mathbf{BMS}_{\leq 10} = \left[ \frac{P_{sm}}{P_{fm}} * P_{ft} \right]$$

Dónde:

$BMS_{<10}$  = Biomasa madera muerta en el suelo con diámetros < 10 cm (Kg)

$P_{sm}$  = Peso seco de la madera colectada (Kg)

$P_{fm}$  = Peso fresco de la muestra colectada (Kg)

$P_{ft}$  = Peso fresco de la parcela

Los árboles muertos en el suelo que presentan ramas, la biomasa se calcula mediante las ecuaciones utilizadas para la biomasa del componente arbóreo vivo.

### **2.9.8 Biomasa de hojarasca (Bh)**

Para estimar la biomasa de la hojarasca se emplea la siguiente ecuación:

$$Bh = \frac{P_{sm}}{P_{fm}} * P_{ft}$$

Dónde:

$Bh$  = Biomasa de la hojarasca (Kg)

$P_{sm}$  = Peso seco de la muestra colectada (Kg)

$P_{fm}$  = Peso fresco de la muestra colectada (Kg)

$P_{ft}$  = Peso fresco total por parcela (Kg).

### **2.9.9 Cálculo del peso seco del suelo**

Para calcular el peso seco del suelo por hectárea a partir de los datos de la parcela de evaluación, es necesario determinar primero la densidad aparente del suelo por cada muestra evaluada. Con el valor de la densidad aparente se puede calcular el peso seco del suelo por cada muestra y luego calcular por hectárea. Finalmente, el peso seco del suelo servirá para estimar el carbono en el suelo.

### 2.9.10 Cálculo de la densidad aparente del suelo

La densidad aparente del suelo se determina mediante la siguiente ecuación:

$$Da = \frac{Psc}{Vc}$$

Dónde:

Da = Densidad aparente (g/cm<sup>3</sup>)

Psc = Peso seco del suelo dentro del cilindro (g)

Vc = Volumen cilindro (cm<sup>3</sup>)

### 2.9.11 Cálculo del peso del volumen del suelo

El peso del volumen se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$Pvs = Da * Eh * 10000$$

Donde:

Pvs = Peso seco del suelo para el horizonte i (Mg/ha)

Da = Densidad aparente para el horizonte i (gr/cm<sup>3</sup>)

Eh = Espesor del horizonte y del perfil de suelo evaluado (cm)

10.000 = Constante

### 2.9.12 Determinación de la cantidad de carbono total

El valor de carbono, se determina asumiendo que en promedio la biomasa contiene un 50% de carbono, luego de haberse eliminado la humedad (Macdicken 1997).

### 2.9.13 Cálculo del carbono en la biomasa aérea total

$$CBA = BAT * 0,47$$

Dónde:

CBA = Carbono en la biomasa aérea total (Mg C ha<sup>-1</sup>)

BAT = Biomasa aérea total (Mg ha<sup>-1</sup>)

### 2.9.14 Cálculo del carbono en el suelo

$$CS = \sum_i^n \frac{Pvs * C_{LAB}}{100}$$

Dónde:

CS = Carbono en el suelo (Mg C ha<sup>-1</sup>)

Pvs = peso seco del suelo para cada horizonte i (Mg ha<sup>-1</sup>)

%C<sub>LBA</sub> = resultados del % de C de las muestras analizadas en laboratorio

n = Número de casos en el perfil

calculo de la biomasa total

$$BTA = BA + BSt + BAMP + Bh$$

Donde:

BTA = Biomasa total aérea (Mg C ha<sup>-1</sup>)

BA = Biomasa aérea (Mg C ha<sup>-1</sup>)

BSt = Biomasa aérea del sotobosque (Mg C ha<sup>-1</sup>)

BAMP = Biomasa aérea muertos en pie y suelo (Mg C ha<sup>-1</sup>)

Bh = Biomasa de hojarasca o materia orgánica (Mg C ha<sup>-1</sup>)

### 2.9.15 Estimación del carbono total

$$CT = BTA * 0,47 + CST$$

Dónde:

CT = Carbono total (Mg C ha<sup>-1</sup>)

BTA= Biomasa aerea total (Mg C ha<sup>-1</sup>)

CST = Carbono del suelo total (Mg C ha<sup>-1</sup>)

### 2.9.16 Calculo del carbono a dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) total

$$CO_2T = CT * 3,667$$

**CT** = Carbono total

Factor de 3.667 según las recomendaciones del IPCC (2006), este factor de conversión de C en CO<sub>2</sub> se basa en la relación de pesos moleculares de CO<sub>2</sub> (44/12).

### 2.9.17 El índice de valor de importancia (IVI)

Se define de las especies presentes en la comunidad que contribuyen en el carácter y estructura de un ecosistema (Cottam y Curtis, 1956). Este valor se obtiene mediante la sumatoria de la frecuencia relativa, la densidad relativa y la dominancia relativa.

- Índice de valor de importancia: IVI

$$\mathbf{IVI = (DR + FR + DmR) / 3}$$

### 2.9.18 Densidad relativa: DR

- Densidad relativa o abundancia relativa, es el número de individuos de una especie dividida entre el número total de individuos de la comunidad multiplicado por cien.

$$\mathbf{DR = \frac{Ni}{Nt} \times 100}$$

Dr = densidad relativa

Ni = número de individuos de una especie

Nt = número total de individuos

### 2.9.19 Frecuencia relativa: FR

Es la frecuencia (número de sub parcelas en las cuales ocurre la especie) dividida por la suma de las frecuencias de todas las especies, multiplicado por cien.

$$\mathbf{Fr = \frac{n_{sp}}{\sum fr1 + fr2 + fr3 \dots} \times 100}$$

Fr = frecuencia relativa

$n_{sp}$  = número de sub parcelas en las cuales ocurre la especie

$\sum fr_1 + fr_2 + fr_3 \dots$  = suma de las frecuencias de todas las especies

### 2.9.20 Dominancia relativa: DmR

La dominancia se mide en función al área basal (es el área en m<sup>2</sup> que ocupa un corte transversal del tronco) de cada una de las especies, se calcula dividiendo el área basal de la especie por la sumatoria de las áreas basales de todas las especies presentes en la parcela, multiplicándola por cien.

$$DmR = \frac{Ab}{\sum Ab_1 + Ab_2 + Ab_3 \dots} \times 100$$

DmR = Dominancia relativa

Ab = area basal

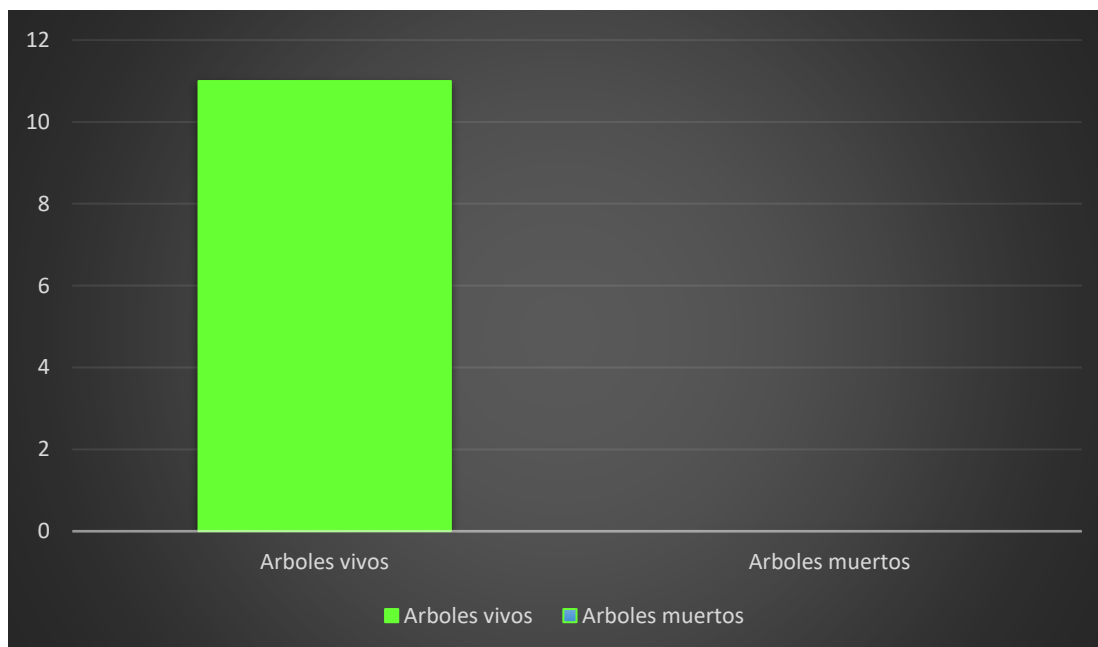
$\sum Ab_1 + Ab_2 + Ab_3 \dots$  = sumatoria de las áreas basales de todas las especies presentes en la parcela

**CAPITULO III**  
**RESULTADOS Y DISCUSION**

### 3.1 BIOMASA AEREA VIVA

Para la estimación de la biomasa aérea viva se tomaron los datos de todos los arboles con un DAP mayor 10cm, para este componente se midió un total de 30 árboles de los cuales 11 corresponden a la categoría de Arboles vivos con 38 % del total.

**Figura N° 2** Biomasa aérea mayor



**Fuente:** Elaboración propia (2023)

Se encontraron alturas que van desde 1m a 5 m, asimismo diámetro desde 10 cm a 25 cm. Las especies con mayor cantidad de individuos fueron: el Churqui (*Acacia caven*) con 5 individuo, el Algarrobo blanco (*Prosopis alba*) con 1 individuo y demás especies en menor grado. (Cuadro N°7)

La ausencia de árboles muertos se debe a que en la zona estos son utilizados por los comunarios como combustible de uso diario.



**Cuadro N° 7 Cantidad de árboles vivos por especie**

Nombre común	Nombre científico	N° de Individuos
Churqui	<i>Acacia caven</i>	5
Algarrobo blanco	<i>Prosopis alba .</i>	1
Molle	<i>Schinus Molle</i>	1
Álamo	<i>Pópulos canarienses</i>	1
Sauce	<i>Salix Sp</i>	1
Pino	<i>Pinus radiata</i>	1
Eucalipto	<i>Eucalyptus globulus</i>	1

**Fuente:** Elaboración propia (2023)

La escasez de datos durante el levantamiento en las parcelas muestreadas se atribuye a su ubicación fuera de la zona designada para la plantación de pinos. Esta discrepancia ha resultado en una limitada presencia en los datos, lo cual ha dificultado la recopilación exhaustiva de información en relación con la plantación y el crecimiento de pinos en el área de estudio ya que son plantaciones planificadas en lugares estratégicos para mejorar el escurrimiento en algunos sectores

El total de biomasa aérea viva que se obtuvo fue de 1,6 Mg/ha. que corresponde al total del sitio muestreado tal como se muestra en el cuadro N°9.

**Cuadro N° 8 Distribución de árboles en las parcelas**

N° PARCELAS	ESPECIE	DAP (m)	ALTURA(m)
P1	.....	.....	.....
P2	.....	.....	.....
P3	Churqui	0,12	1,6
	Churqui	0,18	1,8
P4	Algarrobo	0,25	1,9
	Sause	0,35	3
	Churqui	0,21	2,5
P5	Pino	0,41	4
	Molle	0,25	2
	Churqui	0,22	2,5
P6	Alamo	0,39	3,5
	Churqui	0,27	2
	Eucalipto	0,45	5

**Fuente:** Elaboración propia (2023)

En las parcelas 1 y 2 solo existían árboles de 5cm de diámetro y alturas máximas de 0,5 m debido a que en la zona alta de la microcuenca solo se realiza pastoreo

**Cuadro N° 9 Biomasa Aérea Viva**

PARCELA	Biomasa de árboles vivos Kg	Área de parcela Ha.	Biomasa por Ha (Biomasa Abr. Vivo / Área P.)
P1	0,0	0,2	0,0
P2	0,0	0,2	0,0
P3	387,17	0,2	1935,9
P4	601,07	0,2	3005,4
P5	885,19	0,2	4426,0
P6	2368,00	0,2	11840,0

<b>Media de Biomasa Por Ha.((<math>\sum</math>Biomasa Ha./N°P)/1000)</b>
1,6 Mg / ha

**Fuente:** Elaboración propia (2023)

Existe ausencia de árboles vivos en 2 de 6 parcelas tomadas debido a la falta de dominancia de los arboles está dada por el tipo de estructura de suelo y el mal manejo de la microcuenca de Carachimayo

## **3.2 Biomasa**

### **3.1 Biomasa mayor árboles vivos**

Una vez obtenidos los resultados por los modelos alométricas de Brown *et al.* (1989) de los 11 árboles presentes en el levantamiento de datos se calculó el contenido de biomasa de los mismos, obteniendo 1,6 Mg/ha en todo el sitio, siendo uno de los componentes con mayor cantidad de biomasa. (Figura N°3)

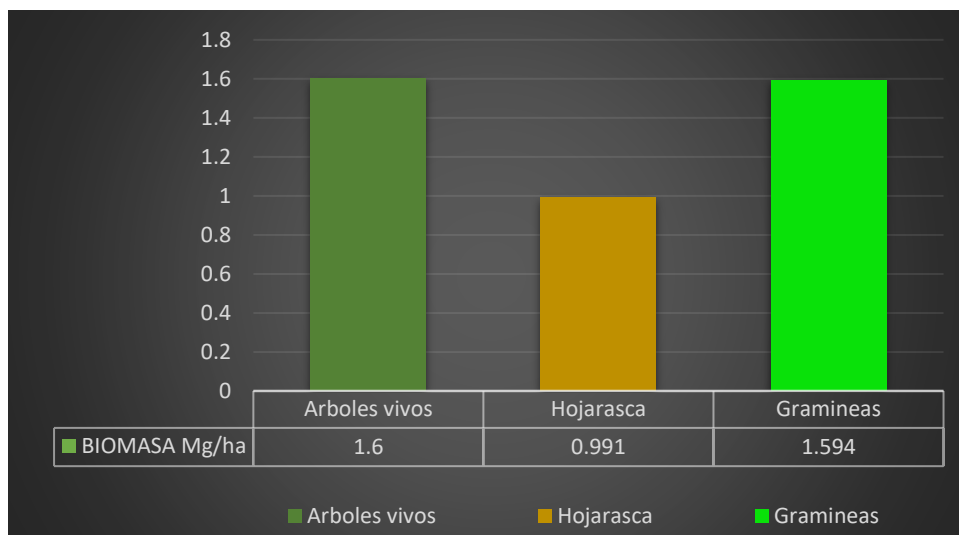
### **3.2 Graminas**

Una vez obtenidos los pesos secos de las 30 muestras de hojarasca se calculó con modelos alométricos el contenido de biomasa de las mismas, obteniendo 1,594 Mg/ha en todo el sitio, siendo uno de los componentes con mayor cantidad de biomasa. (Figura N°3)

#### **3.2.2 Necromasa menor hojarasca**

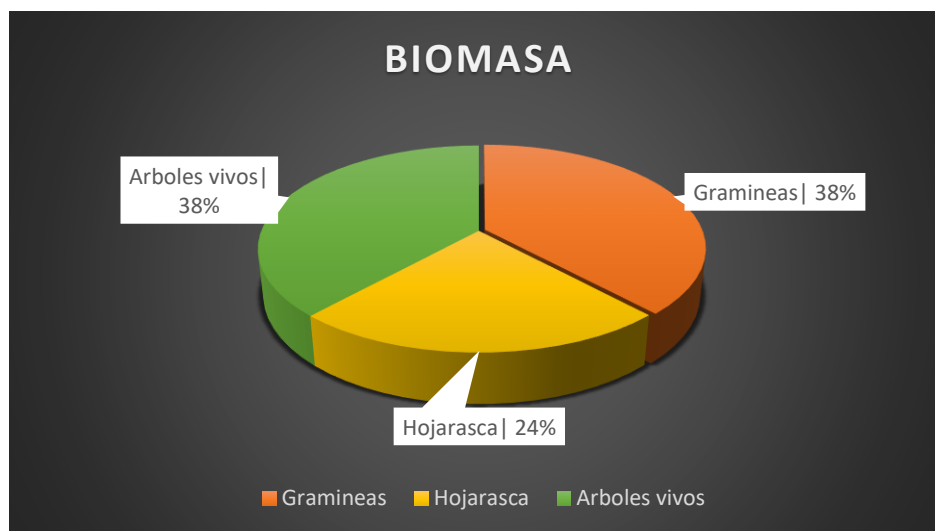
La hojarasca se refiere a la capa de hojas caídas, ramitas, corteza y otros materiales orgánicos acumulados sobre el suelo del bosque.

Una vez obtenidos los pesos secos de las 30 muestras de hojarasca se calculó con modelos alométricos (punto 2.9.8) el contenido de biomasa de las mismas, obteniendo 0,991 Mg/ha en todo el sitio, siendo uno de los componentes con menor cantidad de biomasa. (Figura N°3)

**Figura N° 3** Comparación de Biomasa En Diferentes Componentes

**Fuente:** Elaboración propia (2023)

La dominancia está dada por los arboles vivos con 1,6 Mg/ha seguido por las gramíneas 1,594 Mg/ha y en menor cantidad la hojarasca 0,991 Mg/ha, esto se debe al tipo estructura del suelo de la microcuenca de Carachimayo.

**Figura N° 4** Comparación de biomasa en diferentes componentes en porcentaje

**Fuente:** Elaboración propia (2023)

Del 100% de la biomasa aérea el 38 % está compuesta por arboles vivos, el 38 % está dada por gramíneas y el 24 % está dada por la hojarasca.

### 3.3 Calculo de Carbono C por componente.

Los resultados de Carbono siguen los mismos patrones que los obtenidos para la biomasa, acumulando la mayor cantidad de carbono el componente de las gramíneas, seguido por la hojarasca, y por último los arboles vivos, como se puede evidenciar en el Siguiete cuadro. (Cuadro N°10)

**Cuadro N° 10 Carbono por Componente**

COMPONENTE	CATEGORIA	BIOMASA Mg/ha		FACTOR	=	Mg C/ha.
<b>Carbono: Biomasa (biomasa aérea)</b>	Arboles Vivos	1,6	x	0,47	=	0,752
	Gramíneas	1,594	x	0,47	=	0,749
<b>Carbono: Materia orgánica muerta (madera muerta y hojarasca)</b>	Necromasa Mayor	0,0	x	0,47	=	0,0
	Hojarasca	0,991	x	0,47	=	0,465

**Fuente:** Elaboración propia (2023)

La mayor cantidad de carbono por componente está dada por las gramíneas debido a la gran cantidad presente en la microcuenca seguida por la hojarasca y por último los aboles vivos.

### 3.4 Calculo de Carbono y Materia Orgánica en el Suelo.

Los resultados tanto de carbono como de biomasa nos indican que los horizontes más próximos a la superficie presentan valores más altos por esta razón se tomó solo la muestra a los 15 cm, tal como se muestra en el cuadro N°11

**Cuadro N° 11 Carbono y Materia Orgánica del Suelo**

<b>Profundidad</b>	<b>Carbono suelo (Mg C / ha)</b>	<b>Factor de Conversión a Materia Orgánica</b>	<b>Materia Orgánica (Mg/ha)</b>
<b>5cm</b>	----	1,9	----
<b>15cm</b>	1,17	2,5	2,94
<b>30cm</b>	----	2,5	
<b>TOTAL</b>	1,17		2,94

**Fuente:** Elaboración propia (2023)

El carbono orgánico en el suelo es muy bajo siendo de 2,94 Mg/ha, se lo puede atribuir a la escasez de materia orgánica tanto en la superficie como en la estructura interna del suelo. Esta falta de materia orgánica puede ser consecuencia de prácticas agrícolas intensivas, como la eliminación de la cobertura vegetal natural y la quema de residuos agrícolas, lo que impacta negativamente en la capacidad del suelo para retener humedad, nutrientes y apoyar la actividad biológica. Además, la deficiente estructura del suelo, caracterizada por compactación y poca porosidad, dificulta la infiltración de agua y la incorporación de materia orgánica a través de la descomposición de restos vegetales y la acción de organismos descomponedores. Esta carencia de carbono orgánico en el suelo puede afectar la productividad agrícola, la biodiversidad del suelo y la capacidad de mitigar el cambio climático.

### **3.5 Calculo del carbono a dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) total**

De igual manera que la biomasa, la tendencia es baja en cuanto al contenido de CO<sub>2</sub> se refiere, reflejándose los datos en el cuadro N°12

**Cuadro N° 12 Calculo de Carbono a (CO<sub>2</sub>) total**

COMPONENTE	CATEGORIA	Mg C/ha.	FACTOR	CO <sub>2</sub>
Carbono: Biomasa (biomasa aérea)	Arboles Vivos	0,752	3,667	2,757
	Gramíneas	0,749	3,667	2,746
Carbono: Materia orgánica muerta (madera muerta y hojarasca)	Necromasa Mayor	0,0	3,667	0,0
	Hojarasca	0,465	3,667	1,705
Carbono: Materia orgánica del suelo	Materia Orgánica Suelo 5 cm		3,667	
	Materia Orgánica Suelo 15 cm	1,17	3,667	4,290
	Materia Orgánica Suelo 30 cm		3,667	
<b>TOTAL</b>				<b>11,498 Mg CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup></b>

**Fuente:** Elaboración propia (2023)

Solo se tomó la muestra de materia orgánica a los 15 cm.

La cantidad de 11,498 Mg CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> es el total de (CO<sub>2</sub>) presente en una hectárea de la biomasa presente en la microcuenca de Carachimayo.

Cuadro N° 13 Índice de valor de importancia (IVI)

Especie	N° individuos	FR %	DMR %	DR %	IVI
Churqui	5	39,99	21,60	45,45	107,05
Algarrobo	1	10,00	6,36	9,09	25,45
Eulalipto	1	10,00	20,61	9,09	39,70
Pino	1	10,00	17,11	9,09	36,20
Molle	1	10,00	6,36	9,09	25,45
Alamo	1	10,00	15,48	9,09	34,57
Sause	1	10,00	12,47	9,09	31,56
<b>TOTAL</b>		<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>300</b>

**Fuente:** Elaboración propia (2023)

El IVI mas alto está dado por el churqui con un IVI de 107,05 seguido por el eucalipto con un IVI de 39,70; el pino con un IVI de 36,20; el álamo con un IVI de 34,57; el sause con un IVI de 31,56; el algarrobo con un IVI de 25,45 y el molle con un IVI de 25,45.

De acuerdo al cuadro N°12 el churqui (*Acacia caven*) es la especie que representa al mayor contribuyente como secuestrador de carbono en la parte arbórea para la microcuenca de Carachimayo.



### 3.6 Discusión

#### **Base de datos sobre almacenes y flujos de carbono en los matorrales y pastizales xerófilos de México**

Con base en la biomasa estimada a partir de ecuaciones alométricas para sitios de aproximadamente una hectárea, en el informe INFyS 2009-2014 (CONAFOR, 2018) se indicó que los matorrales y pastizales xerófilos fueron los ecosistemas con menores contenidos de carbono almacenado en la biomasa aérea, con estimaciones promedio en los matorrales de las zonas áridas de 0.32 (límite inferior 0.23, límite superior 0.41) Mg C ha<sup>-1</sup>, de 1.55 (1.41, 1.69) Mg C ha<sup>-1</sup> y en los pastizales xerófilos y otras áreas forestales de 2.48 (1.98, 2.97) Mg C ha<sup>-1</sup>. En comparación, el valor estimado promedio de carbono almacenado en la biomasa aérea para los bosques fue 26.5 Mg C ha<sup>-1</sup>.

#### **El almacén de carbono en los desiertos de México**

Con la información del Inventario Nacional Forestal y de Suelos (INFyS) 2004-2007 y la aplicación de ecuaciones matemáticas que relacionan la morfología de las plantas con la biomasa y contenido de carbono, se estimó que el carbono total almacenado en los matorrales es 1.28 Mg ha<sup>-1</sup>, con valores mínimos y máximos de 0.39 Mg ha<sup>-1</sup> en la vegetación de dunas costeras y 2.64 Mg ha<sup>-1</sup> en el mezquital, considerando los registros. El carbono total almacenado en los pastizales es 1.71 Mg ha<sup>-1</sup>, con valores mínimos y máximos de 0.25 Mg ha<sup>-1</sup> en el pastizal gipsófilo y 4.08 Mg ha<sup>-1</sup> en el pastizal natural.

Comparando con los estudios de “Base de datos sobre almacenes y flujos de carbono en los matorrales y pastizales xerófilos de México” y el estudio “El almacén de carbono en los desiertos de México” con nuestros resultados obtenidos en la microcuenca de Carachimayo muestran gran variación debido a la composición de biomasa aérea y la preservación que se realiza en dichos lugares, como lugares turísticos.

#### **Almacén de carbono en la microcuenca de Carachimayo – Tarija**

El carbono almacenado en los suelos de la microcuenca de Carachimayo-Tarija asciende a 4,290 Mg ha<sup>-1</sup>, mientras que el carbono contenido en los árboles vivos alcanza los 2,757 Mg ha<sup>-1</sup>. Asimismo, se registra un almacenamiento de carbono de

1,705 Mg ha<sup>-1</sup> en la hojarasca y de 2,746 Mg ha<sup>-1</sup> en las gramíneas. En consecuencia, el total de carbono almacenado en la microcuenca de Carachimayo asciende a 11,498 Mg ha<sup>-1</sup>.

### Cuadro N° 14 Almacenes de carbono

Método	Ubicación	Paisaje	N° de muestras	Suelo	Arboles vivos	hojarasca	Total de carbono
<b>Método de cosechas múltiples de la biomasa</b>	México - Sonora	matorrales xerófilos	8 sitios localizados	----- ---	2.51 Mg ha <sup>-1</sup>	hojarasca 3.38 Mg ha <sup>-1</sup>	16,33 Mg ha <sup>-1</sup>
<b>estimaciones de las parcelas experimentales o de los datos del INFyS, los valores de carbono almacenado</b>	México - desierto del valle de Tehuacán-Cuicatlán.	matorrales y pastizales xerófilos de México	34 sitios estudiados	3.38 Mg ha <sup>-1</sup>	1.28 Mg ha <sup>-1</sup>	2.5 Mg ha <sup>-1</sup>	16,3 Mg ha <sup>-1</sup>
<b>metodología propuesta por el IBIF(alométricos y destructivos)</b>	Bolivia- Tarija- Carachimayo	Matorrales xeromorficos	6 sitios	1,17 Mg ha <sup>-1</sup>	1,6 Mg ha <sup>-1</sup>	0,465 Mg ha <sup>-1</sup>	11,498 Mg ha <sup>-1</sup>

**Fuente:** Elaboración propia (2023)

**CAPITULO IV**  
**CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## CONCLUSIONES.

- En la siguiente categoría, la hojarasca es la de menor cantidad de biomasa y materia orgánica posee 24 % (0.991 Mg/ha<sup>-1</sup>).
  
- La mayor cantidad de biomasa se encuentra en el componente de los arboles vivos con 38 % (1,6 Mg/ha<sup>-1</sup>) del total almacenado. Seguido por una importante cantidad de gramíneas con 38 % (1,594 Mg/ha<sup>-1</sup>).
  
- Los resultados de carbono siguen los mismos patrones, presentando un total de 1,96 Mg C/ha<sup>-1</sup>, de los cuales 0,749 Mg C/ha<sup>-1</sup> para el componente gramíneas, 0,465 Mg C/ha<sup>-1</sup> para el componente hojarasca y 0,752 Mg C/ha<sup>-1</sup> para el componente arboles vivos.
  
- El carbono orgánico del suelo se representó con la muestra de 15cm la cual presenta una baja cantidad de carbono orgánico con 1,17 Mg/ha<sup>-1</sup>. Debido a que se encuentra mayor cantidad de (C) en los horizontes más próximos a la superficie y va decreciendo conforme aumenta la profundidad.
  
- En base a la información obtenida de acuerdo a la metodología propuesta por el IBIF. Se concluye que en la microcuenca de Carachimayo: el Total de carbono obtenido es de 11,498 Mg CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup>.

## RECOMENDACIONES.

- Para asegurar la integridad y fiabilidad de los datos recopilados, se sugiere llevar a cabo los futuros monitoreos en la misma época que se realizó el presente estudio. Esta estrategia garantizará una mayor consistencia y uniformidad en las condiciones de muestreo, permitiendo así una comparación más precisa de los datos a lo largo plazo, con intervalos de muestreo establecidos cada cinco años.
- Con el objetivo de enriquecer la diversidad de los datos recopilados, se sugiere considerar la posibilidad de realizar la toma de muestras en un periodo diferente, tal como durante la época lluviosa. Esta estrategia permitirá obtener información complementaria y variada, que contribuirá a un análisis más completo y exhaustivo de las condiciones ambientales y sus efectos en el área de estudio
- Sería pertinente explorar y adoptar metodologías adicionales para la estimación precisa de la captura de carbono. Esta iniciativa podría incluir la incorporación de enfoques innovadores y tecnologías avanzadas que permitan una evaluación más rigurosa y detallada de la cantidad de carbono almacenada en los ecosistemas, contribuyendo así a una gestión más eficaz y sostenible en la recopilación de datos.
- Es fundamental llevar a cabo un proceso de sensibilización entre los habitantes locales sobre la relevancia de la captura de carbono llevada a cabo por la biomasa en la microcuenca de Carachimayo. Este esfuerzo de concienciación podría incluir la difusión de información precisa y comprensible sobre los beneficios ambientales y económicos asociados con la conservación y el manejo sostenible de los recursos naturales en esta área específica, promoviendo así una mayor participación y colaboración de la comunidad en la protección y preservación del medio ambiente
- Es recomendable la implementación de estrategias de silvopastoreo en la microcuenca de Carachimayo con el propósito de mitigar el fenómeno del

sobrepastoreo y, en consecuencia, mejorar la biomasa aérea en la región. Estas medidas, que combinan la plantación de árboles con la actividad ganadera, tienen el potencial de optimizar el uso del suelo, promover la diversificación de la vegetación y contribuir al aumento de la productividad y resiliencia del ecosistema, favoreciendo así su salud y sostenibilidad a largo plazo.