

**CAPÍTULO I**  
**REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

# CAPÍTULO I

## REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 1.1 Marco teórico

#### 1.1.1 Carbono en los suelos.

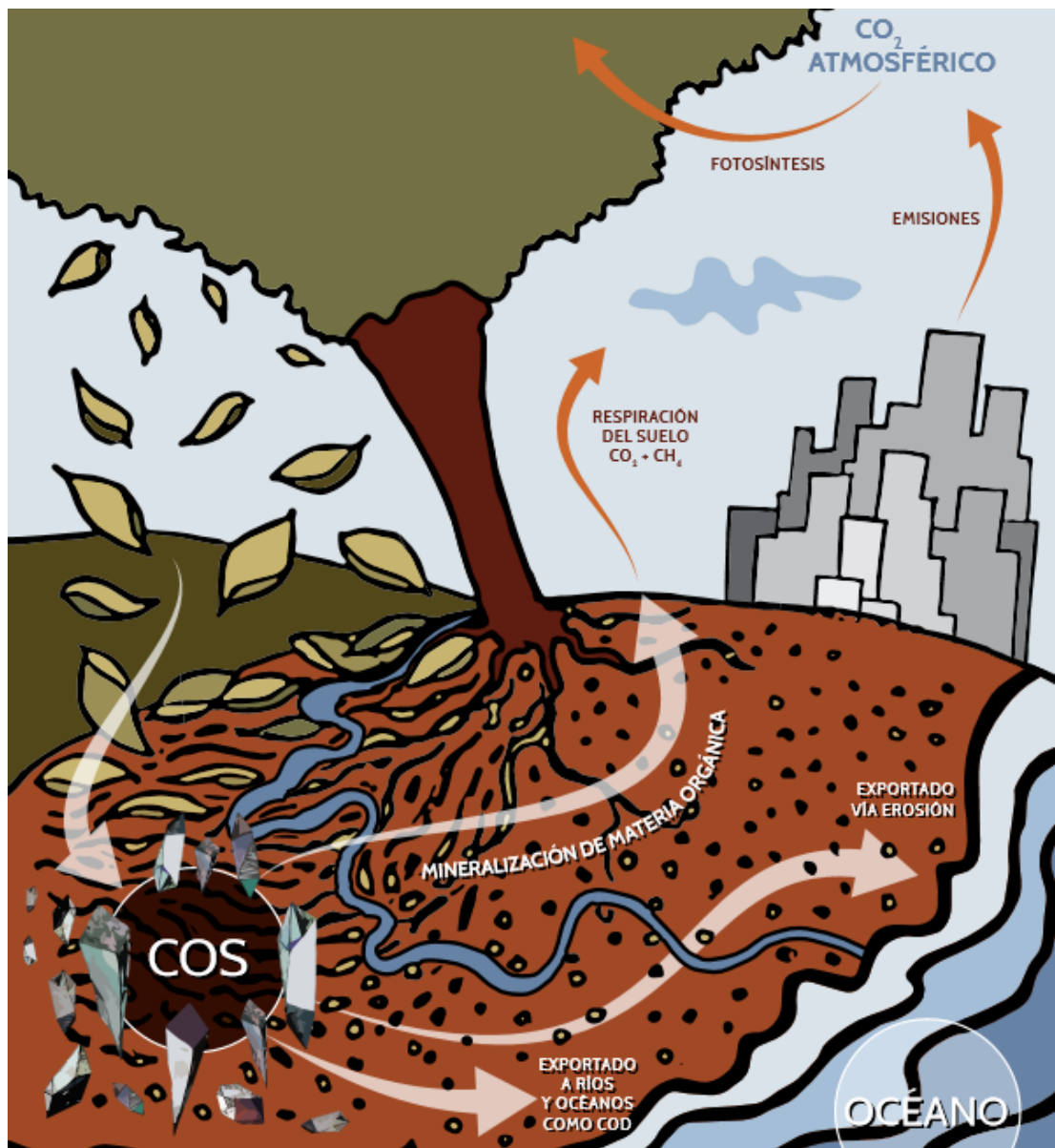
El suelo desempeña un importante papel en el ciclo del carbono y puede representar una fuente importante de CO<sub>2</sub> y de otros gases de efecto de invernadero a la atmósfera. La cantidad total de carbono orgánico que contiene el suelo de dos a tres veces superior al CO atmosférico. El carbono orgánico del suelo representa la mayor reserva en comparación del carbono inorgánico.

Todos coincidimos en que las mayores contribuyentes en nuestro tiempo sobre el CO<sub>2</sub> como GEI, es el producto de la combustión de los combustibles fósiles por parte de la industria y el transporte. (Hurtado & Navarro, 2006)

#### 1.1.2 Carbono orgánico del suelo

El carbono del suelo está presente en la forma orgánica e inorgánica. La forma orgánica equivale a la mayor reserva en interacción con la atmósfera. El carbono orgánico presente en el suelo representa un balance dinámico entre la absorción de material vegetal muerto y la pérdida por descomposición (mineralización) devuelven el carbono a la atmósfera principalmente como dióxido de carbono (ver figura N°1). (Tito, Leon, & Porro, 2009)

Figura N° 1: Carbono orgánico del suelo en el ciclo del carbono



Fuente: (FAO, Carbono Organico de Suelo: el potencial oculto, 2017)

**Cuadro N° 1: Clasificación del suelo por su contenido de carbono orgánico**

Interpretación	Porcentaje de COS
Muy bajos	<1.2
Bajos	1.2 a 2.9
Medios	2.9 a 4.6
Altos	4.6 a 8.7
Muy altos	>7.8

*Fuente:* (Rodríguez, 2014)

### **1.1.3 Diferentes escenarios de captura de carbono.**

La vegetación terrestre a través de sus procesos fisiológicos tales como la fotosíntesis, y los océanos se consideran que conservan grandes cantidades de carbono.

Afirma que los ecosistemas terrestres juegan un papel importante en el ciclo global del carbono, en tanto el manejo forestal puede hacer una contribución sustancial a controlar los niveles de dióxido de carbono en la atmósfera. Otras actividades de uso de la tierra y bosques que pueden contribuir son: la conservación de bosques en peligro de deforestación, rehabilitación de bosques, forestación, reforestación o promoción de la agroforestería. En el sector de uso de la tierra y bosques se han identificado dos estrategias principales para acumular el carbono: La primera es aumentar la fijación de carbono al crear o mejorar los sumideros. La segunda es prevenir o reducir la tasa de liberación del carbono ya fijado en sumideros existentes. Estas estrategias se denominan fijación de carbono y no emisión de carbono. Actividades de fijación incluyen tratamientos silviculturales para aumentar el crecimiento, agroforestería, forestación, reforestación y restauración de áreas degradadas; la no emisión incluye actividades de conservación de biomasa y suelo en

áreas protegidas, manejo forestal sostenible, protección contra fuegos y promoción de quemas controladas. (Marquez. 2000)

#### **1.1.4 Almacenamiento y fijación de carbono.**

Menciona que los bosques desempeñan una función importante en la moderación del flujo neto de gas de efecto invernadero (GEI) entre la tierra y la atmósfera. Los bosques actúan como depósitos, almacenando carbono en la biomasa y los suelos. Actúan como sumideros de carbono cuando se aumenta su superficie o su productividad, dando origen a un incremento de la absorción de CO<sub>2</sub> atmosférico. Por el contrario, actúan como fuente de GEI cuando la quema y la descomposición de la biomasa y las alteraciones del suelo dan origen a emisiones de CO<sub>2</sub> y otros GEI. En la actualidad, el 20 por ciento aproximadamente de las emisiones antropógenas mundiales de CO<sub>2</sub> se deben a cambios en el uso de la tierra (y sobre todo a la deforestación que tiene lugar principalmente en las zonas tropicales) (FAO. 2000)

#### **1.1.5 Sumideros de carbono**

Entre los sumideros de carbono, se encuentran los propios suelos agrícolas, cuya capacidad de almacenar carbono está directamente relacionada con el contenido de materia orgánica de los mismos. (Ramos, 2003)

Un sumidero de carbono es aquel que elimina el carbono de la atmósfera, tal como sucede con las plantas verdes que consumen CO<sub>2</sub> durante el proceso de fotosíntesis. (Martino, 2006)

Asimismo, definen a los sumideros de carbono, como aquellos que eliminan de la atmósfera tanto carbono como el que aportan en forma natural. (Bolin, 1996)

Hace referencia al almacenamiento de carbono en los suelos, los cuales, según el tipo, tienen capacidad de funcionar como reservorio de carbono. (Corrales & Espinoza, 2017).

### **1.1.6 COS: un componente de la MOS**

La MOS contiene aproximadamente 55-60 por ciento de C en masa. En muchos suelos, este C comprende la mayor parte o la totalidad de las reservas de C - a las que se hace referencia como COS - excepto cuando aparecen formas inorgánicas de C del suelo (FAO y GTIS, 2015). Al igual que la MOS, el COS se divide en diferentes grupos en función de su estabilidad física y química (FAO y GTIS, 2015; O'Rourke et al., 2015):

- Reserva rápida (reserva lábil o activa) - Después de la incorporación de carbono orgánico fresco al suelo, la descomposición da lugar a la pérdida de una gran proporción de la biomasa inicial en 1-2 años.
- Reserva intermedia - Contiene carbono orgánico procesado por microbios que está parcialmente estabilizado en superficies minerales y/o protegido dentro de agregados, con tiempos de rotación en el rango de 10-100 años.
- Reserva lenta (reserva refractaria o estable) - COS altamente estabilizado, ingresa en un período de muy lenta rotación de 100 a >1000 años.

Se ha demostrado que la fracción lábil de carbono es un indicador de las propiedades químicas y físicas fundamentales del suelo. La fracción resistente o estable del carbono orgánico del suelo contribuye principalmente a la capacidad de retención de nutrientes del suelo (capacidad de intercambio catiónico). Además, debido a que esta fracción de carbono orgánico se descompone muy lentamente, es especialmente interesante en términos de secuestro de COS a largo plazo. (FAO, 2017)

### **1.1.7 Beneficios de la materia orgánica y carbono orgánico del suelo**

La materia orgánica proporciona grandes beneficios a los suelos:

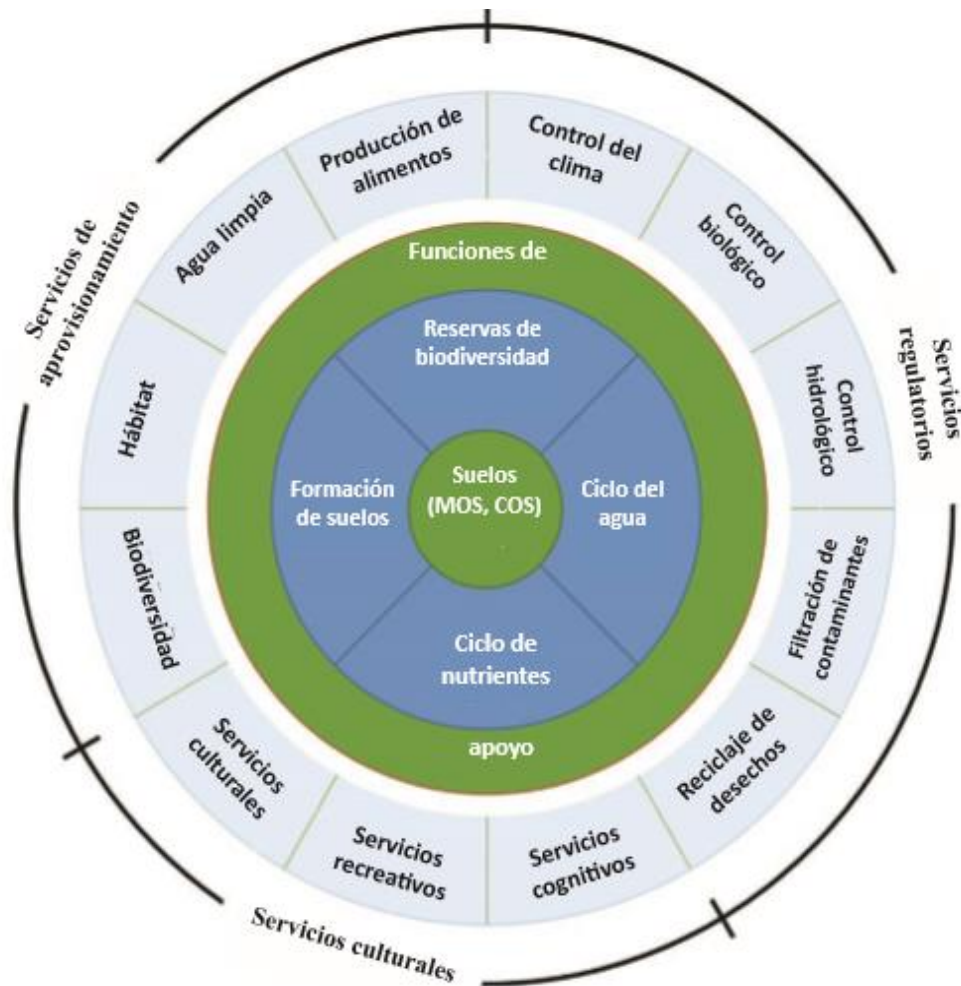
- Contribuye a que las partículas minerales individuales del suelo formen agregados estables, mejorando así la estructura del suelo y facilitando su laboreo.
- Favorece una buena porosidad, mejorando así la aireación y la penetración del agua.

- Aumenta la capacidad de retener agua.
- Por las razones anteriores, disminuye los riesgos de erosión.
- Proporciona partículas de tamaño coloidal con carga negativa (humus), que tiene alta capacidad de retener e intercambiar cationes nutritivos.
- Actúa como agente amortiguador al disminuir la tendencia a un cambio brusco del pH del suelo cuando se aplican sustancias de reacción ácida o alcalina.
- Hace posible la formación de complejos órganos-metálicos, estabilizando así micronutrientes del suelo que de otro modo no serían aprovechables.
- Es una fuente de elementos nutritivos, que son aprovechables por las plantas después que la materia orgánica ha sido descompuesta por los microorganismos. (Sepulveda, Tapia, & Ardiles)

Los beneficios del carbono orgánico del suelo son:

- Mejora la estructura del suelo al formar agregados estables (terrones) más resistentes a la compactación, mejorando la aireación del suelo.
- Aumenta la capacidad de infiltración y retención de agua.
- Aumenta la fertilidad del suelo, ya que la materia orgánica contiene nutrientes como fósforo y nitrógeno.
- Aumenta la diversidad y la biomasa microbiana.
- Disminuye el riesgo de erosión hídrica y eólica. (Redagricola, 2018)

**Figura N° 2: Beneficios de la materia orgánica y carbono orgánico**



*Fuente:* (Laban, Metternicht, & Davies, 2017)

### 1.1.8 Objetivos del desarrollo sostenible

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible, también conocidos como Objetivos Mundiales, se adoptaron por todos los Estados Miembros en 2015 como un llamado universal para poner fin a la pobreza, proteger el planeta y garantizar que todas las personas gocen de paz y prosperidad para 2030. (PNUD, 2015)

Los objetivos del desarrollo sostenible son 17:

Objetivo 1: Poner fin a la pobreza en todas sus formas en todo el mundo.



Objetivo 2: Poner fin al hambre, lograr la seguridad alimentaria y la mejora de la nutrición y promover la agricultura sostenible.

Objetivo 3: Garantizar una vida sana y promover el bienestar para todos en todas las edades.

Objetivo 4: Garantizar una educación inclusiva, equitativa y de calidad y promover oportunidades de aprendizaje durante toda la vida para todos.

Objetivo 5: Lograr la igualdad entre los géneros y empoderar a todas las mujeres y las niñas.

Objetivo 6: Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos.

Objetivo 7: Garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna para todos.

Objetivo 8: Promover el crecimiento económico sostenido, inclusivo y sostenible, el empleo pleno y productivo y el trabajo decente para todos.

Objetivo 9: Construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización inclusiva y sostenible y fomentar la innovación.

Objetivo 10: Reducir la desigualdad en y entre los países.

Objetivo 11: Lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles.

Objetivo 12: Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles.

Objetivo 13: Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos.

Objetivo 14: Conservar y utilizar en forma sostenible los océanos, los mares y los recursos marinos para el desarrollo sostenible.

Objetivo 15: Proteger, restablecer y promover el uso sostenible de los ecosistemas terrestres, gestionar los bosques de forma sostenible, luchar contra la desertificación,

detener e invertir la degradación de las tierras y poner freno a la pérdida de la diversidad biológica.

Objetivo 16: Promover sociedades pacíficas e inclusivas para el desarrollo sostenible, facilitar el acceso a la justicia para todos y crear instituciones eficaces, responsables e inclusivas a todos los niveles.

Objetivo 17: Fortalecer los medios de ejecución y revitalizar la Alianza Mundial para el Desarrollo Sostenible.

### **1.1.9 Aptitud de la tierra.**

Capacidad de un lugar específico para producir un cultivo determinado en base a las condiciones agroclimáticas y de suelos. (FAO, 2010)

Es la capacidad o vocación de producción de una unidad de tierra o paisaje, para un tipo de uso y manejo, considerando las limitaciones y potencialidades de los suelos, hidrológicas, geomorfológicas o topográficas, climáticas, de cobertura vegetal y riqueza biológica. (Arismendi, 2008)

### **1.1.10 Uso del suelo.**

Disponibilidad del suelo para una serie de posibles usos, que pueden ser ordenados y distribuidos de acuerdo con un plan, o de manera espontánea. (Sánchez y Guiza, 1989)

Es un término clave de las intervenciones humanas en la naturaleza. Se puede referir a asentamientos urbanos o a una zonificación prevista, a un campo agrícola, a Áreas Naturales Protegidas, etc. Cada vez que decimos construir algo en un paisaje natural desplazamos una fracción de un ecosistema que cumplía una función, que prestaba un “servicio ambiental”. (Medellín M, 2002)

### **1.1.11 Cambio de uso del suelo.**

Procesos de cambios de lógica en la modalidad e intensidad del uso actual de la tierra y los recursos. (Arismendi, 2008)

El cambio en el uso del suelo es uno de los temas de mayor interés en las disciplinas ambientales. Constituye uno de los factores primordiales en el cambio climático global, ya que altera ciclos biogeoquímicos como el del agua o el del carbono. También es una de las causas más importantes de pérdida de biodiversidad a nivel mundial, y sin duda, el medio por el que la sociedad resiente las alteraciones en el entorno. No debemos olvidar que a través de los cambios en el uso del suelo se materializa nuestra relación con el medio ambiente. (SEMARNAT, 2002)

#### **1.1.12 Labranza conservacionista del suelo.**

Conjunto de prácticas de laboreo de la tierra, que reduce las pérdidas del suelo y agua, en comparación con las de labranza convencional, y mantenga al menos 30 % de la superficie del suelo cubierta con rastrojos (restos de la cosecha anterior) al iniciar la nueva siembra, para reducir la erosión hídrica. Comprende varios tipos de técnicas: a) labranza mínima y labranza cero, siembra entre los rastrojos de cultivo anterior sin ninguna labranza o disturbio en el suelo salvo reducidas perforaciones para colocar la semilla, como ejemplo son los tipos de labranza tradicional con uso de herramientas ancestrales como la “chaquitaklla”, b) labranza cero o mínima, en terrazas o andenes construidos en pendientes pronunciadas, c) labranza reducida, se reduce a las acciones de roturación de baja intensidad, cultivos y siembra (en base a discos, cincel, y rotocultor); d) labranza en camellones o surcos; labranza vertical, utiliza brazos, escarificadores y flejes o cinceles para aflojar el suelo sin invertirlo; e) labranza en bandas, en base a hileras de siembra separadas por bandas anchas de suelo no disturbado. (Arismendi, 2008)

Las prácticas de labranza también pueden influir en la distribución del COS en el perfil, con mayor contenido de COS en las capas superficiales de suelo con cero labranzas que, con labranza convencional, pero con mayor contenido de COS en las capas más profundas de las parcelas con labranza donde los residuos se incorporan. Se ha propuesto al carbono orgánico del suelo (COS) como un indicador primario de la calidad del suelo, en especial la concentración de COS superficial. El suelo superficial es el horizonte vital que recibe las semillas, fertilizantes y plaguicidas

aplicados en las tierras de cultivo. También es la capa que es afectada por el intenso impacto de la precipitación pluvial y divide los flujos de gases hacia dentro y fuera del suelo. (Verhulst, François, & Govaerts, 2015)

### **1.1.13 Agricultura de conservación**

En la actualidad, las personas han empezado a entender que la agricultura no solo debe tener una alta productividad, sino también ser sustentable. Se ha propuesto a la agricultura de conservación como un conjunto de principios de manejo ampliamente adaptado que pueden asegurar una producción agrícola más sustentable. La agricultura de conservación es un concepto más amplio que la labranza de conservación, un sistema donde al menos 30 % de la superficie del suelo está cubierta con residuos del cultivo anterior, después de la siembra del próximo cultivo. En la agricultura de conservación, el énfasis no solo cae sobre el componente de la labranza sino sobre la combinación de los siguientes tres principios:

1. *Reducción en labranza:* El objetivo es lograr un sistema con cero labranza (es decir, sin labranza) pero el sistema puede involucrar sistemas de siembra con labranza controlada que por lo general no perturben más del 20-25 % de la superficie del suelo.
2. *Retención de los niveles adecuados de residuos del cultivo y cobertura de la superficie del suelo:* El objetivo es la retención de suficientes residuos sobre el suelo para:
  - Proteger el suelo de la erosión hídrica y eólica.
  - Reducir los escurrimientos de agua y la evaporación.
  - Mejorar la productividad del agua.
  - Mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo asociadas con una productividad sustentable a largo plazo.
3. *Uso de rotación de cultivos:* El objetivo es usar una rotación de cultivos diversificados para:
  - Ayudar a moderar/mitigar posibles problemas de malezas, enfermedades y plagas.

- Utilizar los efectos benéficos de algunos cultivos sobre las condiciones del suelo y sobre la productividad del próximo cultivo.
- Proporcionar a los agricultores opciones económicamente viables que minimicen los riesgos.

#### *Influencia de la rotación de cultivos sobre el carbono orgánico del suelo*

La alteración de la rotación de cultivos puede influir en el COS al cambiar la cantidad y la calidad del aporte de materia orgánica. Un aumento en la conservación de la humedad relacionada con prácticas de agricultura de conservación puede dar como resultado la posibilidad de crecer un cultivo de cobertura adicional justo después de cosechar el cultivo principal. Los cultivos de cobertura llevan a mayores contenidos de COS al incrementar el aporte de residuos vegetales y proporcionar una cubierta vegetal durante periodos críticos. Sin embargo, el incremento en la concentración de COS puede ser anulado cuando los residuos del cultivo se incorporan en el suelo. La agricultura de conservación puede incrementar la posibilidad para la intensificación del sistema de producción debido a un periodo de tiempo de espera más corto entre la cosecha y siembra (debido a que el campo escasamente necesita alguna preparación)

El efecto de la rotación de cultivos sobre los contenidos de COS puede deberse al aporte de biomasa, debido a la mayor producción total o debido al cambio en la calidad del aporte de residuos. El mecanismo de la captura del carbono en formas estables y a largo plazo podría ser diferente para las diferentes especies de cultivos. Por ejemplo, las rotaciones que incluyen leguminosas contienen un mayor contenido de carbonos aromáticos (una forma de carbono biológicamente muy resistente) por debajo de la capa arable que los cultivos continuos de maíz.

Estos principios de la agricultura de conservación son aplicables a una amplia variedad de sistemas de producción de cultivos desde condiciones con baja productividad en temporal hasta condiciones con alta productividad en riego. Sin embargo, la aplicación de los principios de la agricultura de conservación será muy diferente de un sistema de producción a otro. Es necesario identificar los componentes del manejo tales como las tácticas de control de plagas y malezas,

estrategias de manejo de nutrientes y rotación de cultivos, entre otros, por medio de investigación aplicada con la participación activa de los agricultores. (Verhulst, François, & Govaerts, 2015)

#### **1.1.14 Materia orgánica del suelo**

La materia orgánica del suelo es un indicador clave de la calidad del suelo, tanto en sus funciones agrícolas (p. ej. producción y economía) como en sus funciones ambientales entre ellas captura de carbono y calidad del aire. La materia orgánica del suelo es el principal determinante de su actividad biológica. La cantidad, la diversidad y la actividad de la fauna del suelo y de los microorganismos están directamente relacionadas con la materia orgánica. La materia orgánica y la actividad biológica que esta genera tienen gran influencia sobre las propiedades químicas y físicas de los suelos. La materia orgánica del suelo también mejora la dinámica y la biodisponibilidad de los principales nutrientes de las plantas. (FAO, 2002)

### **Cuadro N° 2: Clasificación tentativa para materia orgánica**

Clasificación	Contenido de M.O %
Muy bajos	0.0 - 1.0
Bajos	1.1 - 2.0
Moderados	2.1 - 4.0
Altos	4.1 - 8.0
Muy altos	> 8.0

*Fuente:* (Villaroel, 1988)

#### **1.1.15 Mineralización de la materia orgánica**

Proceso biológico que ocurre mediante la conversión de la materia orgánica a un estado inorgánico, a través de la acción de microorganismos. En el proceso de descomposición de la materia orgánica del suelo que a mayor temperatura más mineralización y por su puesto a más presencia de oxígeno más mineralizaciones.

Este proceso es la conversión de la materia orgánica en minerales, si toda materia orgánica que va a parar al suelo se descompusiese directamente en elementos minerales, estos serían fácilmente arrastrados por el agua y el suelo quedaría pronto sin nutrientes. (EcuRed, 2011)

#### **1.1.16 Estabilidad estructural del suelo**

Se entiende por estructura del suelo el arreglo y la organización de las partículas constitutivas.

Dichas partículas en su estado de máxima división constituyen partículas discretas, las cuales son aproximadamente indivisibles por las fuerzas del agua de riego y las tensiones que se generan durante el secado. Pero dichas partículas se encuentran en su estado natural formando agregados con diversos agentes cementantes y con diverso

grado en la fortaleza de la cohesión que las mantiene unidas, formando agregados, también llamados Grumos, Terrones, Boronas.

La Estructura del suelo según Montenegro (1991) tiene influencia en la mayoría de los factores de crecimiento de las plantas, siendo, en determinados casos, un factor limitante en la producción. Una estructura desfavorable puede acarrear problemas en el desarrollo de las plantas, tales como el exceso o deficiencia de agua, la falta de aire, la incidencia de enfermedades, la baja actividad microbiana, el impedimento para el desarrollo de las raíces, etc; por el contrario, una estructura favorable permitirá que los factores de crecimiento actúen eficientemente y se obtengan, en consecuencia, los mayores rendimientos de las cosechas. (Calderón Sáenz, 1996)

#### **1.1.17 Calidad de suelos**

Es la capacidad natural del suelo de cumplir diferentes funciones: ecológicas, agronómicas, económicas, culturales, arqueológicas y recreacionales. Es el estado del suelo en función de sus características físicas, químicas y biológicas que le otorgan una capacidad de sustentar un potencial ecosistémico natural y antropogénicas. (Ministerio del Ambiente, 2016)

La calidad del suelo se puede definir de la siguiente manera:

- La capacidad de un tipo de suelo específico para funcionar, dentro de los límites del ecosistema manejado de forma natural, para sustentar la productividad vegetal y animal, mantener o aumentar la calidad del agua y del aire, y mantener la salud humana y el asentamiento.
- El grado de aptitud de un suelo para un uso específico.
- La capacidad del suelo para mantener una alta productividad, sin la degradación importante del suelo o del ambiente.

Los factores del manejo tales como la labranza y el manejo de residuos pueden modificar la calidad del suelo. Sin embargo, los cambios en la calidad del suelo no solo se asocian con el manejo, sino con el contexto ambiental, tal como la temperatura y la precipitación. (Verhulst, François, & Govaerts, 2015)



### **1.1.18 Cambio climático global.**

Variación del estado del clima identificable en las variaciones del valor medio o en la variabilidad de sus propiedades, que persiste durante largos períodos de tiempo, generalmente decenios o períodos más largos. El cambio climático puede deberse a procesos internos naturales o a forzamientos externos tales como modulaciones de los ciclos solares, erupciones volcánicas o cambios antropógenos persistentes de la composición de la atmósfera o del uso del suelo. La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), en su artículo 1, define el cambio climático como “cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera global y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables”. (IPCC, 2014)

Se denomina así al conjunto de fenómenos de variación drástica de los regímenes climáticos en diversas regiones y latitudes del planeta, como producto de la acumulación de gases en la atmósfera (efecto invernadero) y el consecuente calentamiento global. (Arismendi, 2008)

### **1.1.19 Gases: efecto Invernadero.**

Por gases de efecto invernadero se entiende aquellos componentes gaseosos de la atmósfera, tanto naturales como antropogénicos, que absorben y reemiten radiación infrarroja. (ONU, 1992)

Los gases del Efecto invernadero constituyen los motores del fenómeno de calentamiento global, siendo estos: Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), Monóxido de carbono (CO), Ozono (O<sub>3</sub>), Metano (CH<sub>4</sub>), Óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), Cloro fluorocarbonos (CFC), Perfluoro cloro carburo (PFCC), Hidrocarburos volátiles y Agua (H<sub>2</sub>O). (Arismendi, 2008)

Los gases de efecto invernadero a base de carbono emitidos por el suelo son el CO<sub>2</sub> y el metano (CH<sub>4</sub>), que son dos de los principales GEI antropogénicos emitidos. Otra forma de GEI es el óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), cuya emisión se ha vuelto cada vez más

antropogénica, en gran parte desde suelos agrícolas e instalaciones ganaderas. (FAO, 2017)

#### **1.1.20 Seguridad alimentaria**

Situación predominante en la que las personas tienen acceso seguro a cantidades suficientes de alimentos inocuos y nutritivos para su crecimiento y desarrollo normal y para una vida activa y sana. (IPCC, 2014)

#### **1.1.21 Ciclo biogeoquímico.**

Proceso natural por el cual una sustancia se moviliza en la biósfera. Puede incluir el transporte a través de varios medios (aire, agua, suelo) seguido por una transformación ambiental y su acarreo a través de uno o más ecosistemas. ( Área de desarrollo sostenible y salud ambiental, 2003)

#### **1.1.22 Ciclo del carbono**

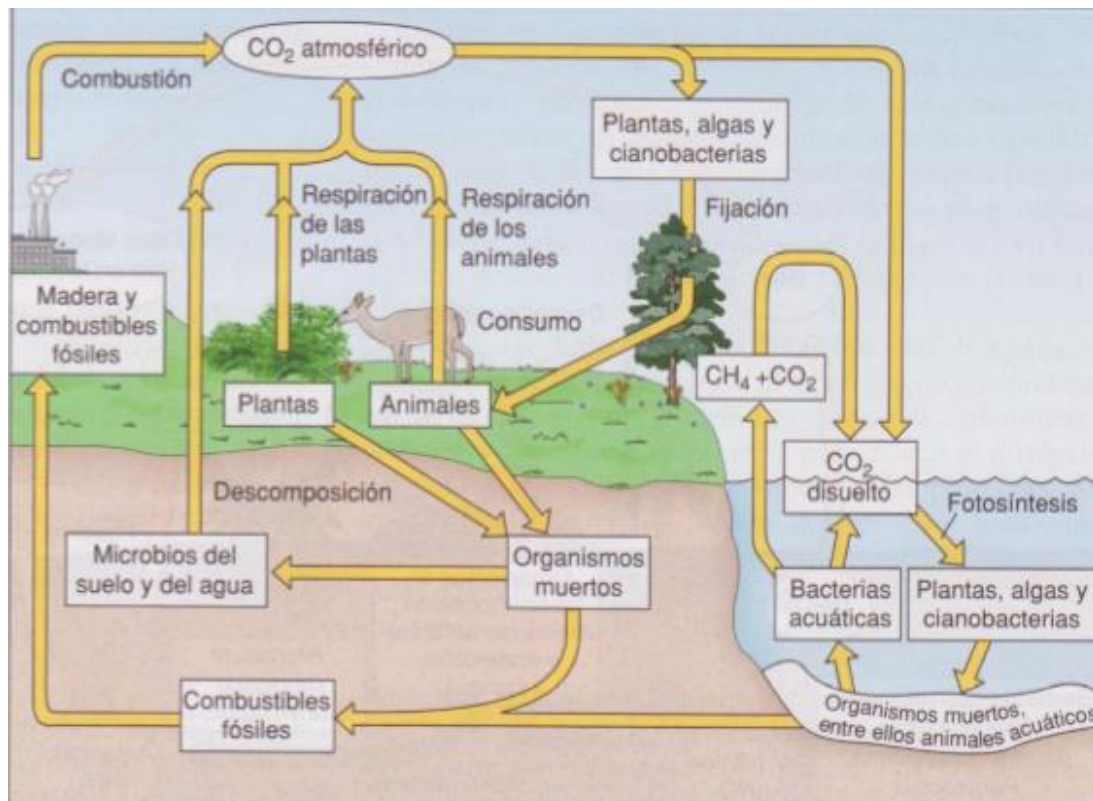
Gran parte del carbono presente en la atmósfera ocurre en la forma de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>, también conocido como gas carbónico). En menor proporción, el carbono atmosférico se presenta en la forma de metano (CH<sub>4</sub>), Perfluorocarbonos (PFCs) e Hidrofluorocarbonos (HFC). Todos estos son considerados Gases del Efecto de Invernadero (GEI), que contribuyen con el equilibrio térmico de la Tierra. Cualquier actividad relacionada al uso del suelo que modifique la cantidad de biomasa en la vegetación y en el suelo, tiene el potencial de alterar la cantidad de carbono almacenado y emitido hacia la atmósfera, lo que influencia directamente en la dinámica del clima de la Tierra.

El intercambio de carbono entre el reservorio terrestre y el atmosférico es el resultado de procesos naturales de la fotosíntesis y respiración, y de la emisión de gases causada por la acción humana. La captura de carbono por medio de la fotosíntesis ocurre cuando las plantas absorben energía solar y CO<sub>2</sub> de la atmósfera, produciendo oxígeno e hidratos de carbono (azúcares como la glucosa), que sirven de base para su crecimiento. Por medio de este proceso las plantas fijan el carbono en la biomasa de la vegetación, y consecuentemente constituyen, junto con sus residuos (madera

muerta y hojarasca), un stock natural de carbono. El proceso inverso ocurre con la emisión de carbono por medio de la respiración de las plantas, animales y por la descomposición orgánica (forma de respiración de las bacterias y hongos).

Parte del carbono presente en el suelo regresa a la atmósfera a través del proceso de mineralización del carbono orgánico. De forma natural, otra parte del carbono orgánico es llevado por los ríos hasta llegar a los océanos, donde se deposita en forma de carbonatos ( $\text{CO}_3$ ). Este proceso también puede ser acentuado por la acción humana. El cambio de carbono entre el reservorio oceánico y el atmosférico ocurre por medio de procesos químicos que establecen un equilibrio entre las capas superficiales de los océanos y las concentraciones en el aire sobre la superficie. La cantidad de  $\text{CO}_2$  que el océano absorbe depende de la temperatura del mismo y de la concentración ya presente, de tal manera que temperaturas más altas del agua pueden causar la emisión de  $\text{CO}_2$ . (Tito, Leon, & Porro, 2009)

### **Figura N° 3: Ciclo del carbono**



*Fuente:* (Izquierdo & Yuste)

### 1.1.23 Dióxido de carbono.

Gas incoloro e inodoro, parte fundamental de la atmósfera terrestre. Es la base de la vida en la tierra como parte fundamental de la fotosíntesis de las plantas y emitido por la respiración de todos los seres vivos o la combustión y descomposición de la materia orgánica. Su tiempo de permanencia en la atmósfera es muy grande, esto es entre 50 y 200 años. (Arismendi, 2008)

### 1.1.24 Densidad aparente del suelo (DA)

La masa del suelo seco por unidad de volumen aparente. (Petre, Panigatti, & Ferrer, 2012)

## Cuadro N° 3: Densidad aparente

<b>Textura</b>	<b>Densidad aparente (g/cm<sup>3</sup>)</b>
Arenoso	1.50-1.80
Franco arenoso	1.40-1.60
Franco	1.30-1.50
Franco arcilloso	1.30-1.40
Arcilloso	1.20-1.30

*Fuente: LUQUE, L. (1989) citado en (Sánchez)*

#### **1.1.25 Tabla Munsell**

El color del suelo ayuda considerablemente a identificar el tipo de suelo en el campo o laboratorio, también indica la oxidación o reducción química en el suelo, pasada o presente, de la piedra original debido a la erosión.

El color puede oscurecerse con la materia orgánica, adquirir un color amarillo, marrón o rojo ante la presencia de óxidos férricos y puede adquirir un color negro debido al manganeso y otros óxidos.

Los horizontes del suelo y subsuelos pueden ser reconocidos por las variaciones en el color. Para describir lo anteriormente expuesto, se usa la tabla Munsell de suelos. (Portalfruticola, 2016)

#### **1.1.26 Muestra simple (submuestra)**

Es una muestra que se toma a cada horizonte del suelo. Este tipo de muestreo es el que se impone actualmente ya que a partir de éste obtenemos resultados más puntuales y exactos sobre las características del suelo. (Giraldo, 2013)

#### **1.1.27 Muestra compuesta**

Es aquella constituida por un conjunto de muestras simples (sub muestras), convenientemente mezcladas, y llevadas al laboratorio para su correspondiente análisis, siendo el resultado un valor analítico medio de la propiedad o compuesto analizado. El número de sub muestras dependerá de la variabilidad de la sustancia o propiedad a analizar en el área de estudio y tiene la ventaja de permitir un muestreo mayor sin aumentar el número de muestras a analizar. (Ministerio de Medio ambiente, 2015)

## **1.2 Marco conceptual**

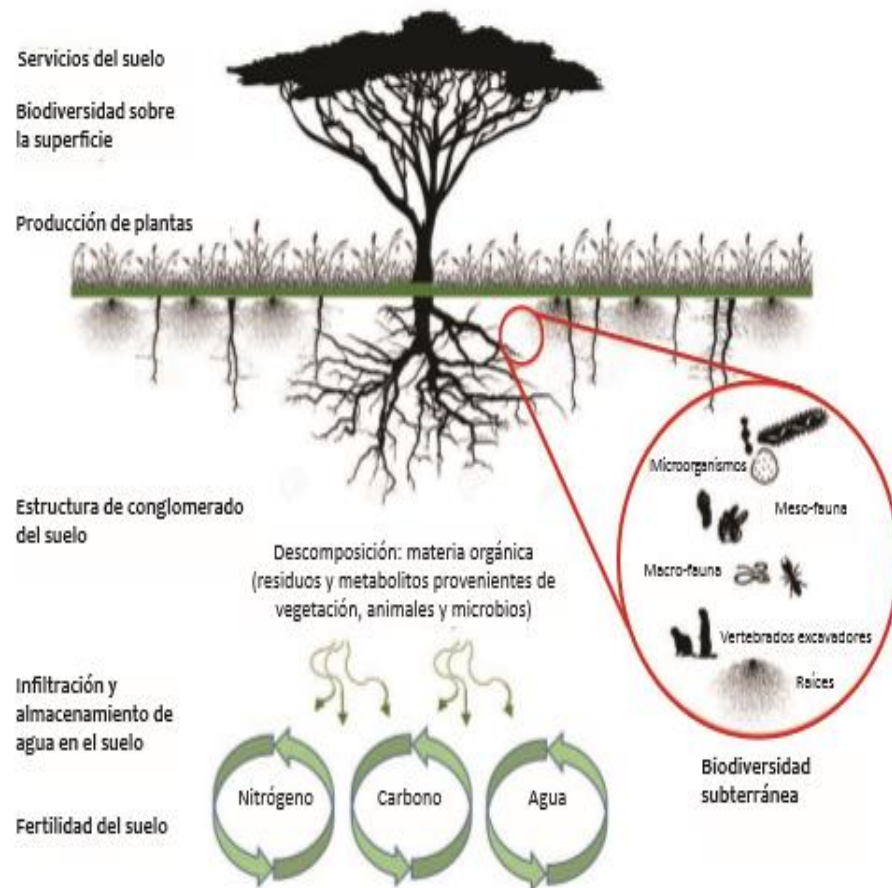
### **1.2.1 Suelo.**

Se entiende por suelo la superficie de territorio nacional que puede ser utilizada para fines de producción agropecuaria, mineral o forestal. (Sanchez & Guiza, 1989)

El suelo está compuesto por minerales, materia orgánica, diminutos organismos vegetales y animales, aire y agua. Es una capa delgada que se ha formado muy lentamente, a través de los siglos, con la desintegración de las rocas superficiales por la acción del agua, los cambios de temperatura y el viento. Las plantas y animales que crecen y mueren dentro y sobre el suelo son descompuestos por los microorganismos, transformados en materia orgánica y mezclados con el suelo. (FAO, 1996)

Para el presente trabajo de investigación, el suelo es de mucha importancia debido a que en el mismo se desarrolla la vida, que da lugar a la descomposición de la materia orgánica y en el cual se realizan las diferentes actividades antrópicas, las cuales influyen el almacenamiento de carbono orgánico en el suelo.

## **Figura N° 4: Servicios del suelo**



(Metternicht, & Davies, 2017)

### 1.2.2 Carbono.

Elemento no metálico esencial para la vida; su símbolo es C. Todos los compuestos orgánicos contienen uno o más átomos de carbono; por lo tanto, es también un constituyente de los combustibles fósiles. (Área de desarrollo sostenible y salud ambiental, 2003)

El carbono es un elemento químico que cuenta con gran facilidad para combinarse con otros elementos no metálicos (como el hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, fósforo y azufre) y también con otros átomos de carbono, puede generar estructuras tridimensionales que son muy importantes para la formación de biomoléculas, como

las proteínas o los ácidos nucleicos, que tienen importantísimas funciones de los seres vivos. (Enciclopedia de Clasificaciones, 2017)

### **1.2.3 Metano**

El CH<sub>4</sub> es 28 veces más potente como GEI que el CO<sub>2</sub> (IPCC, 2007). El metano es liberado de los suelos a través de un proceso llamado metanogénesis que se produce durante la descomposición de la materia orgánica en condiciones anaeróbicas (en ausencia de oxígeno). Los suelos encharcados, en particular los humedales, las turberas y los arrozales, son la mayor fuente de emisiones de metano (FAO y GTIS, 2015). En contraste, los suelos también tienen un notable potencial de almacenamiento de los principales componentes de los GEI. Bajo condiciones aerobias (o en presencia de oxígeno), las bacterias metanotróficas del suelo prosperan y usan el metano como fuente de carbono en un proceso llamado metanotrofia que oxida el metano. Como tal, los suelos forestales tienden a ser buenos depósitos para el metano debido a su bajo nivel freático que permite que estas bacterias crezcan (Serrano-Silva et al., 2014). Citado en (FAO, 2017)

### **1.2.4 Antrópico.**

Neologismo técnico de la ecología que se refiere a aspectos o situaciones que tienen origen o son consecuencia de las actividades del ser humano sobre el ambiente o los ecosistemas y que causan efectos de modificación de las condiciones naturales (p.e. actividades agrícolas, de construcción de infraestructuras, expansión de ciudades, etc.). (Arismendi, 2008)

Es por ello que con antrópico se designa todo lo que es relativo al ser humano, por oposición a lo natural, y especialmente se aplica a todas las modificaciones que sufre lo natural a causa de la acción de los humanos. (DeConceptos.com, 2019)

### **1.2.5 Pastizal**

Los pastizales son ecosistemas naturales o de origen antrópico dominados por hierbas que sirven de pasto, es decir que son alimento para los herbívoros. Los pastos



generalmente son hierbas de la familia de las gramíneas (Poaceae) y se estima que los pastizales ocupan la cuarta parte de la tierra. (Castro, 2019)

Son comunidades vegetales donde predominan los pastos con pocos árboles y arbustos. Pueden ser producto del desmonte de terrenos boscosos. (Biodiversidad Mexicana, 2019)

### **1.2.6 Matorral**

El matorral es una formación vegetal caracterizada por el predominio de arbustos y árboles de porte bajo. Este término se aplica a ecosistemas diferentes, tanto de zonas templadas como tropicales. Puede estar constituida por vegetación primaria o madura, así como de tratarse de una formación secundaria producto de intervención antrópica. (Castro, 2019)

### **1.2.7 Biodiversidad.**

Variabilidad entre los organismos vivos de los ecosistemas terrestres, marinos y de otro tipo. La biodiversidad incluye la variabilidad de los genes, las especies y los ecosistemas. (IPCC, 2014)

Se la define como la “Variedad y variabilidad entre los organismos vivos y los complejos ecológicos en los cuales ellos ocurren”. (Arismendi, M.O, 2008).

### **1.2.8 Deforestación.**

Deforestación significa eliminar la cobertura de los árboles en aras de la agricultura, actividades mineras, represas, creación y mantenimiento de la infraestructura, expansión de las ciudades y otras consecuencias debidas a un crecimiento rápido de la población. (PENUMA, 2000)

También llamado desbosque o desmonte, es la destrucción o eliminación de superficies de bosques por tala y quema, el resultado neto es el avance de las fronteras agropecuarias. Esta pérdida de bosques puede ser súbita y devastativa, removiendo grandes extensiones de bosques de una sola vez, por ejemplo, para cultivo de soya o para ganadería de reemplazo, o puede ser progresiva, debido a

procesos una creciente fragmentación, como es el caso de la colonización. (Arismendi, M.O, 2008).

### **1.2.9 Desertificación.**

Por "desertificación" se entiende la degradación de las tierras de zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas resultantes de diversos factores, tales como las variaciones climáticas y las actividades humanas. (UNCCD, 1977)

Fenómeno degradativo de la vegetación y los suelos en regiones secas, áridas, y hasta subhúmedas, que conduce a que los ecosistemas y paisajes de zonas normalmente áridas, paulatinamente vayan adquiriendo una fisonomía de desierto. (Arismendi, 2008)

### **1.2.10 Ecosistema.**

Sistema abierto integrado por todos los organismos vivos (incluyendo al hombre) y los elementos no vivientes de un sector ambiental definido en el tiempo y en el espacio, cuyas propiedades globales de funcionamiento y autorregulación derivan de las interacciones entre sus componentes, tanto pertenecientes a los sistemas naturales como aquellos modificados u organizados por el hombre mismo. (Sanchez & Guiza, 1989)

Unidad funcional que consta de organismos vivos, su entorno no vivo y las interacciones entre ellos, los componentes incluidos en un ecosistema concreto y sus límites espaciales dependen del propósito para el que se defina el ecosistema: en algunos casos son relativamente precisos, mientras que en otros son difusos. Los límites de los ecosistemas pueden variar con el tiempo. Los ecosistemas se organizan dentro de otros ecosistemas, y la escala a la que se manifiestan puede ser desde muy pequeña hasta el conjunto de la biosfera. En la era actual, la mayoría de los ecosistemas contienen seres humanos como organismos fundamentales, o bien influyen en ellos los efectos de las actividades humanas en su entorno. (IPCC, 2014)

### **1.2.11 Degradación**

Término que define el fenómeno de la transformación de la materia orgánica, u otro material orgánico, a través de una secuencia, en la que pierde paulatinamente su energía oxidable (C), se forman ácidos orgánicos (húmicos y fúlvicos) y finalmente se mineralizan sus elementos nutritivos. (Petre, Panigatti, & Ferrer, 2012)

### **1.2.12 Conservación.**

Sinónimo de mantener algo, de realizar esfuerzos para que algo permanezca o perdure en el tiempo. En la gestión ambiental es el conjunto de acciones tendientes para asegurar la protección y el aprovechamiento adecuado de un ecosistema, especie o recurso, e implica el logro de acciones que aseguren la sostenibilidad y la renovabilidad de los recursos. Una de las bases de la conservación, se fundamenta en el mantenimiento de los sistemas sustentadores de la vida o procesos ecológicos que mantienen el planeta apto para la vida, pues éstos configuran el clima, purifican el aire y el agua, regulan el caudal de aguas, reciclan los elementos esenciales para la vida, crean y regeneran el suelo y permiten que los ecosistemas se renueven y se mantengan productivos. (Arismendi, M.O, 2008)

La conservación es la acción de cuidar algo, para que este objeto, persona o recurso sea perdurable en el tiempo, manteniendo intactas sus cualidades. (Diccionario Actual)

### **1.2.13 Erosión**

Es el proceso de remoción, transporte y depósito de sedimentos o partículas de suelo, inducido por agentes erosivos como la escorrentía superficial, el viento y la labranza. ( Ministerio de Medio Ambiente, 2014)

Conjunto de procesos externos sobre la corteza terrestre que modifican la forma del relieve, actuando el agua y el viento como agentes erosivos fundamentales, los cuales ocasionan el transporte de los materiales y la sedimentación. Es un proceso natural relacionado con la meteorización de la superficie terrestre, pero que puede agravarse por efecto de las actividades degradativas que ocasionan las actividades humanas

sobre la vegetación (talas o desmontes, quemas, sobrepastoreo y cultivos en pendientes) y que se acrecienta en zonas de topografía accidentada por el efecto de la gravedad sobre el arrastre del agua y las partículas. (Arismendi, 2008)

#### **1.2.14 Sumidero**

Todo proceso, actividad o mecanismo que remueve de la atmosfera un gas de efecto invernadero, un aerosol, o un precursor de cualquiera de ellos. (IPCC, 2014)

#### **1.2.15 Secuestro**

Incorporación (esto es, la adición de una sustancia de interés a un reservorio) de sustancias que contienen carbono, en particular, dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), en reservorios terrestres o marinos. El secuestro biológico consiste, en particular, en la remoción directa de CO<sub>2</sub> de la atmósfera mediante el cambio de uso del suelo, la forestación, la reforestación, la renovación de la vegetación, el almacenamiento de carbono en vertederos, y otras prácticas que aumentan el contenido de carbono en el ámbito de la agricultura (gestión de tierras agrícolas y gestión de pastos). (IPCC, 2014)

### **1.3 Marco legal**

#### **1.3.1 Constitución Política del Estado Plurinacional de Bolivia**

#### **CUARTA PARTE**

#### **Título II**

#### **Medio Ambiente, Recursos Naturales, Tierra y Territorio**

#### **Capítulo Séptimo**

#### **Biodiversidad, coca, áreas protegidas y recursos forestales**

#### **Sección I**

## **Biodiversidad**

Artículo 380.

I. Los recursos naturales renovables se aprovecharán de manera sustentable, respetando las características y el valor natural de cada ecosistema.

II. Para garantizar el equilibrio ecológico, los suelos deberán utilizarse conforme con su capacidad de uso mayor en el marco del proceso de organización del uso y ocupación del espacio, considerando sus características biofísicas, socioeconómicas, culturales y político institucionales. La ley regulará su aplicación.

### **1.3.2 Ley N° 1333 ley del medio ambiente.**

#### **Título I disposiciones generales**

##### **Capítulo I objeto de la ley**

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.

#### **Título IV**

##### **De los recursos naturales en general**

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.

## **Capítulo IV**

### **Del recurso suelo**

Artículo 43°. - El uso de los suelos para actividades agropecuarias forestales deberá efectuarse manteniendo su capacidad productiva, aplicándose técnicas de manejo que eviten la pérdida o degradación de los mismos, asegurando de esta manera su conservación y recuperación.

Las personas y empresas públicas o privadas que realicen actividades de uso de suelos que alteren su capacidad productiva, están obligadas a cumplir con las normas y prácticas de conservación y recuperación.

#### **1.3.3 Ley N° 300 Ley Marco de la Madre Tierra y Desarrollo Integral para Vivir Bien**

Artículo 24. (Agricultura, pesca y ganadería). Las bases y orientaciones del Vivir Bien, a través del desarrollo integral en agricultura y ganadería son:

2. Maximizar la eficiencia productiva y energética para minimizar "el avance de la frontera agrícola, la afectación irreversible a las zonas de vida, y el uso y aprovechamiento de otros componentes de la Madre Tierra.

3. Establecer los límites máximos de uso y aprovechamiento de los componentes de la Madre Tierra de acuerdo a cada zona y sistema de vida.

6. Promover e incentivar la agricultura y ganadería empresarial siempre y cuando incorporen tecnologías y prácticas que garantizan la capacidad de regeneración de las zonas, y sistemas de vida, el incremento de la productividad de carácter diversificado y ecológico, para garantizar la soberanía y seguridad alimentaria.

14. Promover e incentivar "la agricultura urbana y periurbana en armonía y equilibrio con la Madre Tierra para el consumo familiar.

### **1.3.4 Protocolo de kyoto de la convención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático**

#### Artículo 3

3. Las variaciones netas de las emisiones por las fuentes y la absorción por los sumideros de gases de efecto invernadero que se deban a la actividad humana directamente relacionada con el cambio del uso de la tierra y la silvicultura, limitada a la forestación, reforestación y deforestación desde 1990 calculadas como variaciones verificables del carbono almacenado en cada periodo de compromiso

4. Antes del primer período de sesiones de la Conferencia de las Partes en calidad de reunión de las Partes en el presente Protocolo, cada una de las Partes incluidas en el anexo I presentará al Órgano Subsidiario de Asesoramiento Científico y Tecnológico, para su examen, datos que permitan establecer el nivel del carbono almacenado correspondiente a 1990 y hacer una estimación de las variaciones de ese nivel en los años siguientes. Determinará las modalidades, normas y directrices sobre la forma de sumar o restar a las cantidades atribuidas a las actividades humanas adicionales relacionadas con las variaciones de las emisiones por las fuentes y la absorción por los sumideros de gases de efecto invernadero en las categorías de suelos agrícolas y de cambio del uso de la tierra y silvicultura y sobre las actividades que se hayan de sumar o restar.

**CAPÍTULO II**  
**METODOLOGÍA Y MÉTODOS**



## **CAPÍTULO II**

### **MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **2.1 Características del área de estudio**

##### **2.1.1 Ubicación.**

Geográficamente la comunidad de Pampa Redonda se encuentra ubicada entre las coordenadas: Este 310258.8, Norte 7606641.3

La comunidad de Pampa Redonda, se encuentra ubicada en el cantón Tolomosa, perteneciente a la Provincia Cercado del Departamento de Tarija, para la Red Vial de la Comunidad de Pampa Redonda se debe recorrer unos 25 km, por el tramo Ciudad de Tarija – Tolomosa (camino asfaltado) que forma parte de la Red Vial Fundamental en una longitud de 20 Km. y el tramo por un camino secundario que forma parte de la red municipal Tolomosa – Pampa Redonda en una longitud de 5 km (camino asfaltado)

La comunidad de Pampa Redonda se encuentra ubicado dentro los límites políticos administrativos de:

Al Norte con la comunidad de Churquis.

Al Sur con la comunidad de Tunal.

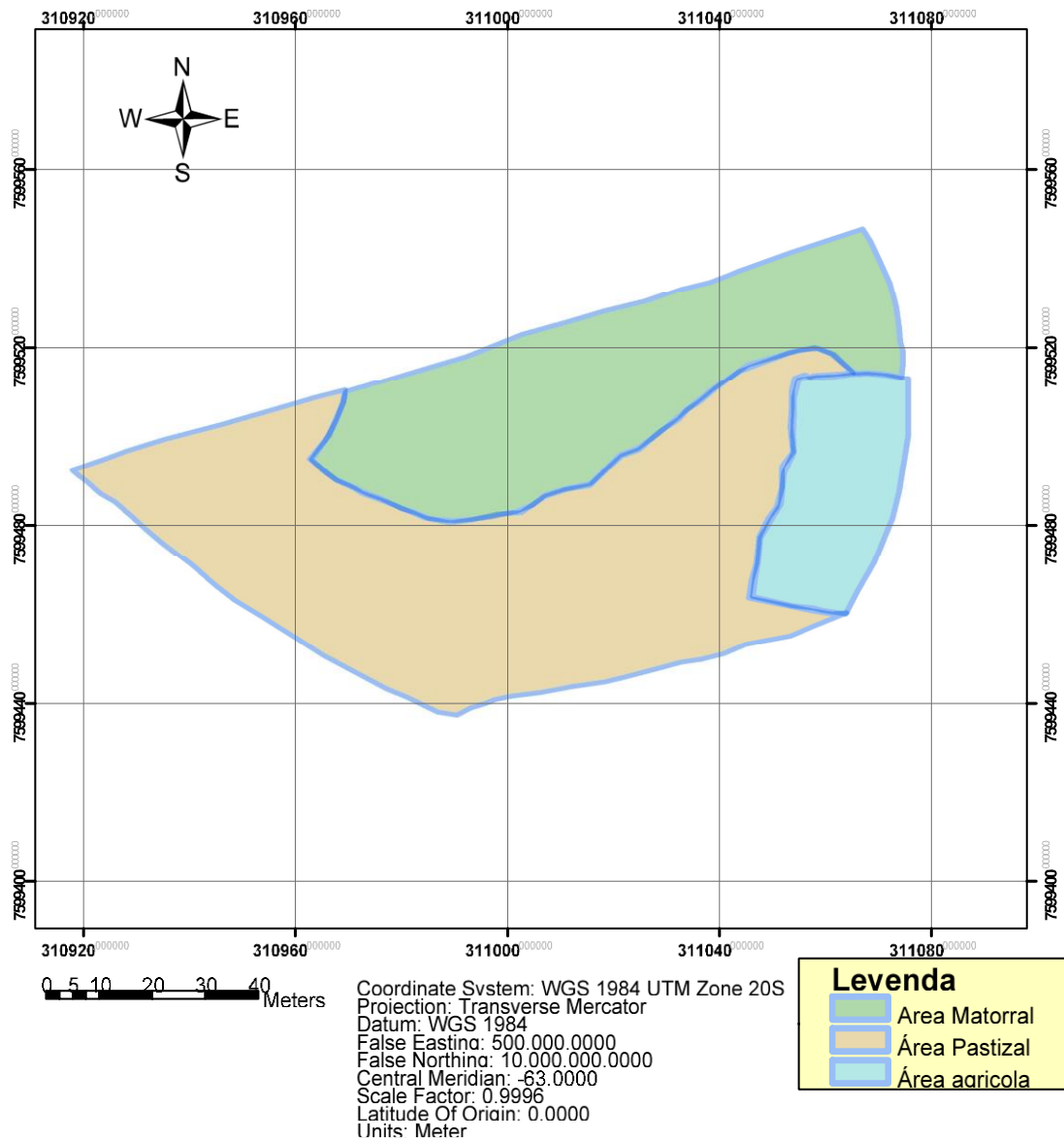
Al Este con el Municipio de Uriondo.

Al oeste con la comunidad de Pinos.



suelo, así como un relieve menos sensible a la erosión, en el cual se identificaron los puntos de muestreo.

**Figura N° 6: Mapa de ubicación geográfica del área de investigación**



*Fuente: Elaboración propia ArcMap*

### 2.1.3 Factores abióticos.

Según el (Plan de Desarrollo Municipal, 2005-2009) el área de influencia tiene las siguientes características:

### ***2.1.3.1 Clima.***

Se toma como base de datos meteorológicos a la estación de Juntas, en la que se presentan los siguientes valores de temperatura media anual de 18,1° C, con una temperatura mínima extrema de -8° C y una temperatura máxima extrema de 40,0° C.

El clima de la ciudad de Tarija y el valle en la que se encuentra, predomina durante la mayor parte del año un clima templado o mesotérmico, sin embargo durante los inviernos (especialmente durante el mes de julio) la temperatura suele bajar de los 0° C llegando a disminuciones térmicas inusuales para la latitud y altitud, la comunidad de Pampa Redonda se encuentra en el cantón Tolomosa, al sur oeste de la provincia Cercado, a una altura promedio de 1900 m.s.n.m.. Al igual que el caso anterior con alturas y temperaturas iguales, con clima templado semihúmedo.

### ***2.1.3.2 Precipitación.***

La precipitación se caracteriza por periodos relativamente cortos de lluvias (noviembre-abril), con regímenes de precipitaciones muy variables en cuanto a frecuencia e intensidad y con un periodo largo de estiaje (mayo-octubre), periodo en el cual es más notorio el déficit de agua en las subcuencas del Guadalquivir y Tolomosa.

Como base de datos meteorológicos a la estación de Juntas, en la que se presentan valores de precipitación anual de 734,4 milímetros.

### ***2.1.3.3 Uso de la tierra.***

De acuerdo con el (Plan de Uso de Suelo del Departamento de Tarija, 2002) del Municipio de Cercado, la zona de estudio está clasificada de la siguiente manera:

La comunidad Pampa Redonda, se encuentra en su integridad en el Municipio de Cercado del departamento de Tarija, comprendiendo dos unidades de suelos.

La aptitud calificada para las dos unidades, es adecuado por: (I) tener una potencialidad para desarrollar una actividad agropecuaria extensiva, ya que se puede desarrollar una agricultura anual o perenne extensiva, en estrecha relación, con el

pastoreo del ganado que sirve de tracción para las labores culturales de la producción agrícola y que aprovechan el forraje del residuo de las cosechas, entonces no se afecta la productividad del suelo y mantiene la sostenibilidad del recurso natural, especialmente para los cultivos anuales de siembra a temporal, en papa, maíz grano, trigo, avena, cebada, arveja grano, haba grano, maní y cultivos perennes extensivos, como los frutales de durazno, manzana, pera e higo. Cabe señalar que en la evaluación económica, los cultivos de maíz, grano y durazno, califican como moderadamente apta (2) debido a que su rentabilidad en maíz para grano es regular, como en frutales también es regular, ya que mayormente la producción es destinada para el autoconsumo y muy poco para el mercado, además hay que señalar que el producto de la chala de maíz ha sido considerado dentro la evaluación económica ya que su uso es esencial como forraje para los animales de tracción o trabajo.

La primera unidad de llanura de pie de monte muestra una cualidad dentro las condiciones de laboreo, con pendientes onduladas (5 – 8 %), con suelos profundos, de textura media de franco arcillo arenoso, de imperfectamente drenado y pedregosidad dominante; respecto a la humedad disponible, con las características de precipitación moderada de (300 – 450 mm promedio anual), puede almacenar agua higroscópica adecuada, para la planta, además de ser profunda y con textura media; la otra cualidad es la disponibilidad de nutrientes, con las características de pH ligeramente ácido a ligeramente alcalino de 7,4, total de bases intercambiables apta mayor a 3,5, pero respecto a la presencia de fosfatos es moderada de (5 – 15 ppm), y carbono orgánico adecuado mayores a 2%; respecto a la susceptibilidad a la erosión, por sus características de pendiente y sin cambios de textura abrupta dentro los 50 cm de profundidad y sin contacto lítico, muestra que tiene poca susceptibilidad a la erosión hídrica, y por último la cualidad de temperatura y riesgo a heladas, toma una aptitud adecuada.

La segunda unidad es muy parecida a la primera, solo diferenciándose en la disección que es moderada y el material es coluvial, pero a nivel de cualidad solo se diferencia en las condiciones laborales en el drenaje que es bien drenado y la pedregosidad

superficial es abundante, además en la humedad disponible se diferencia por ser apta con la precipitación de (600 – 1000 mm promedio anual), y con respecto a la disponibilidad de nutrientes se diferencia que su pH es moderadamente alcalino y la presencia de fosfatos es inadecuada, y las dos últimas cualidades de susceptibilidad a la erosión, temperatura y riesgo a heladas es parecida a la unidad anterior.

Para las dos unidades corresponde al tipo climático de templado semihúmedo, frío semiárido y frío árido, al presentar una agricultura de siembra a temporal solo tiene humedad almacenada por la temporada de lluvias.

#### **2.1.4 Factores bióticos.**

##### **2.1.4.1 Vegetación.**

Según (Plan de Desarrollo Municipal, 2005-2009) la vegetación que se puede observar en la comunidad de Pampa Redonda se caracteriza o corresponde a las siguientes especies vegetales:

#### **Matorral mayormente caducifolio deciduo por sequía montano (hediondillar churquial)**

Esta formación vegetal churquial, tiene una superficie de 595,549 Has. (Con el 0,24 % del resto de las unidades), se ubica entre la comunidad de Pampa Redonda y Pampa Redonda Norte, con altitudes de 1700 a 1900 msnm., el clima es frío árido, fisiográficamente se ubica en una llanura de pie de monte, con disección fuertes (pendientes ondulado 5- 8 por ciento)

El matorral corresponde a una cobertura de arbustos semidensa, con importantes especies como:

*Cestrum parqui* (hediondilla chica, amarilla, playera), *Acacia caven* (churqui negro), *Prosopis feroz* (churqui amarillo), el estrato arbóreo presenta coberturas claras o abiertas, está representado por especies como: *Schinus molle* (molle), *Geoffroea decorticans* (chañar) y *Prosopis nigra* (algarrobo), el estrato herbáceo presenta

coberturas densas, con especies de *Solanum palitans* (ñusco), *Sida sp.* (potrahuatana) y *Equisetum sp.* (Cola de caballo).

**Matorral extremadamente xeromorfo semidecíduo montano (chismal-churquial)**

El área de formación matorral, tiene una superficie de 3.860,784 Has. (Corresponde al 1,54 % de las demás unidades), tiene una ubicación noreste en forma de una franja desde norte a suroeste, desde la Comunidad de Pampa Redonda y la Comarca de Lajas, con altitudes de 1.700 a 2.200 msnm y clima templado árido, fisiográficamente se ubica entre colinas medias, con disección moderada y pendientes entre 30-60 por ciento.

Esta formación vegetal se caracteriza por conformar un matorral xeromórfico constituida por especies arbustivas, con coberturas densas y con el estrato superior de altura media, las especies que caracterizan esta formación son: *Baccharis sp.2* (thola floja) y *Acacia caven* (churqui negro), la cobertura del estrato arbóreo es clara, con alturas bajas, dos especies son representativas como: *Prosopis nigra* (algarrobo) y *Schinus molle* (molle), con referencia al estrato herbáceo, presenta un estrato superior de altura media como promedio y una cobertura abierta, las especies que caracterizan esta conformación son: *Lippia turbinata* (poleo), *Dichondra sp.* (Oreja de mono) y *Dryopteris sp.* (Helecho 1).

**Matorral extremadamente xeromórfico mayormente espinoso montano (hediondillar sisical)**

Esta formación matorral, tiene una superficie de 904,135 Has. (Con el 0,36% del resto de las unidades), se ubica en el extremo noreste, en los alrededores de las Comunidades de Pampa Redonda Norte y Sur, con altitudes de 2.100 a 2.200 msnm., con climas de frío árido, fisiográficamente se ubica entre llanuras de pie de monte, con disección fuerte, con pendientes de 30-60 por ciento.

El matorral de la zona se caracteriza por estar conformado por especie caracterizadas como hediondillas, sisico y tholascomo, las especie características son: *Cestrum*

*parqui* (hediondilla chica , amarilla, playera), *Lycium cestroides* (sisico) y *Baccharis* sp.2 (thola floja), El estrato arbóreo es de cobertura escasa con especie representativas de *Schinus molle* (molle) y *Prosopis nigra* (algarrobo), el estrato herbáceo presenta mayor cobertura, determinadas como semidensas con especies como: *Capsicum chacoense* (cobincho), *Capsicum sp.* (ulupica) y *Solanum palitans* (ñusco).

#### **2.1.4.2 Principales Actividades Económicas.**

Las principales actividades económicas en la comunidad de Pampa Redonda, se diferencia en la agricultura y la ganadería, siendo la primera la que cobro interés económico en la comunidad y es la fuente que rinde mayor beneficio.

##### **a) Agricultura**

Con relación a la actividad agrícola, ésta se desarrolla de manera tradicional ocupando la mano de obra familiar en las labores de preparación de suelo, labores culturales y cosecha.

Los cultivos de importancia económica y seguridad alimentaria son la arveja (verde), cebolla (cabeza), lechuga y hortalizas, papa (precoz), maíz (choclo), cucurbitáceas y haba (verde).

##### **b) Ganadería**

La actividad ganadera se realiza a nivel familiar, con la crianza de ganado vacuno, porcino, caprino y aves; la cantidad de ganado existente está de acuerdo a las posibilidades de las familias.

#### **2.1.4.3 Salud.**

En cuanto a los servicios de salud se observa que la Comunidad de Pampa Redonda, tiene un establecimiento de salud categorizado como Centro de Salud, por lo que las personas de la comunidad y de comunidades vecinas asisten para ser atendidos por motivos de salud. Respecto al personal de cuenta con un médico general, un odontólogo y enfermeras.



#### ***2.1.4.4 Educación.***

Respecto a la educación en la comunidad de Pampa Redonda, existe una infraestructura que presta servicio a los niños del nivel inicial, primario y secundario, lo que significa que el nivel de cobertura es bueno porque asisten 80 alumnos, los cuales son atendidos por 12 profesores.

#### ***2.1.4.5 Situación actual del medio Ambiente y riesgos de desastres***

De acuerdo a los datos del (Plan de Desarrollo Municipal, 2005-2009), en determinados territorios se presentan situaciones adversas, amenazas de origen natural (climáticas, geológicas y otras) o las ocasionadas por el ser humano (deterioro y contaminación ambiental, incendios forestales). Esta potencial ocurrencia de sucesos adversos que se manifiestan en un lugar específico, con una intensidad, magnitud y duración determinada, permite identificar áreas vulnerables, que son situaciones de peligro, en que la vida, la salud, el hábitat y los bienes de las personas están amenazados de manera directa por los efectos destructivos de los fenómenos ambientales, naturales. En este contexto, los aspectos físicos, sociales, ambientales, económicos, educativos, políticos y culturales; contribuyen a la conformación de la vulnerabilidad.

#### ***2.1.4.6 Amenaza de sequía.***

La sequía es un fenómeno recurrente del clima en algunas regiones, se origina por la deficiencia de precipitación o de agua en el sistema productivo en un periodo extendido de tiempo. En el Municipio de Cercado existen zonas con amenaza de sequía, especialmente en la zona de la Cordillera Oriental, donde la precipitación es baja, que no es suficiente para el desarrollo del ciclo vegetativo de los cultivos.

#### ***2.1.4.7 Amenaza de heladas.***

De manera general el riesgo a la amenaza de heladas es bajo, aproximadamente el 48,68% del territorio, prácticamente una mitad de la superficie municipal, estas zonas están ubicadas en el subandino que presentan temperaturas promedio más elevadas que la parte occidental, lo que no significa que en la zona de transición no se

presenten descensos de temperatura inferiores a los 0 °C, sino lo que sucede es que el número de días que el termómetro baja a temperatura de congelación es menor con relación al área occidental.

El 22.31% de la superficie tiene un riesgo alto a las heladas, ubicado en las partes montañosas del municipio, pero también este riesgo se presenta en los valles ubicados de norte a sur en el subandino.

#### ***2.1.4.8 Amenaza de erosión hídrica.***

La erosión es una de las principales evidencias de la degradación de los recursos suelo y vegetación como resultado de la disminución de la cobertura vegetal y la pérdida de los suelos; que tiene consecuencias económicas y sociales muy fuertes, tanto en el lugar donde se pierde el suelo y sus características de productividad como en los sitios donde se deposita el material, ocasionando serios problemas a infraestructuras que se tienen aguas abajo, como así el desequilibrio hidrológico como ejemplos de las consecuencias múltiples que puede presentar este fenómeno cuando alcanza intensidades que se las puede calificar de aceleradas para las condiciones naturales que se analizan.

El territorio municipal está con una amenaza significativa de erosión, el 14% del territorio está con muy alto y el 36,34% con una alta amenaza, lo que nos permite señalar que aproximadamente la mitad del territorio. La misma que tiene una correlación muy alta con los paisajes montañosos y de serranías de climas semiáridos donde la cobertura vegetal brinda muy poca protección contra los efectos del impacto de las gotas de lluvia y la escorrentía superficial. La otra mitad del territorio se encuentra en los grados moderado y bajo con 42.28%.

## **2.2 Materiales**

- c) Libreta.
- d) Tabla Munsell.
- e) Cámara fotográfica.
- f) Flexómetro.

- g) Bolsas para muestras de suelo.
- h) Maskin.
- i) Marcador.
- j) Cilindro de hierro.
- k) Combo.
- l) Pala de punta.
- m) Bandeja.
- n) Balde.
- o) Madera.
- p) Cuchara grande.
- q) Puntero de albañilería.
- r) Cuchillo.

### **2.3 Metodología**

El presente trabajo de investigación se realizó bajo el enfoque cuantitativo ya que la investigación cuantitativa tiene que ver con la “cantidad” y, por tanto, su medio principal es la medición y el cálculo. En general, busca medir variables con referencia a magnitudes. Tradicionalmente se ha venido aplicando con éxito en investigaciones de tipo experimental, descriptivo, explicativo y exploratorio, aunque no exclusivamente. (Rojas, 2011)

Se sacó muestras de los diferentes usos del suelo (agrícola, matorral y pastizal) para carbono Orgánico del Suelo, densidad aparente y materia orgánica, se llevaron a laboratorio para su respectivo análisis, donde los resultados obtenidos fueron el COS y MO en porcentaje y la densidad aparente en g/cc.

#### **2.3.1 Tipo o método de investigación.**

##### ***2.3.1.1 El estudio exploratorio***

Como su nombre lo indica, se trata de una investigación cuyo propósito es proporcionar una visión general sobre una realidad o un aspecto de ella, de una manera tentativa o aproximativa. Los estudios exploratorios nos sirven para aumentar

el grado de familiaridad con fenómenos relativamente desconocidos, obtener información sobre la posibilidad de llevar a cabo una investigación más completa.

Para el presente trabajo de investigación se tuvo como base de datos generales, debido a la falta de información y a los pocos estudios que se realizaron sobre el tema del carbono orgánico del suelo en el departamento de Tarija.

### ***2.3.1.2 Investigación descriptiva.***

Su propósito es describir la realidad objeto de estudio, un aspecto de ella, sus partes, sus clases, sus categorías o las relaciones que se pueden establecer entre varios objetos, con el fin de esclarecer una verdad, corroborar un enunciado o comprobar una hipótesis. (Rojas, 2011)

Esta investigación permitió describir el uso del suelo con intervenciones naturales o antrópicas y analizar los resultados obtenidos del análisis de laboratorio de los parámetros químicos, COS y MO y del parámetro físico, la Da.

### ***2.3.1.3 La investigación explicativa***

La explicación también es un instrumento utilizado en muchos tipos de investigación; es casi que el objetivo final, la meta o la exigencia, ya que busca respuesta a una pregunta fundamental, por el deseo de conocer y saber del ser humano: “¿Por qué?”. Averigua las causas de las cosas, hechos o fenómenos de la realidad. La explicación es un proceso que va mucho más allá de la simple descripción de un objeto. Diríamos que es más avanzada, pues una cosa es evidenciar cómo es algo, o recoger datos y descubrir hechos en sí, y otra muy distinta explicar el por qué. “Este es el tipo de investigación que más profundiza nuestro conocimiento de la realidad, porque explica la razón, el porqué de las cosas, y es por lo tanto más complejo y delicado, pues el riesgo de cometer errores aumenta considerablemente”.

Al obtener los análisis de laboratorio de los parámetros de COS, Da y MO se realizó un análisis de la relación existente entre éstos, y la determinación del almacenamiento de carbono orgánico del suelo mediante la ecuación 1 para su posterior comparación

entre los diferentes usos actuales del suelo y proponer las prácticas sostenibles para el mismo.

### **2.3.2 Técnicas e instrumentos de recopilación de información.**

#### ***2.3.2.1 Técnica documental.***

Es una técnica basada en la recopilación de información secundaria (documentos, estudios de investigación).

Se realizó un estudio de bibliografías para tener mayor conocimiento al salir al área in situ, como instrumento se utilizó el registro de páginas electrónicas de bibliografías.

#### ***2.3.2.2 Técnica de la observación.***

El objetivo de la observación es obtener información de primera mano de los sujetos que están vivenciando el hecho observado. (Godinez, 2013)

Para el presente trabajo de investigación se realizó la visita al área in situ en el cual se tomaron fotografías y se ha observado el estado en el que se encuentra el área.

Como instrumento empleo la libreta de campo que me permitió tomar apuntes que quedaron registrados y la cámara fotográfica.

### **2.3.3 Estructura metodológica.**

La presente investigación comprende tres fases siendo estas las siguientes:

#### ***2.3.3.1 Fase de gabinete.***

##### ***a) Recopilación de información***

La fase de trabajo de gabinete inicial consistió en la recolección bibliográfica de información secundaria relacionado al tema de investigación, de libros como ser de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, estudios que se realizaron en otros países sobre el carbono orgánico de suelos, protocolos de muestreos de suelos, prácticas sostenibles en el uso del suelo, entre otros tipos de documentación.

***b) Investigación del uso de la tabla Munsell***

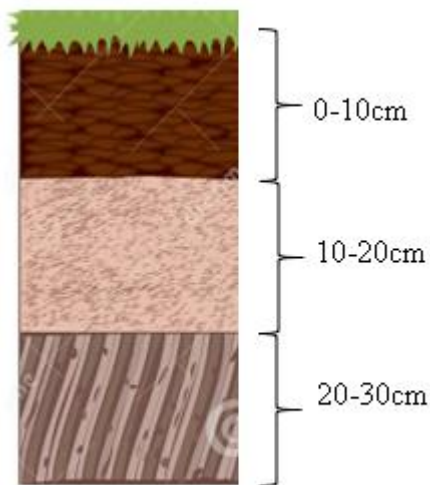
Se realizó la identificación del color de los perfiles con la tabla Munsell, la misma que sirvió para determinar el color del suelo y la relación que tiene el mismo con el contenido de materia orgánica.

***c) Diseño de muestreo.***

Es un método por el que cada muestra o propiedad del suelo tiene la misma probabilidad de ser tomada y considerada.

Se seleccionaron puntos de muestreos al azar, mediante la observación de los sitios más representativos para muestreo en el área, y que presenten características similares entre sí como ser: uso del suelo, pendiente, vegetación, erosión del suelo, donde se realizaron 6 puntos de muestreo en total (ver cuadro N°4), 2 puntos de muestreo por uso de suelo (agrícola, pastizal, matorral), a profundidades de 0-10 cm, 10-20cm y 20-30cm. (Ver figura 7)

**Figura N° 7: Profundidades de muestreo**



**Cuadro N° 4: Adaptación de la tabla de número mínimo de puntos de muestreo**

ÁREA DE POTENCIAL INTERÉS (HA)	PUNTOS DE MUESTREO EN TOTAL
0,1	4
0,5	6
1	9
2	15
3	19
4	21
5	23
10	30

*Fuente:* ( Ministerio de Medio Ambiente, 2014)

### **2.3.3.2 Fase de campo.**

#### ***a) Reconocimiento del área donde se realizó el trabajo de tesis***

Se realizó el reconocimiento del área insitu donde se realizaron los muestreos en las respectivas áreas (agrícola, pastizal y matorral), se identificaron las parcelas de donde se tomarán las muestras del suelo.

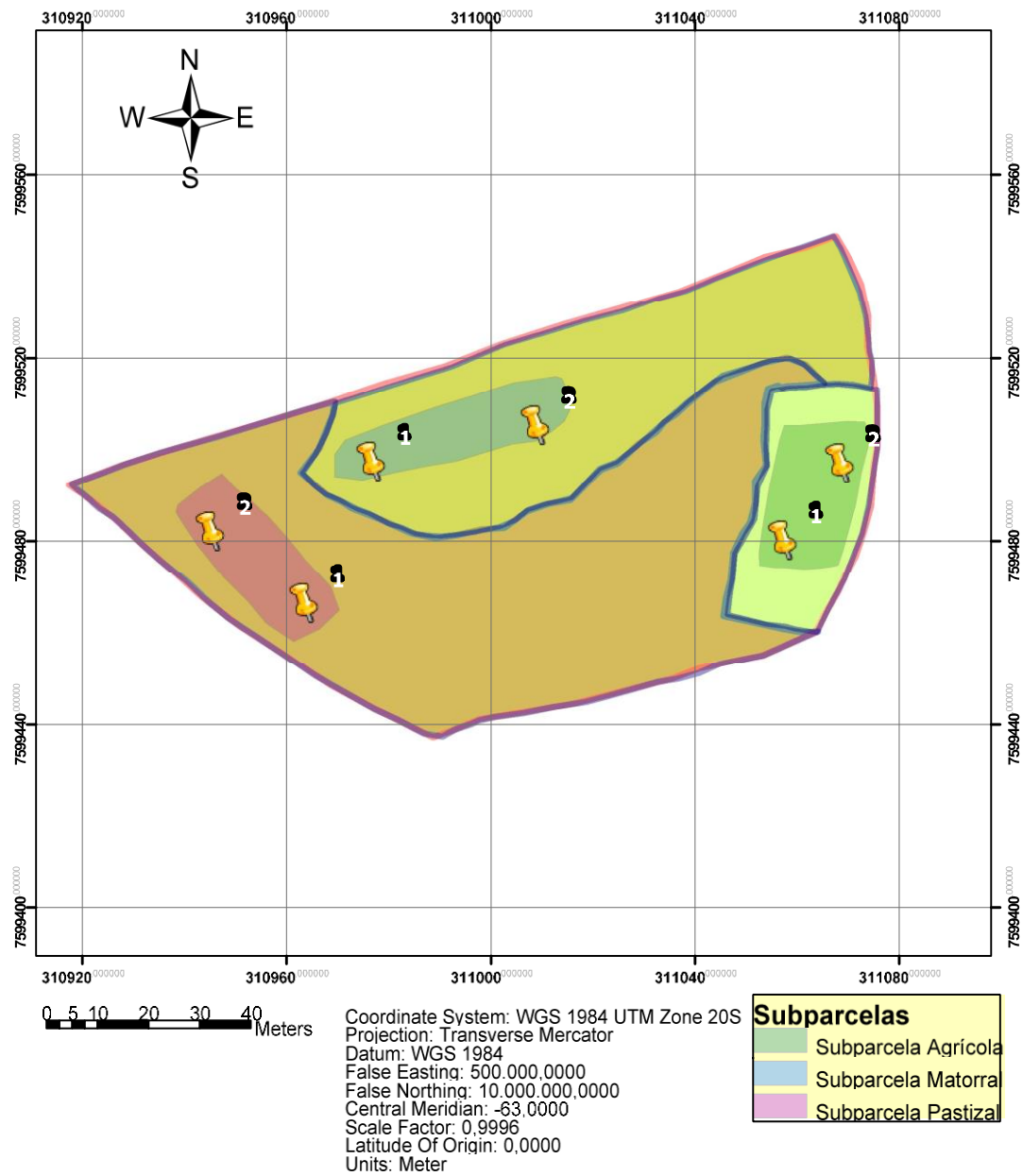
#### ***b) Ubicación de los puntos de muestreo***

En esta fase se delimitó las tres subparcelas de 538m<sup>2</sup> y se ubicó los seis puntos de muestreo dentro de las unidades de terreno (agrícola, pastizal y matorral). (Ver figura N°8)

Se ubicó dos puntos en cada subparcela:

- Pastizal con coordenadas UTM: Punto 1 Este 310963.7 y Norte 7599466.4 y el Punto 2 Este 311089.1 y Norte 7599483.9
- Matorral con coordenadas UTM: Punto 1 Este 310976.9 y Norte 7599497.3 y el Punto 2 Este 311009.1 y Norte 7599505.4
- Agrícolas con coordenadas UTM: Punto 1 Este 311057.3 y Norte 7599480.4 y el Punto 2 Este 311068.6 y Norte 7599497.

**Figura N° 8: Ubicación de los puntos de muestreo**



*Fuente: elaboración propia ArcMap*



### ***c) Muestreo de suelos***

Las muestras fueron tomadas por el método de muestreo simple al azar, a profundidades de 0-30 cm., dividiendo ésta en tres profundidades (0-10, 10-20, 20-30 cm) tomando dos muestras de cada subparcela ya definidas (agrícola, pastizal y matorral), se tomaron 18 muestras simples para carbono orgánico, 18 muestras simples para densidad aparente, en el cual se utilizó un cilindro dotado por el laboratorio de suelos y 6 muestras compuestas para materia orgánica (0-30 cm).

Una vez extraídas las muestras fueron puestas en bolsas de nilón y aseguradas con hilo de plástico, etiquetadas para su identificación y posterior transporte al laboratorio de suelos.

### ***d) Análisis de laboratorio de las muestras tomadas***

El análisis de estos parámetros se realizó en el laboratorio de suelos de la Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales perteneciente a la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

#### ***2.3.3.3 Fase de post campo.***

##### ***a) Análisis de los resultados de laboratorio***

Una vez que se obtenidos los resultados del análisis de laboratorio se realizó un análisis de relación entre la concentración de COS la Da y MO, al igual que un análisis comparativo por uso (agrícola, pastizal y matorral) de suelo del almacenamiento de COS.

En base al porcentaje de carbono orgánico y la densidad aparente se estimó el almacenamiento de carbono orgánico en el suelo con la metodología propuesta por Andrade & Ibrahim (2003; ecuación) citado por (Alvarado, Andrade, & Segura, 2013)

#### **Ecuación 1:**

$$COS = Ps * Da * CO$$

Donde:

COS=Carbono Orgánico del Suelo ( $t \cdot h^{-1}$ )

Ps=Profundidad del suelo (cm.)

Da= Densidad aparente ( $g \cdot cm^{-3}$ )

CO= Concentración de carbono en los suelos (%)

No se descontó la pedregosidad en el cálculo del almacenamiento de carbono en suelos, ya que en estos representa menos del 5 % del volumen total del suelo.

### ***b) Propuesta de prácticas sostenibles para el uso del suelo***

Para las propuestas de las prácticas sostenibles se utilizaron los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación.

### ***c) Elaboración de documento final***

Una vez realizado la determinación del almacenamiento de carbono orgánico en pastizal, matorral y área agrícola en la comunidad de Pampa Redonda provincia Cercado se analizó los datos obtenidos y se redactó el presente trabajo de investigación.

**CAPÍTULO III**  
**RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

## CAPÍTULO III

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En función a los objetivos planteados en el presente trabajo de investigación se tienen los siguientes resultados:

#### 3.1 Identificación del uso del suelo

En el área de estudio se identificaron tres diferentes usos del suelo, siendo los mismos:

- Área de Pastizal.
- Área de Matorral.
- Área Agrícola.

##### 3.1.1 Área de Pastizal

Esta parcela tiene un área de 5677 m<sup>2</sup> sirve para alimentar a los animales vacuno, caprino, y ovino todos los meses del año, presenta un área pedregosa, pastos de gramíneas perenne de tamaño medio en la temporada de invierno el pasto es reducido y quedando solo las raíces, expuesto al pisoteo de los animales, esta área presenta una leve intervención del hombre debido a que cuando el churqui (*Acacia caven*, *Prosopis feroz*) va incrementando, los dueños de la propiedad van cortando para que este favorezca en el crecimiento del pasto, ya que es conveniente tener más áreas de pastoreo para los animales.

##### 3.1.2 Área de Matorral

Esta parcela tiene un área de 3202 m<sup>2</sup>, se caracteriza por presentar erosión en cárcavas y quebradas el mismo que está expuesto al pisoteo de ganado vacuno, caprino y ovino todos los meses del año, aún más expuesto en la temporada de invierno debido a que todo el matorral mayormente caducifolio tiende a desaparecer, presenta especies como la hediondilla (*Cestrum parqui*), churqui (*Acacia caven*, *Prosopis feroz*) y el ñusco (*Solanum palitans*), en esta área no se realiza ninguna práctica de conservación, ni de intervención humana.

Este tipo de suelo no es contemplado para realizar alguna actividad agrícola debido a que presenta erosión y una pendiente que dificulta este proceso para un cambio de uso en el suelo.

### 3.1.3 Área Agrícolas

Esta área abarca un área de 1121 m<sup>2</sup>, sometidas al monocultivo, es decir, no se realizan rotación de cultivos, con labranza mecánica y manual, con plantación de tomate durante cinco años consecutivos hasta la actualidad, en la temporada de verano, con un ciclo de producción hasta el mes de abril, en este periodo de producción el suelo está expuesto a la aplicación de abonos químicos, orgánicos entre ellos el estiércol (vacas y ovejas) y diferentes agroquímicos que tienen como finalidad mejorar la producción, el mismo que está sometido a un riego por surcos.

## 3.2 Cuadros resumen sobre el uso del suelo.

### 3.2.1 Área pastizal

**Cuadro N° 5: Punto 1 Subparcela pastizal**

Profundidad (cm)	Da (Lab)	Da (LUQE,L)	COS (Lab)	COS (Rodríguez)
0-10	1,34	1.30-1.40 Franco arcilloso	1,61	1.2 a 2.9 Bajos
10-20	1,50	1.30-1.50 Franco	1,09	<1.2 Muy bajos
20-30	1,64	1.50-1.80 Arenoso	0,63	<1.2 Muy bajos

*Fuente: Elaboración propia.*

\*Para materia orgánica se realizó una muestra compuesta 0-30 cm obteniendo como resultado 2.77 %, según la clasificación del cuadro N°2 los valores >2.1 -4.0 se clasifican en moderados, con un color 2.5Y 3/2.

*Da*: Densidad Aparente (g/cc)

*COS*: Carbono Orgánico del Suelo (%)

En el punto 1 de la subparcela pastizal según el cuadro N° 3 presenta una textura 0-10 Franco arcilloso, 10-20 arcilloso y 20-30 arenoso. Según la tesis de (Gutierrez, 2010) los valores de densidad aparente tienden a aumentar en profundidad como resultado de la disminución en el contenido de materia orgánica y de la compresión que producen los horizontes suprayacentes, como se puede observar la densidad obtenida en este punto a medida que aumenta la profundidad los valores de densidad aparente aumentan, esto puede atribuirse al pisoteo excesivo por los animales de pastoreo (vacas, ovejas y chivas), lo cual aumenta la densidad aparente a niveles mayores. La profundidad 1 al ser una textura arcillosa presenta una densidad menor ya que existe mayor incorporación de materia orgánica de los pastos, que en las profundidades 2 y 3.

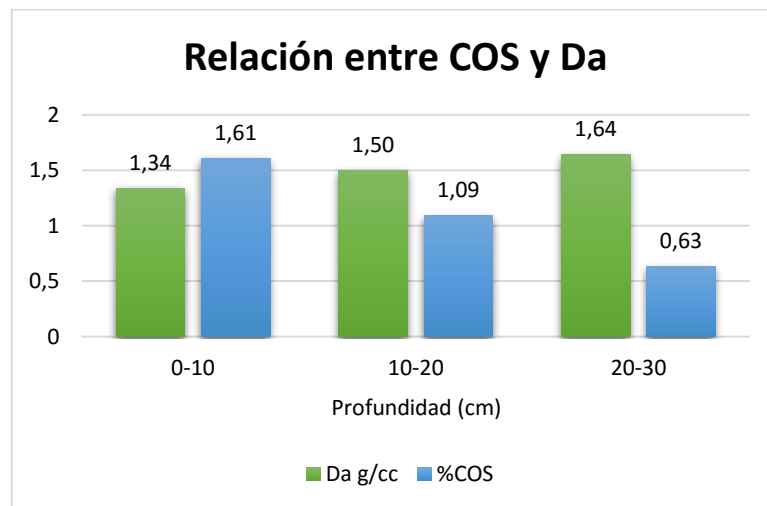
Según la clasificación del cuadro N°2, el porcentaje de materia orgánica que existe en este punto 1 (0-30 cm.) tiene una clasificación moderada. En los suelos naturales, el porcentaje de materia orgánica del suelo es regido por factores del medio (principalmente climáticos), en la zona presenta un clima templado que se caracterizan por las variaciones que suceden a lo largo de las estaciones el mismo que ayuda a que la actividad biológica sea mayor, al existir mayor incorporación de materia orgánica existirá mayor concentración de COS. La tabla Munsell presenta un color negro que generalmente es determinado por la presencia de materiales orgánicos descompuestos influenciada por el contenido de humedad que posea (Bermeo, Macias, Mendez, Suarez, & Gondora), se puede evidenciar que en este punto existe buena humedad y la incorporación de materia orgánica es mayor.

Según la clasificación del cuadro N°1, en la profundidad 1 (0-10cm) tiene una clasificación de bajos y en las profundidades 2 y 3 (10-30 cm) tiene una clasificación de muy bajos. El contenido acumulado de COS tiene la ventaja de que el almacén de COS se integra desde la capa superficial del suelo hasta las capas profundas. (Jobbágy y Jackson, 2000)

En el caso de pasturas es de esperar que exista el incremento de COS, ya que la dinámica de las raíces finas por efecto de sus senescencias por defoliación a causa del pisoteo por pastoreo, hace que grandes cantidades de carbono se estén incorporando al suelo. Este carbono puede acumularse en capas más profundas del suelo con menor susceptibilidad de descomposición.

Es por esto que el contenido de carbono orgánico del suelo en este punto es menor en profundidades más bajas, debido a que la absorción del vegetal muerto (MO) en condiciones aeróbicas del suelo, el carbono ingresa al suelo con mayor facilidad.

**Gráfica N° 1: Relación de COS y Da en la subparcela pastizal**



*Fuente: Elaboración propia.*

En la gráfica N°1 se puede apreciar que cuando la densidad aparente aumenta el COS disminuye, esto debido a que, si existe menor incorporación de materia orgánica y por

consiguiente también de COS, el suelo estará más compacto y será menos poroso, y al aumentar el carbono orgánico la estructura del suelo mejora y baja la densidad aparente.

**Cuadro N° 6: Punto 2 Subparcela pastizal**

Profundidad (cm)	Da (Lab)	Da (LUQE,L)	COS (Lab)	COS (Rodriguez)
0-10	1,59	1.40-1.60 Franco arenoso	1,98	1.2 a 2.9 Bajos
10-20	1,65	1.50-1.80 Arenoso	0,65	<1.2 Muy bajos
20-30	1,65	1.50-1.80 Arenoso	0,81	<1.2 Muy bajos

*Fuente: Elaboración propia.*

\*Para materia orgánica se realizó una muestra compuesta 0-30 cm obteniendo como resultado 2.52 %, según la clasificación del cuadro N°2 los valores >2.1 -4.0 se clasifican en moderados, con un color 5Y 2.5/2.

*Da:* Densidad Aparente. (g/cc)

*COS:* Carbono Orgánico del Suelo. (%)

En el punto N°2 de la subparcela pastizal según el cuadro N° 3, en la profundidad 1 presenta textura arenosa, en la profundidad 2 y 3 arenosa. Según la tesis de (Gutierrez, 2010) los valores de densidad aparente tienden a aumentar en profundidad como resultado de la disminución en el contenido de materia orgánica y de la compresión que producen los horizontes suprayacentes, como se puede observar la

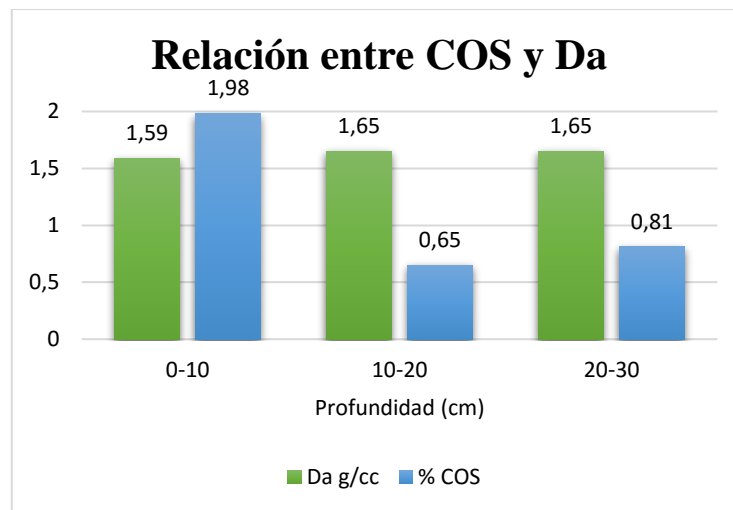


densidad obtenida en este punto a medida que aumenta la profundidad los valores de Densidad Aparente aumentan.

Según la clasificación del cuadro N°2, el porcentaje de materia orgánica que existe en este punto 1 (0-30 cm) tiene una clasificación muy baja, al igual que el punto 1. Según la tabla Munsell presenta un color Negro verdoso que al igual que el punto 1 está regido por las mismas condiciones a diferencia de que este tiene una tonalidad verdosa que puede darse en suelos mal drenados.

Según la clasificación del cuadro N°1 en la profundidad1 (0-10cm) tiene una clasificación de bajo y las profundidades 2 y 3 (10-30 cm) tiene una clasificación de muy bajos, con las mismas características del punto 1 de esta área.

**Gráfica N° 2: Relación de COS y Da en la subparcela pastizal**



*Fuente: Elaboración propia.*

En la gráfica N°2 se puede apreciar que la densidad aparente aumenta, el COS disminuye, esto debido a que, si existe menor incorporación de materia orgánica y por consiguiente también de COS, el suelo estará más compacto y será menos poroso, y al aumentar el carbono orgánico la estructura del suelo mejora y baja la densidad aparente.

### 3.2.2 Área Matorral

**Cuadro N° 7: Punto 1 Subparcela matorral**

Profundidad (cm)	Da (Lab)	Da (LUQE,L)	COS (Lab)	COS (Rodriguez)
0-10	1,70	1.50-1.80 Arenoso	0,91	<1.2 Muy bajos
10-20	1,87	1.50-1.80 Arenoso	0,18	<1.2 Muy bajos
20-30	1,80	1.50-1.80 Arenoso	0,16	<1.2 Muy bajos

*Fuente: Elaboración propia.*

\*Para materia orgánica se realizó una muestra compuesta 0-30 cm obteniendo como resultado 0.89%, según la clasificación del cuadro N°2 los valores 0.0-1.0 se clasifican en muy bajos, con un color 2.5Y 5/4.

*Da:* Densidad Aparente (g/cc)

*COS:* Carbono Orgánico del Suelo (%)

En el punto N°1 de la subparcela matorral según el cuadro N°3 en las 3 profundidades presenta una textura arenosa, según Cavazos (1993), el suelo presenta compactación, esto puede atribuirse al pisoteo excesivo por los animales, lo que tiende a aumentar la densidad aparente a niveles mayores. Sánchez et al. (1989), sostiene que la densidad aparente como indicador de compactación es mayor, a medida que aumenta la carga animal y como este está expuesto todo el año al pisoteo de animales y no tiene ninguna medida de protección, también se debe que como

existe un pendiente en la zona en la que las pérdidas de suelo por erosión se ven compensadas por deposición de arrastres procedentes de la parte superior del terreno.

Según la tesis de (Gutiérrez, 2010 ) asegura que, con un incremento de la densidad aparente, la resistencia mecánica tiende a aumentar y la porosidad del suelo tiende a disminuir, con estos cambios limitan el crecimiento de las raíces a valores críticos.

En este punto se puede observar que las densidades no van en un número creciente si no que sus valores son discontinuos esto puede deberse a que hay una disposición de nuevo material debido a la erosión.

Según la clasificación del cuadro N°2, el porcentaje de materia orgánica que existe en este punto 1 (0-30 cm) tiene una clasificación muy baja, en estos suelos que son naturales, el porcentaje de materia orgánica en el suelo es regido por factores del medio (principalmente climáticos), es por esto que presenta muy bajo porcentaje ya que está expuesta a la erosión hídrica principalmente y esto hace que produzca el arrastre de sedimentos y de a hojarasca que no llega a descomponerse.

Según la tabla Munsell presenta un color gris que está determinado por la presencia de materia orgánica descompuesta influenciada su intensidad por el contenido de humedad que posea. (Bermeo, Macias, Mendez, Suarez, & Gondora)

Según la clasificación del cuadro N° 1 el punto 1, 2, 3 (0-30cm) tiene una clasificación de muy bajos. La relación entre la profundidad y el contenido acumulado de COS tiene la ventaja de que el almacenamiento de COS se integra desde la capa superficial del suelo hasta las capas profundas. (Jobbágy y Jackson, 2000).

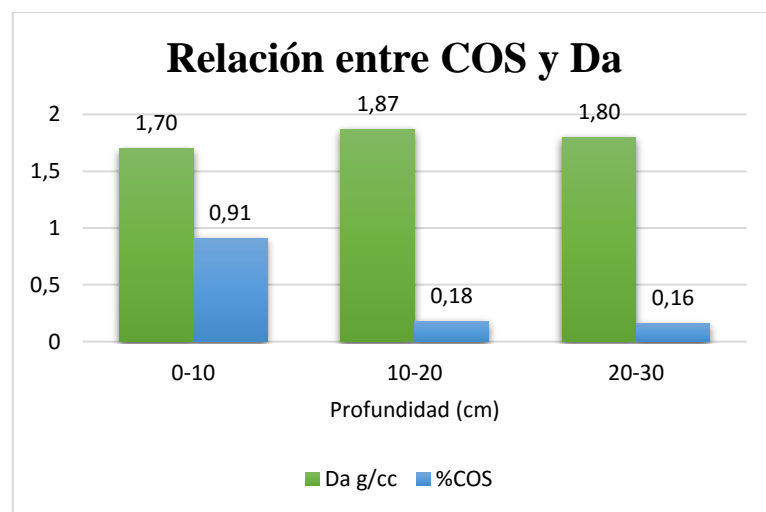
La concentración mayor de COS en la parte superficial del suelo se relaciona con una mayor incorporación de materia orgánica proveniente de la descomposición del mantillo superficial y del recambio de raíces finas en esta capa, en comparación con capas más profundas. Jobbágy y Jackson, (2000) encontraron que 50% del contenido de COS se concentran en los primeros 20cm. La capa superficial (menores a 30cm.)

son muy sensible a las perturbaciones humanas directas e indirectas, como así a perturbaciones naturales como es este caso a la erosión.

Según Labrador ,2012 la dinámica de carbono orgánico en el suelo depende de la actividad biológica, como que la mayor parte de los microorganismos de este medio son heterótrofos y por consiguiente demandan compuestos orgánicos preformados. En este punto el almacenamiento de carbono orgánico es bajo debido a la baja absorción de material vegetal muerto y la pérdida por descomposición (mineralización) causado principalmente por la erosión.

Es por esto que, aunque esta área no presenta una intervención humana, está sometida a la erosión lo que provoca que no exista una rápida descomposición de materia orgánica y que por el excesivo pisoteo del ganado no favorecen a la incorporación de material orgánico y por ende provoca un bajo porcentaje de carbono orgánico.

**Gráfica N° 3: Relación de COS y Da en la subparcela matorral**



*Fuente: Elaboración propia.*

En la gráfica N° 3, se puede apreciar que en este punto de muestreo tiene densidades aparentes altas en comparación con el contenido de COS es bajo, esto puede deberse a que existe menor incorporación de materia orgánica por el arrastre de la hojarasca por el agua de lluvia ya que el sitio presenta pendiente y está expuesto a la erosión.

**Cuadro N° 8: Punto 2 Subparcela matorral**

<b>Profundidad (cm)</b>	<b>Da (Lab)</b>	<b>Da (LUQE,L)</b>	<b>COS (Lab)</b>	<b>COS (Rodriguez)</b>
0-10	1,70	1.50-1.80 arenoso	0,56	<1.2 Muy bajos
10-20	1,74	1.50-1.80 Arenoso	0,22	<1.2 Muy bajos
20-30	1,56	1.50-1.80 Arenoso	0,33	<1.2 Muy bajos

*Fuente: Elaboración propia.*

\*Para materia orgánica se realizó una muestra compuesta 0-30 cm obteniendo como resultado 0.52%, según la clasificación del cuadro N°2 los valores 0.0-1.0 se clasifican en muy bajos, con un color 10YR 6/8.

*Da:* Densidad Aparente (g/cc)

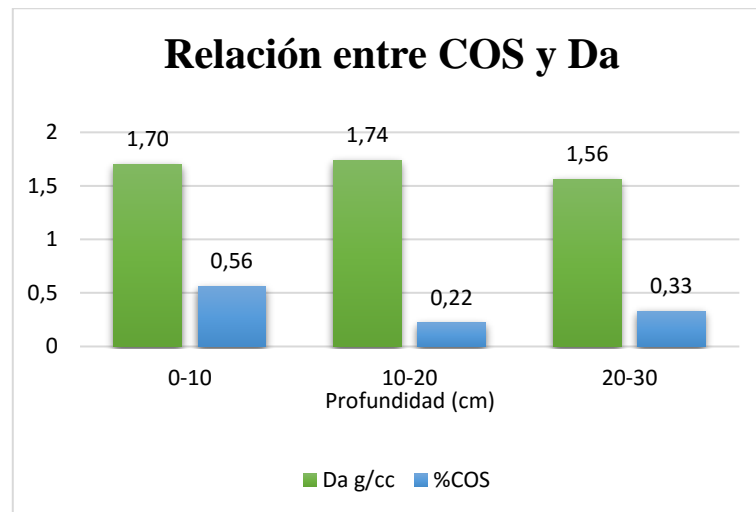
*COS:* Carbono Orgánico del Suelo (%)

En el punto 2 de la subparcela matorral que presenta una textura arenosa en las tres profundidades, las densidades en este punto de muestreo son altas esto puede atribuirse al pisoteo excesivo por los animales, aumenta la densidad aparente aniveles mayores. Como se puede observar los valores de la densidad aparente no van en orden si no que estos varían, esto puede deberse a que existió una deposición de material por arrastre debido a que se encuentra en un área con pendiente y que la vegetación es muy poca y desaparece en la época de invierno dejando descubierto al pisoteo excesivo de los animales.

Según la clasificación del cuadro N°2, el porcentaje de materia orgánica que existe en este perfil 2 (0-30 cm) tiene una clasificación muy baja, al igual que el punto 1, el contenido de materia orgánica está condicionada a los mismos factores. Según la tabla Munsell presenta un color marrón que se presentan por presencia de materia orgánica y bajo condiciones de mal drenaje. (Bermeo, Macias, Mendez, Suarez, & Gondora).

Según la clasificación del cuadro N°1 en las profundidades 1, 2, 3 (0-30cm) tiene una clasificación de muy bajos. El punto 2 del área de matorral presenta características similares en cuanto al almacenamiento del COS en el punto 1 de esta área.

**Gráfica N° 4: Relación de COS y Da en la subparcela matorral**



*Fuente: Elaboración propia.*

En la gráfica N°4 se puede apreciar que en este punto de muestreo tiene densidades aparentes altas en comparación con el contenido de COS es bajo, al igual que en el punto 1 de la misma subparcela.

### 3.2.3 Área agrícola

**Cuadro N° 9: Punto 1 Subparcela Agrícola**

<b>Profundidad (cm)</b>	<b>Da (Lab)</b>	<b>Da (LUQE,L)</b>	<b>COS (Lab)</b>	<b>COS (Rodriguez)</b>
0-10	1,41	1.40-1.60 Franco arenoso	1,60	1.2 a 2.9 Bajos
10-20	1,64	1.50-1.80 Arenoso	0,43	<1.2 Muy bajos
20-30	1,64	1.50-1.80 Arenoso	0,34	<1.2 Muy bajos

*Fuente: Elaboración propia.*

\*Para materia orgánica se realizó una muestra compuesta 0-30 cm obteniendo como resultado 1.52%, según la clasificación del cuadro N°2 los valores 1.1-2.0 se clasifican bajos, con un color 10YR 5/4.

*Da:* Densidad Aparente (g/cc)

*COS:* Carbono Orgánico del Suelo (%).

En el punto 1 de la subparcela agrícola en la profundidad 1 presenta una textura Franco arenoso y en las profundidades 2 y 3 presenta una textura arenosa. En este perfil se puede observar una variación en aumento de la profundidad 1 (0-10cm) a las profundidades 2 (10-20 cm) y 3 (20-30cm), según la FAO 2019, según el Instituto de Geología de México el valor de la Da aumenta con la profundidad del suelo en el perfil, debido al bajo contenido de materia orgánica y, consecuentemente, menor agregación y mayor compactación.

Es por esto que los resultados del punto 1, está dentro del rango aceptable para el desarrollo óptimo de las plantas, sin embargo en el primer horizonte el valor de la Da es más bajo porque existe un mayor de contenido de materia orgánica y por lo tanto es menos compacto, más porosos bien aireados y con mejor drenaje ya en las profundidades 2 y 3 se observa los valores altos con mayor compactación provocando que la infiltración del agua sea más lenta determinando un ambiente pobre para el desarrollo de la vida bajo el suelo.

Según la clasificación del cuadro N°2, el porcentaje de materia orgánica que existe en este punto 1 (0-30 cm) tiene una clasificación baja, debido a que, en los suelos alterados, hay generalmente un menor contenido orgánico, dado que el continuo laboreo origina un aumento de la mineralización de la materia orgánica, a la vez que proporciones más o menos grandes, son sustraídas del ciclo natural del carbono en forma de cosecha útil para el hombre.

Todo ello, conduce a una disminución del contenido orgánico de los suelos labrados que solo puede ser parcialmente paliado por adición de materiales ricos en carbono orgánico (estiércol, hojarasca, turba, compost, etc.). Según la tabla Munsell presenta un color marrón rojizo que indican la presencia de materiales orgánicos descompuestos, también indican generalmente buena aireación y drenaje. (Bermeo, Macias, Mendez, Suarez, & Gondora).

Según la clasificación del COS en el cuadro N°1 en la profundidad 1 (0-10cm) tiene una clasificación baja y en las profundidades 2 (10-20) y 3 (20-30) en muy bajos. La relación entre la profundidad y el contenido acumulado de COS tiene la ventaja de que el almacenamiento de COS se integra desde la capa superficial del suelo hasta las capas profundas, es por esto que se presenta un descenso en cuanto al almacenamiento de COS.

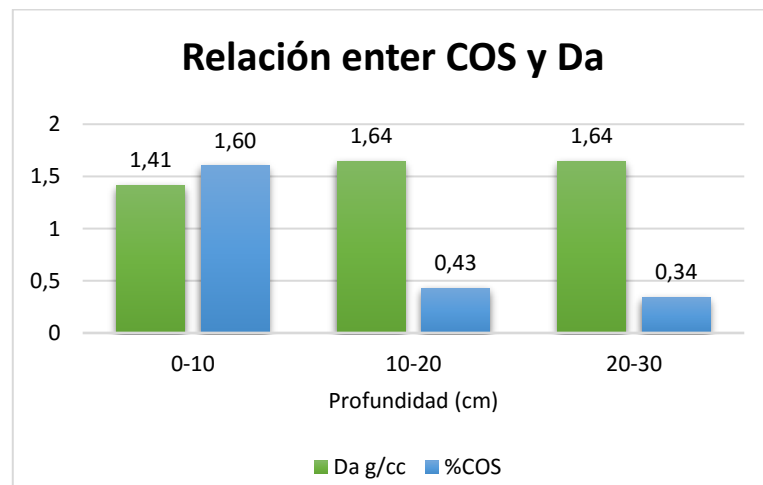
La concentración mayor de COS en la parte superficial del suelo se relaciona con una mayor incorporación de materia orgánica proveniente de la descomposición del mantillo superficial y del recambio de raíces finas en esta capa, en comparación con capas más profundas. Jobbágy y Jackson, (2000) encontraron que 50% del contenido



de COS se concentran en los primeros 20cm. La capa superficial (menores a 30cm) Las cuales son muy sensible a las perturbaciones humanas directas e indirectas, como ser el monocultivo, y una labranza del suelo inadecuada.

La reducción de COS está acompañada por la disminución de nutrientes, la agregación de las partículas, la retención de agua disponible (en suelos arenosos) y la porosidad (aumento de densidad aparente). Todo esto, resulta en reducción de la infiltración, aumento del escurrimiento por compactación del terreno.

**Gráfica N° 5: Relación de COS y Da en la subparcela agrícola**



*Fuente: Elaboración propia*

En la gráfica N°5 se puede apreciar que en este punto de muestreo tiene densidades aparentes altas, sin embargo, en la profundidad de 0-10cm el COS es mayor esto se debe a que existe mayor incorporación de MO en la parte superior del suelo, la densidad va aumentando debido a la compactación que existe por la labranza mecánica que se da al suelo.

**Cuadro N° 10: Punto 2 Subparcela Agrícola**

<b>Profundidad (cm)</b>	<b>Da (Lab)</b>	<b>Da (LUQE,L)</b>	<b>COS (Lab)</b>	<b>COS (Rodriguez)</b>
0-10	1,44	1.40-1.60 Franco arenoso	1,24	1.2 a 2.9 Bajos
10-20	1,66	1.50-1.80 Arenoso	0,31	<1.2 Muy bajos
20-30	1,81	1.50-1.80 Arenoso	0,24	<1.2 Muy bajos

*Fuente: Elaboración propia.*

\*Para materia orgánica se realizó una muestra compuesta 0-30 cm obteniendo como resultado 1.52%, según la clasificación del cuadro N°2 los valores 1.1-2.0 se clasifican bajos, con un color 10YR 5/4.

*Da:* Densidad Aparente (g/cc)

*COS:* Carbono Orgánico del Suelo (%).

En el punto 2 de la subparcela agrícola en la profundidad 1 presenta una textura Franco arenoso y en las profundidades 2 y 3 presenta una textura arenosa. En este punto se puede observar una variación creciente en aumento de la profundidad 1 (0-10cm) a la profundidad 2 (20-30 cm) y 3 (20-30cm), según la FAO 2019, el valor de la Da aumenta con la profundidad del suelo en el perfil, esto debido al bajo contenido de materia orgánica y, consecuentemente, menor agregación y mayor compactación.

Es por esto que los resultados del punto 2, está dentro del rango aceptable para el desarrollo de las plantas, sin embargo, presenta una densidad aparente crítica en el horizonte 3 (30 cm.) con una densidad 1.81 en el primer horizonte el valor de la Da

es más bajo porque existe un mayor contenido de materia orgánica y por lo tanto es menos compacto, son suelos porosos bien aireados y con mejor drenaje, en profundidades 2 y 3 se observa los valores altos con mayor compactación provocando que la infiltración del agua sea más lenta determinando un ambiente sobre para el desarrollo de la vida bajo el suelo, sin embargo, esto puede deberse a un manejo inadecuado del suelo, como es la formación de “suelas de labor” lo que significa que comienza una capa bastante dura que dificulta la penetración radicular y que se produce por el paso repetido a lo largo de los años de las labores con máquinas a una misma profundidad.

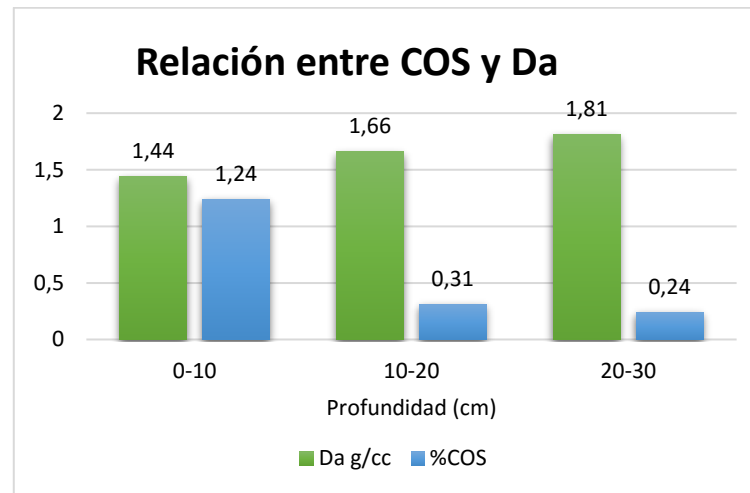
Al igual que en el punto 1, en el punto 2, según la clasificación de la MO en el cuadro N°2, el porcentaje de materia orgánica que existe en este punto 1 (0-30 cm) tiene una clasificación baja, debido a que, en los suelos alterados, hay generalmente un menor contenido orgánico, al igual que la aplicación de fertilizantes,

La diferencia del valor de la MO entre los dos puntos, puede radicar en que existe una pequeña pendiente, donde el punto 2 está en la parte superior y es por esto que el punto 1 tiene una mayor acumulación de materia orgánica.

Según la tabla Munsell presenta un color marrón oscuro que se presentan principalmente en el subsuelo y bajo condiciones de mal drenaje. (Bermeo, Macias, Mendez, Suarez, & Gondora).

Según la clasificación de CO del cuadro N°1, las profundidades 1(0-10cm) tiene una clasificación baja y las profundidades 2 (10-20) y 3(20-30) en muy bajas. Al igual que el punto 1 este perfil tiene el mismo comportamiento en cuanto a sus concentraciones de los parámetros.

**Gráfica N° 6: Relación de COS y Da en la subparcela agrícola**



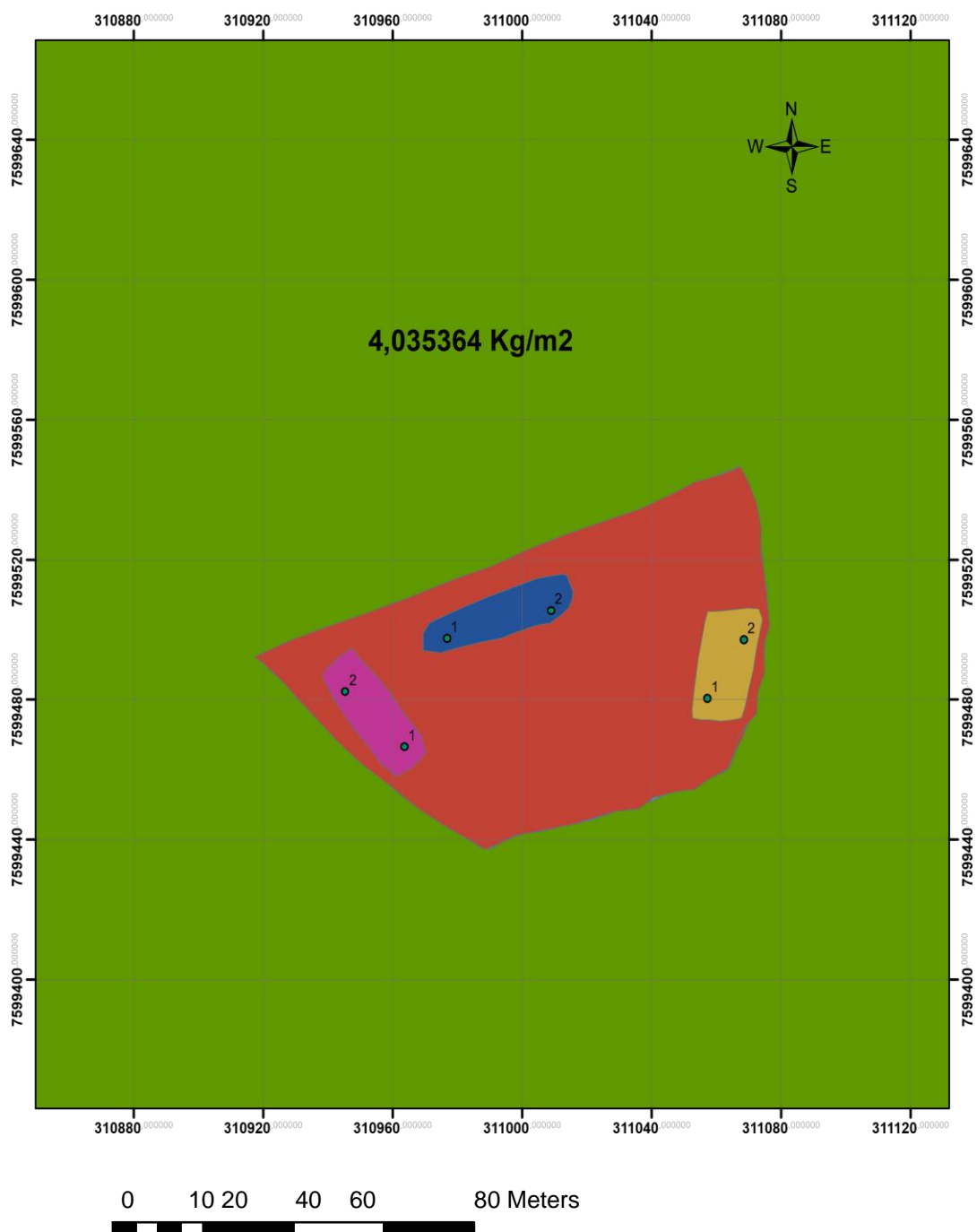
*Fuente: Elaboración propia.*

En la gráfica N° 6 se puede apreciar que en este punto de muestreo tiene densidades aparentes altas con menos incorporación de materia orgánica, lo que lleva a menor contenido de COS por las razones que se da en las mismas condiciones del punto 1 de la misma subparcela.

### 3.3 Comparación del COS almacenado por horizontes y usos

La determinación del almacenamiento de COS en los diferentes usos del suelo se realizó mediante la ecuación 1  $COS = Ps * Da * CO$ , donde, COS=Carbono Orgánico del Suelo ( $t.h^{-1}$ ), Ps= Profundidad del suelo (cm), Da= Densidad aparente ( $g \cdot cm^{-3}$ ) y CO= Concentración de carbono en los suelos (%), mismos valores que fueron obtenidos a partir del análisis del laboratorio. Se reemplazó los mismos en la ecuación y se sacó la media por uso actual del suelo.

**Figura N° 9: Valor de COS en el ara de investigación según el mapa de carbono orgánico de los suelos en Bolivia**



*Fuente: Elaboración propia*

**Cuadro N° 11: Comparación de carbono orgánico almacenado por uso de suelo**

Punto	Profundidad	COS (T. ha <sup>-1</sup> )		
		Agrícola	Pastizal	Matorral
1	0-30	37,05	49,73	19,51
2	0-30	29,30	56,07	18,50
	Media	<b>33,17</b>	<b>52,9</b>	<b>19,01</b>

*Fuente: Elaboración propia.*

La biodiversidad del suelo contribuye en gran medida a la formación de MOS a partir de desechos orgánicos, contribuyendo así al aumento del contenido de COS. Por otra parte, la cantidad y calidad de la MOS (y consecuentemente del COS) determina el número y la actividad de la biota del suelo que interactúa con las raíces de las plantas. (FAO, 2017)

El COS es el componente principal de la materia orgánica del suelo (MOS) y, como tal, constituye el combustible de cualquier suelo. La MOS contribuye a funciones clave del suelo, ya que es fundamental para la estabilización de la estructura del suelo, la retención y liberación de nutrientes vegetales, y permite la infiltración y almacenamiento de agua en el suelo. Por lo tanto, es esencial para garantizar la salud del suelo, la fertilidad y la producción de alimentos. La pérdida de COS indica un cierto grado de degradación del suelo. (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2017)

Los sistemas de uso son los principales responsables de los cambios del ciclo global del carbono y del clima. Diversos estudios indican que el uso del suelo modifica la cantidad de biomasa en la vegetación y altera la cantidad de carbono almacenado y emitido hacia la atmósfera. (Tito, Leon, & Porro, 2009)

En este trabajo de investigación se puede apreciar que los valores de carbono orgánico se encuentran con una clasificación de bajos y muy bajos y que estos valores van disminuyendo en relación a la profundidad.

Según el mapa de carbono orgánico de los suelos de Bolivia el área de investigación tiene una estimación de COS de  $4.035364\text{Kg/m}^2$  ( $40.35364\text{T/ha.}$ ) (ver figura 9), los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación logran dar mayor exactitud en cuanto al almacenamiento de COS en esta área, dando como promedio  $35.026889\text{ T/ha.}$  que son similares al estudio realizado en Bolivia.

El área de pastizales se puede observar mayor contenido de carbono orgánico del selo con un promedio de  $52,9\text{ T/ha.}$  debido a que existe mayor incorporación de materia orgánica el cual significa que habrá un mayor almacenamiento de COS, sin embargo en esta área se realiza el sobre pastoreo lo que tiende a degradar la calidad del suelo, en un estudio realizado por la FAO 2002 el carbono del suelo en las tierras de pastoreo es estimado en  $70\text{ t/ha.}$  estos son similares a otros estudios reportado por Márquez y Cely (2013) quienes realizaron en áreas no intervenidas, en recuperación e intervenidas del Páramo de La Cortadera, Colombia. Obteniendo para las áreas no intervenidas  $81.36\text{ tC/ha}$  de COS citado en un trabajo de tesis de (MAYTA, 2017). Esto significa que el almacenamiento de COS en el área pastizal es moderado sin embargo es necesario mantenerlo o aumentarlo para que exista una mejor fertilidad del suelo.

En cuanto al área del matorral el almacenamiento del carbono orgánico tiene un promedio de  $19,01\text{ T. ha}^{-1}$ , es menor debido a que esta área está expuesta al pisoteo del ganado vacuno, caprino y ovino, a la erosión tanto hídrica como eólica, lo que resulta en el arrastre de la materia orgánica lo cual genera que no exista una incorporación completa de la materia orgánica en el suelo, lo que significa que el almacenamiento del carbono orgánico es en menor cantidad, en un estudio realizado por (GUERRA, TERÁN, NIETO, & SALVADOR, 2013) estas áreas presentan un promedio de  $24.1\text{ ton C/ha}$  en suelo. Un estudio reciente (Beier et al., 2009) muestra que los matorrales de Europa tienen un almacén desde  $11.6$  hasta  $185.5\text{ ton C ha}^{-1}$ .

La erosión del suelo, tanto hídrico como eólico, representa la forma más importante del proceso de degradación del suelo. En esta área se debe aumentar el almacenamiento de COS debido a que puede llegar a ser un potencial para la captura de COS debido a que presenta una vegetación más abundante, pero debido a los procesos de erosión esto se ve afectado considerablemente.

En el área agrícola tiene un promedio de 33,17 T. ha<sup>-1</sup>, las actividades de agricultura afectan al almacenamiento de carbono orgánico del suelo ya que se observa que los valores son bajos a muy bajos, esto se debe a que existe monocultivo y labranza mecánica, como ya se mencionó esto ayuda a que la incorporación de la materia orgánica es menor debido a la mineralización de la misma, en estudios realizados por (Martinez, 2014) se puede apreciar que el contenido de carbono varía entre 42.94 y 74.64 T. ha<sup>-1</sup> en sistemas productivos con rotación siendo el valor más alto y el más bajo siendo monocultivo.

En este trabajo de investigación los resultados muestran que existe diferencia entre el almacenamiento de COS en los usos del suelo esto se debe a que las actividades a las que están sometida influyen en el almacenamiento de COS, se puede concluir que el área más degradada presenta menor almacenamiento de COS, en este caso es el área de matorral que está expuesto a erosión durante la mayor parte del año ya sea eólica o hídrica, también presenta una pendiente pronunciada que ayuda al arrastre de sedimentos y evita la descomposición de la materia orgánica, el área agrícola se encuentra sometido a un mal manejo ya que las prácticas utilizadas en el cultivo no son las adecuadas, logrando así que exista compactación en el suelo por la labranza mecánica y el monocultivo, por último el área de pastizal es el que presenta mayor almacenamiento de carbono orgánico ya que estas son áreas naturales que sirven para pastoreo de ganado.

### **3.4 Prácticas sostenibles en el uso del suelo**

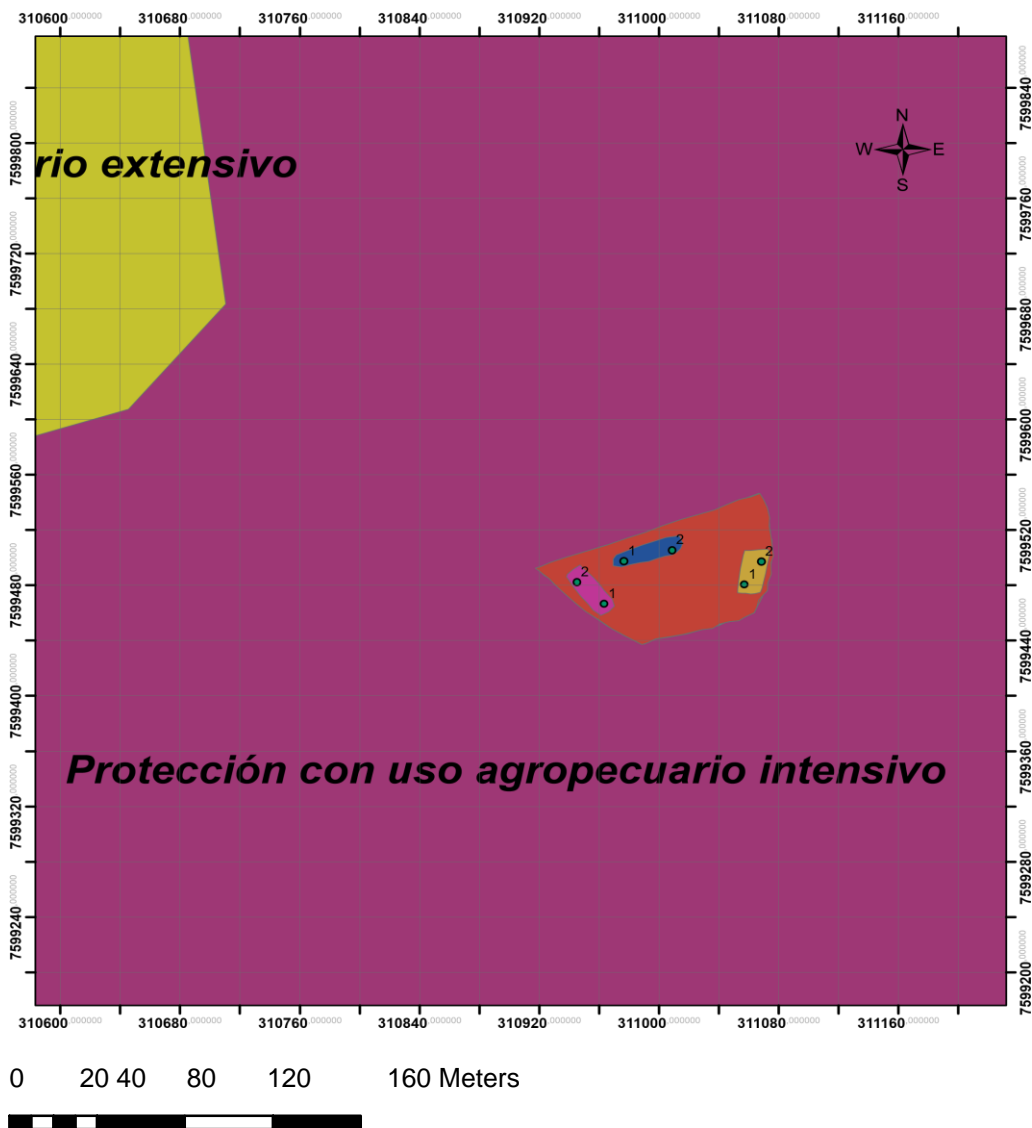
Para restaurar o preservar la biodiversidad y el carbono orgánico de los suelos se necesita aumentar los insumos de materia orgánica o reducir las pérdidas de carbono,



o ambas a la vez. Es particularmente importante mantener el carbono orgánico del suelo (COS), y siempre que sea posible, aumentarlo.

En el presente trabajo de investigación se obtuvo un almacenamiento de carbono orgánico del suelo en el área pastizal con 52.9 T. ha<sup>-1</sup>, en el área matorral con 19.01 T. ha<sup>-1</sup>, en el área agrícola 33.17 T. ha<sup>-1</sup>.

**Figura N° 10: Mapa de Plan de Uso de Suelo**



Fuente: Elaboración propia.

Según el Plan de Uso de Suelo del departamento de Tarija, la categoría para el uso de la tierra que tiene la zona donde se realizó el presente trabajo de investigación son tierras de uso agropecuario intensivo, las mismas son tierras que por las condiciones biofísicas y socioeconómicas adecuadas (por ejemplo: de clima, topografía, suelo, tamaño de la explotación, disponibilidad de mercados, insumos y mano de obra capacitada), permiten su uso agropecuario intensivo de modo sostenible, obteniendo rendimientos relativamente altos. Generalmente este uso de la tierra incluye el uso de insumos y capital.

Nuestra zona de estudio se encuentra dentro de la sub categoría de protección y uso agropecuario intensivo, esta subcategoría ha sido asignada a una unidad en el Valle Central de Tarija con las siguientes comunidades: Pantipampa, Pampa Redonda, Churquis, Tolomosa, Puesto Tunal, Puesto Armaus, Barbascuyo, Wayco, La Compañía, Ancon Chico y Pampa La Villa. En el Subandino, Bereti Chaco.

El uso actual es la ganadería extensiva que pastorea y ramonea en los churquiales degradados, conformada por hatos de caprinos, ovinos y algunos vacunos de pequeños productores. Por la escasez de forraje, en los meses de abril y mayo el ganado vacuno es trasladado a zonas del Subandino hasta que inician las lluvias (generalmente octubre y noviembre), práctica conocida como trashumancia.

Las reglas de uso en el valle Central de Tarija, se deben priorizar acciones de protección de la vegetación, suelo, recursos hídricos y fauna silvestre. En áreas con matorrales, se permite el aprovechamiento de productos no maderables con fines domésticos. También se permite la implantación de bosques con especies nativas.

*Recomendaciones de manejo de los recursos naturales renovables.*

Protección. Retomar y fortalecer los programas de recuperación de tierras erosionadas a través del manejo integral de microcuencas con prácticas que han demostrado su eficacia como pequeñas presas de tierra, sistemas agroforestales, barreras vivas, cercos vivos, trampas de sedimentación y otras prácticas.

Uso agropecuario intensivo. A fin de mantener y mejorar la productividad del suelo es importante la incorporación de prácticas de conservación y mejoramiento de la fertilidad.

#### *Recomendaciones socioeconómicas*

Reducir la carga animal de caprinos, apoyados con programas de asistencia técnica para el manejo de la ganadería menor de pequeños productores.

Por la situación predominante de extrema pobreza y a fin de apoyar los esfuerzos locales en las tareas de protección, es fundamental apoyar e incentivar la creación de fuentes alternativas de empleo, en particular, en el procesamiento de la producción, acceso a fuentes de financiamiento concesionales, facilidades en la comercialización de su producción y otras ventajas.

Como medio para el aprovechamiento de la vegetación natural se recomienda el desarrollo de programas de apoyo técnico a la producción apícola. (Plan de Uso de Suelo del departamento de Tarija, 2002)

Con referencia a lo expuesto por el PLUS para preservar o incluso mejorar la cantidad de almacenamiento de carbono orgánico del suelo en el área insitu se puede emplear:

#### **3.4.1 Agroforestería**

Es un sistema productivo que integra árboles, ganado y pastos en una misma unidad productiva. Este sistema está orientado a mejorar la productividad de las tierras y, al mismo tiempo, ser ecológicamente sustentable. (Wikipedia, 2019)

Dixon (1995), afirma que el potencial de almacenamiento de carbono de los SAF oscila entre 12 a 228 t·ha<sup>-1</sup>, teniendo mayor potencial en las zonas del trópico húmedo y tienen la capacidad de almacenar hasta 70 t·ha<sup>-1</sup> en la vegetación (biomasa aérea) y 25 t·ha<sup>-1</sup> en los primeros 20 cm de profundidad del suelo. (Universidad Autónoma de Yucatán, 2010)

Las prácticas de agroforestales no sólo tienen el potencial para almacenar carbono y ayudar a mitigar el CO<sub>2</sub> de la atmósfera a través del crecimiento de los árboles y arbustos, también tienen fuertes implicaciones para el desarrollo sostenible debido a los beneficios sociales y ambientales que prestan. Al mismo tiempo pueden ayudar a alcanzar la seguridad alimentaria, aumentar los ingresos agrícolas, restaurar y mantener la diversidad, mantener las reservas hidrológicas y reducir la erosión del suelo.

Por lo tanto, la agroforestería ofrece una alternativa sustentable al aprovechar las ventajas de varios estratos de la vegetación. Igualmente, al aumentar la biomasa, no sólo se crean almacenes de carbono en forma de árboles y productos maderables, sino que se aumenta la biodiversidad, ayudando a evitar el agotamiento de los recursos naturales ya existentes (Sánchez, 1995; Petit *et al.*, 2009). (Universidad Autónoma de Yucatán, 2010)

En el área de pastizal y matorral esta práctica puede ayudar a aumentar el almacenamiento de COS debido a que existe una incorporación de hojarascas y por lo mismo esto puede ayudar a que exista un incremento en el almacenamiento de COS, esta actividad como se puede observar en la figura 11, se debe realizar la plantación de árboles que ayuden a la fijación de carbono, estos pueden ser el churqui negro (*Acacia caven*) que puede ser aprovechado como leña para uso doméstico y en el área de matorral, también se podría usar eucalipto (*Eucalyptus globulus*) podrá ayudar a evitar la erosión ya que servirán como barreras para detener el arrastre de sedimentos y el churqui sirva de alimento para el ganado caprino y los matorrales ajos serán aprovechados por el ganado vacuno y ovino para pastoreo.

En el caso del área de agricultura se puede lograr plantar árboles perennes como el durazno, manzana, nogal que se adaptan al clima de la zona alrededor o en medio de los cultivos alimentarios, con esto se podrá tener grandes beneficios ya que las copas de los árboles pueden generar una mayor incorporación de materia orgánica y por lo tanto de COS a través de la hojarasca, también generan microclimas que promueven la calidad del suelo al modular las temperaturas externas y ayudar a la

descomposición de la materia orgánica, garantizando así la producción de alimentos y ayudando a lograr un desarrollo sostenible.

**Figura N° 11: Agroforestería**



*Fuente:* (Finkeros, 2013)

También se pueden usar otras prácticas como ser:

### **3.4.2 Área de pastizal**

#### ***3.4.2.1 Pastoreo controlado o rotativo.***

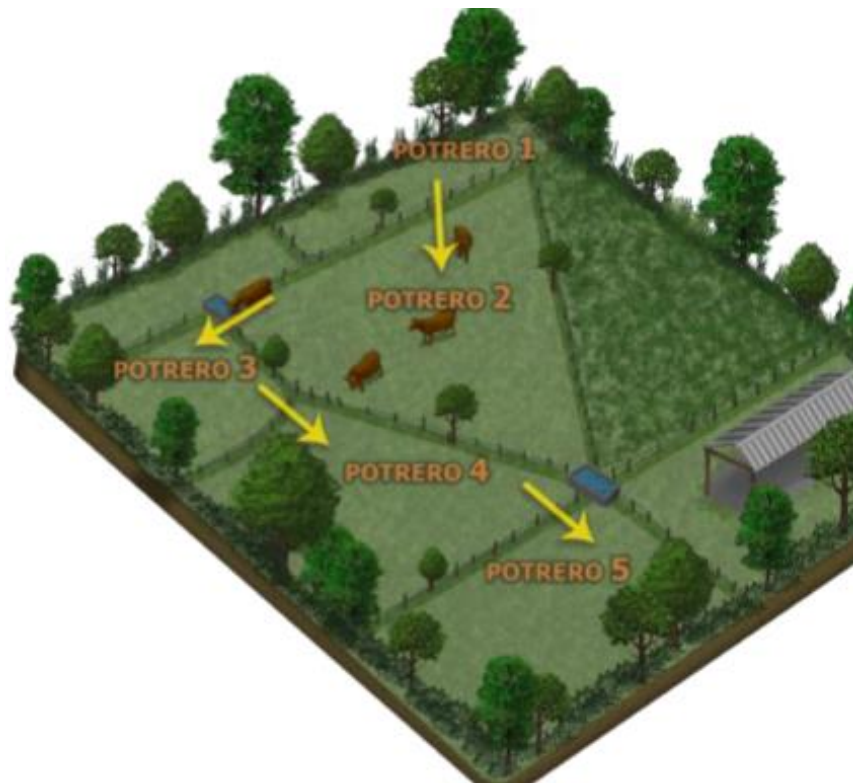
Consiste en rotar el ganado dentro del terreno, para evitar que los suelos se compacten (especialmente en época de lluvias), de esta manera se permite que el suelo descanse y mejora el rebrote de praderas. (FAO, 2018)

El objetivo de esta práctica se puede preservar o mejorar el almacenamiento de COS, previniendo el sobre pastoreo que provoca una compactación del suelo reduciendo así el almacenamiento de COS.

También con esta práctica se logra una mayor incorporación de materia orgánica y por lo mismo del COS, aportando a una mejor estructura del suelo, esta práctica ayuda a que el ganado encuentre alimento todas las épocas del año.

Para esta actividad se debe subdividir en potreros el área de pastizal como se observa en la figura N°12 para hacer rotación del ganado, como así también determinar el tiempo e intensidad de ganado en la ocupación en cada lote.

**Figura N° 12: Pastoreo controlado rotativo**



*Fuente:* (FAO, 2018)

### 3.4.3 Área matorral

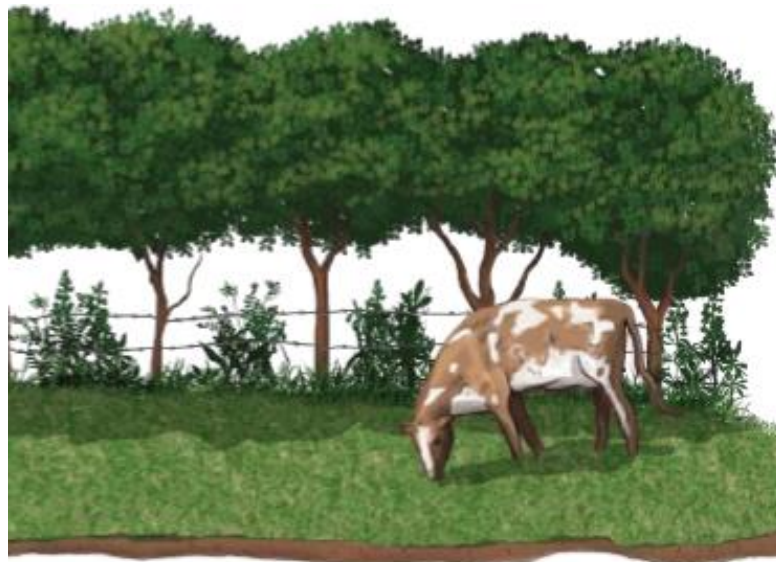
#### 3.4.3.1 Barreras y cercas vivas

Las barreras vivas son cultivos que se siembran, principalmente en las laderas, con el propósito de controlar la erosión y mejorar la resistencia del sistema agrícola frente a eventos climáticos (FAO, 2018)

Con esta práctica ayudará a controlar la erosión que existe principalmente en el área de matorral también reducirá el arrastre de sedimentos por escorrentía, el arrastre de materia orgánica, a mediano plazo modificará la pendiente en forma de terrazas de manera natural, esto podrá aumentar considerablemente el aumento de almacenamiento de COS ya que existirá una mayor incorporación de materia orgánica.

En esta práctica se debe realizar la plantación de árboles como el churqui, molle, eucalipto y también con especies arbustivas como la thola floja (*Baccharis sp2*)

**Figura N° 13: Barreras y cercas vivas**



*Fuente:* (FAO, 2018)

### 3.4.3.2 *Trinchos*

Los trinchos son estructuras de madera o piedra dispuestas en forma de muro, a fin de ayudar a formar terrazas para estabilizar taludes que han sufrido procesos de deslizamientos o en donde hay procesos de cárcavas permitiendo la recuperación de suelo perdido.

El objetivo de utilizar esta práctica es para estabilizar el terreno erosionado ayudando así a que la vegetación se establezca estabilizando el talud deteniendo la erosión.

Para esta práctica se conforman barreras transversales construidas en madera o piedra que soportan un relleno de material de erosión la misma puede ser reforestada con especies arbustivas, la altura recomendable para cada barrera puede ser de 80cm.

**Figura N° 14: Trinchos**



Trinchos

Fuente: (FAO, 2018)



### **3.4.4 Área agrícola**

#### ***3.4.4.1 Agricultura de conservación***

Es un sistema de cultivo que fomenta el mantenimiento de una cobertura permanente de los suelos, alteración mecánica mínima del suelo (Es decir cultivo sin laboreo) y la diversificación de especies vegetales. Potencia la biodiversidad y los procesos biológicos naturales por encima y por debajo de la superficie del suelo, lo que contribuye a un mayor aprovechamiento del agua y una mayor eficiencia en el uso de nutrientes, así como la mejora y sostenibilidad de la producción de cultivos. (FAO, 20019)

##### ***3.4.4.1.1 Labranza mínima***

La labranza mínima o mínimo movimiento del suelo consiste en intervenir lo menos posible el suelo al momento de cultivarlo, de tal manera que no se interfiera en los procesos naturales que se desarrollan en él (FAO, 2000; Herrera, 2008). Citado (FAO, 2018)

El objetivo de esta práctica es de proteger la estructura del suelo, mantener la humedad que estimula a la actividad biológica la misma que ara que la densidad aparente baje, ya que se encuentra en valores muy altos, ayudará a aumentar la fertilidad, disminuyendo la tasa de descomposición de la materia orgánica y por tanto la pérdida de carbono.

Esta práctica se propone realizar una labranza mínima en surcos que consiste en la remoción solamente los surcos de 30 a 50cm de distancia que debe de existir para la plantación del tomate, dejando el suelo entre surcos sin remover. La remoción del suelo dentro de estos surcos puede ser de 15 a 30cm para que las raíces del tomate puedan desarrollarse positivamente.

**Figura N° 15: Labranza mínima**



*Fuente:* (FAO, 2018)

#### ***3.4.4.1.2 Abonos verdes y cobertura permanente del suelo***

Los abonos verdes consisten en la incorporación al suelo de plantas sembradas o biomasa vegetal no descompuesta con el fin de mejorar la fertilidad y calidad del suelo.

La cobertura permanente del suelo consiste en mantener el campo de cultivo cubierto con material orgánico verde o seco (vivo o muerto). (FAO, 2018)

El objetivo de la presente práctica es aportar biomasa que puede llegar a mantener e incluso aumentar el contenido de materia orgánica a lo largo de los años aumentar la disponibilidad de nutrientes y ayudar a proteger la capa superficial del suelo ante lluvias y viento que ayuda al desarrollo de las raíces lo cual tiene un efecto positivo en la des compactación del suelo, y como el actual uso del suelo agrícola lo mantiene sin cobertura por 5 meses ya que se inicia la plantación del tomate a mediados de noviembre hasta el mes de abril.

Para esta práctica es necesario que se cambie el cultivo de tomate ya sea a alfalfa la misma se desarrolla en suelos pocos húmedos y bien drenados o la arveja que también se desarrolla bajo las mismas condiciones. Al cortarlas como se observa en la

figura N°16 para que se produzca el abono es necesario que se corten y se dejen en el propio suelo para que haya una mejor incorporación de materia orgánica.

**Figura N° 16: Abonos verdes y cobertura permanente del suelo**



Fuente: (FAO, 2018)

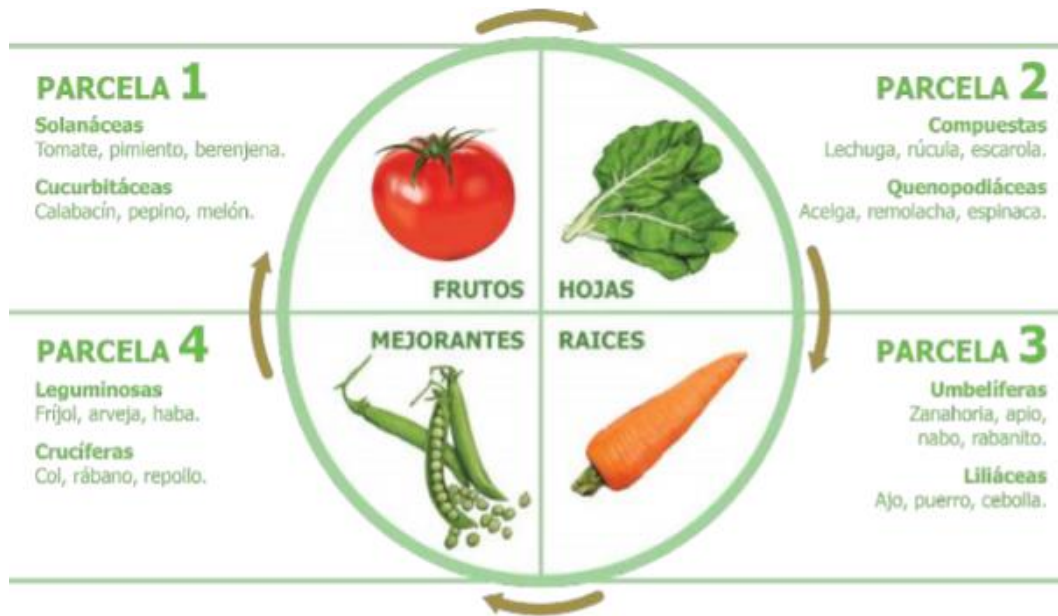
#### ***3.4.4.1.3 Rotación de cultivos***

La rotación de cultivos es un conjunto de secuencias, en las cuales se ocupa el suelo con cultivos diferentes que se suceden en el tiempo con la finalidad de mantener la fertilidad del suelo. (FAO, 2018)

El objetivo de esta práctica es el de incrementar el rendimiento de los cultivos, incorporando materia orgánica al suelo mejorando la fertilidad, también disminuye la incidencia de plagas, lo cual conlleva a que exista una seguridad alimentaria para las familias.

Para poner en práctica se debería realizar la división en dos parcelas el área agrícola, para rotar alternamente entre estos, se puede alternar entre cultivos con sistemas radiculares y requerimientos nutritivos diferentes, para esto se puede alternar entre la plantación de tomate, papa o leguminosas como arveja, o verduras como acelga, remolacha según la conveniencia del productor.

**Figura N° 17: Esquema de rotación de cultivos**



Fuente: (FAO, 2018)

#### **3.4.4.1.4 Retención de residuos**

Los residuos del cultivo son precursores de la reserva de MOS. La descomposición del material vegetal a compuestos de carbono sencillos, la asimilación y ciclo repetido del carbono a través de la biomasa microbiana con formación de nuevas células son las primeras etapas en el proceso de formación de humus. (Verhulst, François, & Govaerts, 2015)

Esta práctica tiene como objetivo incrementar la fertilidad del suelo, la incorporación de carbono orgánico, ya que al ser residuos de origen agrícola poseen macronutrientes y micronutrientes necesarios para las plantas.

Esta propuesta se puede poner en práctica una vez que termina la producción agrícola, donde todo ese residuo de la planta del tomate deberá descomponerse solo.

**Figura N° 18: Retención de residuos**



Fuente: (Agrohuerto)

**CAPÍTULO IV**  
**CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## CAPÍTULO IV

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1 CONCLUSIONES

- Los usos actuales del suelo son pastizal con un área que abarca 5677 m<sup>2</sup>, el área matorral con 3202 m<sup>2</sup> y el área agrícola abarca 1121 m<sup>2</sup>. las actividades antrópicas que se observaron en el área in situ, son la ganadería de ganado vacuno, bovino y caprino, la agricultura con un monocultivo estacional de tomate y también se pudo observar que en el área de matorral debido a causas naturales presenta erosión.
- Existe diferencia del almacenamiento de carbono orgánico del suelo según su uso teniendo un mayor almacenamiento de COS el pastizal con un promedio de 52,9 T. ha<sup>-1</sup>, seguido por el área agrícola un promedio de 33,17 T. ha<sup>-1</sup> y por último el área de matorral promedio de 19,01 T. ha<sup>-1</sup>, esta diferencia se debe a que el pastizal es natural, el área agrícola al estar sometida bajo prácticas inadecuadas presenta un almacenamiento de COS más bajo que el pastizal y el área matorral presenta erosión arrastre de material y poca incorporación de materia orgánica por lo cual su valor es el más bajo de los tres usos, mismo almacenamiento puede estar relacionado con la densidad aparente y cantidad de materia orgánica ya que el are pastizal presenta una Da media 1.56 g/cc y MO media de 2.65%, para el área agrícola una Da media de 1.60g/cc y MO media de 1.32% y para el área de matorral una Da media de 1.73 g/cc y MO media de 0.71%.
- Las medidas propuestas para las prácticas sostenibles en el uso del suelo fueron las siguientes:

La principal práctica para un desarrollo sostenible en esta zona de investigación será la agroforestería, entre otras prácticas propuestas serán:

Área de pastizal: Pastoreo controlado o rotativo.

Área matorral: Barreras y cercas vivas y trinchos.

Área agrícola: Agricultura de conservación, labranza mínima, abonos verdes y cobertura permanente del suelo, rotación de cultivos y retención de residuos.

Estas prácticas están orientadas a mantener y aumentar el almacenamiento de carbono orgánico del suelo, aumentando la fertilidad y preservando la biodiversidad del suelo para un mayor rendimiento del mismo, garantizando la seguridad alimentaria.



## **4.2 RECOMENDACIONES**

- Tomar en cuenta más áreas de estudio, donde exista mayor diversidad de usos del suelo para que existan resultados más representativos a nivel provincial.
- Realizar un monitoreo en las diferentes épocas del año, para estimar el comportamiento, si aumenta o disminuye el almacenamiento del COS según el tipo de uso que le dan al suelo.
- Las prácticas propuestas deben ser ejecutadas para mejorar el almacenamiento de COS, si bien existen otras prácticas requieren de inversión económica o son a largo plazo en el tiempo, para las cuales debería existir un apoyo de las instituciones del gobierno para ejecutarlas.
- Continuar los estudios sobre el carbono orgánico del suelo almacenado en diferentes ecosistemas tanto a nivel departamental como a nivel nacional y poder establecer comparaciones tomando en cuenta también los diferentes factores ambientales que pueden influir en el mismo, ya que no existen muchos estudios sobre el COS en el país.