



PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE ESTUDIOS AMBIENTALES Y RURALES
CARRERA DE ECOLOGÍA

TRABAJO DE GRADO PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
ECÓLOGO

REALIZADO POR:
Rosana Abi-Saab Arrieche

**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL SUELO, EN EL SISTEMA
PRODUCTIVO ORGÁNICO LA ESTANCIA, MADRID, CUNDINAMARCA,
2012. Utilizando indicadores de Calidad de Suelos.**

DIRIGIDA POR:
Neidy Lorena Clavijo Ponce

Bogotá, 2012

Agradecimientos

“Agradezco a mis padres quienes me han apoyado durante toda mi vida, a mis hermanos con los que aprendí las cosas más importantes y por ser mis compañeros de aventuras.

A Neidy mi tutora, por su tiempo y recomendaciones.

A los trabajadores de la Finca La Estancia por su paciencia, a la Familia Serrano por permitirme desarrollar el estudio en su finca, en especial a Gabriel Serrano quien me acompañó durante todo el proceso.

Por último agradezco a los jurados por contribuir con este proyecto”.

INDICE

Resumen	1
1. Introducción	2
2. Objetivos	3
2.1. Objetivo General.....	3
2.1. Objetivos Específicos.....	3
3. Marco de Referencia	4
3.1. Estado del Arte.....	4
3.2. Marco Conceptual	6
3.2.1. Agricultura Convencional con Enfoque de Revolución Verde.....	7
3.2.2. Agricultura Sostenible	9
3.2.2.1. Agricultura orgánica	11
3.2.3. Sistema de Producción	12
3.2.4. Agroecosistema	13
3.2.5. Sostenibilidad	14
3.2.6. Suelos.....	14
3.2.6.1. Calidad del Suelo	16
3.2.6.2. Indicadores de calidad del suelo.....	17
3.3. Marco Contextual	20
4. Metodología	22
4.1. Caracterización del Sistema Agroecológico	24
4.2. Tipos de Análisis	26
4.3. Toma de Muestras y Mediciones.....	27
4.3.1. Muestras para propiedades químicas del suelo	29
4.3.2. Muestras y mediciones para propiedades físicas del suelo.....	30
4.3.3. Muestras y mediciones para propiedades biológicas del suelo	32
4.4. Análisis de Laboratorio.....	33
4.5. Evaluación de la Calidad del Suelo (Análisis de datos).....	33
4.5.1. Indicadores de calidad del suelo- Agroecosistema.....	35
4.5.2. Indicadores de calidad del suelo - Propiedades Químicas	36
4.5.3. Indicadores de calidad del suelo - Propiedades Físicas	37

4.5.4. Indicadores de calidad del suelo - Propiedades Biológicas.....	37
5. Resultados.....	38
5.1. Caracterización del Agroecosistema.....	38
5.1.1. Descripción de las Unidades Fisionómicas (estructura y función)	38
5.1.2. Función del Agroecosistema.....	41
5.1.3. Agrobiodiversidad.....	44
5.1.4. Prácticas y manejos del sistema que influyen sobre las características del suelo de la finca la estancia.....	44
5.1.5. Evaluación de los indicadores del agroecosistema, en función de la calidad del suelo.....	47
5.2. Propiedades químicas del suelo	50
5.2.1. Evaluación de indicadores Químicos, en función de la calidad del suelo	56
5.3. Propiedades Físicas del suelo.....	57
5.4. Propiedades Biológicas del suelo	61
5.4.1. Evaluación de indicadores Físicos y Biológicos en función de la calidad del suelo.....	64
5.5. Evaluación de la Calidad de Suelos	65
6. Conclusiones.....	66
7. Referencias Bibliográficas	69
8. Anexos	73
Anexo 1. Guía Para La Observación Del Agroecosistema.....	73
Anexo 2. Forma De Evaluar Cada Uno De Los Indicadores	74
Anexo 3. Influencia De Cada Indicador Escogido Sobre La Calidad Del Suelo.....	82

Resumen

Este estudio busca determinar la calidad de los suelos en un sistema productivo orgánico. Para esto; Parr, J et al. (1992 p.5), mencionan que es necesario evaluar las “diferentes propiedades químicas, físicas y biológicas de un suelo que interactúan de formas complejas determinando la capacidad de producir cultivos sanos y nutritivos”. Sin embargo antes de describir las propiedades mencionadas, se realizó una caracterización de todo agroecosistema, con el propósito de precisar el efecto que la estructura, el funcionamiento y el manejo orgánico del sistema productivo, puedan tener sobre el suelo. De este agroecosistema, se escogieron cuatro lotes para realizar la evaluaciones de calidad del suelo: un control (sin uso), y tres lotes, de diferentes edades de manejo (20 años, 10 años y 3 años), sembrados con hortalizas orgánicas, con el fin de determinar si el tiempo de manejo también influye sobre el suelo. La calidad del suelo fue evaluada usando indicadores que establecen rangos de referencia, que fueron posteriormente comparados con los datos obtenidos en las muestras y mediciones en campo. Como resultado se obtuvo un sistema complejo tanto estructural como funcionalmente, que incluye 33 sp. cultivadas y 4 especies animales, requiriendo poca intervención para el manejo de plagas y enfermedades. Una alta calidad de suelos para todos los lotes estudiados. Los indicadores de las propiedades químicas sobrepasaron por mucho los estándares establecidos, por ejemplo se obtuvo para bases totales datos entre 25,3 y 35,9 cmol Kg^{-1} , cuando el estándar de calidad establecido es de 16 cmol Kg^{-1} . El único indicador químico que no sobrepasó los estándares fue el Carbono orgánico donde los lotes obtuvieron porcentajes entre 4,2 y 5 mientras el estándar establecido es de 6.59%. En los indicadores físicos se observó un mayor impacto sobre el suelo, posiblemente debido al laboreo permanente, esto se evidenció especialmente en la estructura, donde el Control que no es arado presentó la mejor condición de sus agregados, mientras los lotes de hortalizas presentaron calidades decrecientes de su estructura a medida que tenían mas años siendo arados, es decir el lote 20 años presentó una estructura menos deseable que el lote 3 años. Biológicamente la actividad de lombrices y de invertebrados, se manifestó con mayores abundancias en los lotes con menos años de manejo (lote 3 y 10 años) no se observó ningún patrón lógico con relación al arado, donde se hubiese esperado mayor abundancia en el Control. La respiración biológica presentó mayor actividad en el Control probablemente por la cobertura en pasto, que contiene gran densidad de raíces que aportan CO_2 y por no ser arado. En conclusión se puede decir, que todos los lotes evaluados presentaron una calidad de suelo alta, lo que posiblemente indica un manejo adecuado del suelo y sostenibilidad productiva. Sin embargo, a pesar de la buena evaluación, se evidencian en los resultados dos factores que podrían ser mejorados y con los cuales aumentaría la calidad de los suelos con uso (lotes de hortalizas), que son: el tipo de laboreo del suelo y la aplicación de materia orgánica.

1. Introducción

El suelo es un componente fundamental en los ecosistemas terrestres para la nutrición y soporte de las plantas. En los agroecosistemas; cumple análogamente la misma función; siendo indispensable para la producción agropecuaria. De la conservación y buen manejo del suelo depende la sostenibilidad de la producción de alimentos y la seguridad alimentaria de las generaciones futuras (Gliessman, R. 2002; Vandermeer, J. 2011).

La agricultura convencional con enfoque en la revolución verde ha generado problemas ambientales significativos, debido a que involucra prácticas que mantienen los ecosistemas extremadamente simplificados, degradados por el arado permanente y alterados por el uso excesivo de fertilizantes químicos y pesticidas (Tilman, D. 1999; Corrales E. 2002; León, T. s. f. (a)). Dentro de los agroecosistemas, el subsistema suelo se ve especialmente vulnerable a las prácticas de la agricultura convencional (Vandermeer, J. 2011; Malagon, D. et al 1995). Debido a que suelo es considerado únicamente cómo el sustrato que soporta las raíces del cultivo; y no como componente complejo con procesos naturales y requerimientos para renovarse, mantenerse sano y productivo (Gliessman, R. 2002). Este enfoque simplista conlleva a un manejo inadecuado del suelo, eliminando así la posibilidad de una producción que perdure en el tiempo.

Un problema asociado al mal manejo del suelo; es que al degradarse significativamente este no es capaz de seguir produciendo, generando que los agricultores deban recurrir a expandir la frontera agrícola, reduciendo áreas naturales importantes para la diversidad y la conservación (Tilman, D. 1999; Etter, A. & Sarmiento, A. 2008; Jackson, L. et al. 2007)

Muchas propuestas han surgido para un manejo alternativo de las tierras, bajo una visión más integral y con nuevos enfoques de manejo de agroecosistemas (Tilman, D. 1999; Gliessman, R. 2002). Entre estas alternativas se encuentra la agricultura orgánica (Altieri, M. 1999).

La teoría sobre agricultura orgánica sugiere que estos agroecosistemas pueden ser sustentablemente productivos (Altieri, M. 1999). Los argumentos más comunes para sostener esta afirmación se basan en que este manejo busca eliminar del sistema la dependencia por insumos externos, especialmente aquellos de síntesis química (Altieri, M. 1999; Gliessman, R. 2002); para esto es necesaria la reposición la fertilidad del suelo por medio de abonos orgánicos que garanticen la oferta de nutrientes para las plantas. También se busca eliminar productos químicos posiblemente tóxicos como pesticidas, realizando un manejo integrado de plagas (Altieri, M. 1999), y con el fin de alcanzar una mayor autorregulación ambiental; se visa al aumento de la diversidad agregando numerosos cultivos y rotándolos (Altieri, M. 1999; Jackson, L. et al. 2007).

Para validar estas teorías resulta interesante determinar la calidad del suelo en un sistema productivo manejado con agricultura orgánica en un contexto específico. Para cumplir con dicho objetivo se debe realizar una caracterización del agroecosistema que nos ofrezca un contexto integral de la estructura, funcionamiento y manejos que pueden estar influenciando los suelos. Por otro lado se analizarán las características físicas, químicas y biológicas del subsistema suelo para posteriormente evaluar la calidad del mismo, por medio de indicadores, que nos permitan a analizar los efectos de las prácticas sobre los suelos y puedan guiar en la toma de decisiones.

2. Objetivos

2.1. Objetivo General

Determinar la calidad del suelo en el subsistema agrícola orgánico de La Finca La Estancia, municipio Madrid, Departamento de Cundinamarca. Tomando en cuenta la estructura, función y manejo del agroecosistema.

2.1. Objetivos Específicos

- Describir el Agroecosistema orgánico de la Finca La Estancia, con el fin de conocer su estructura, funcionamiento y manejo.
- Analizar las características físicas, químicas y biológicas del suelo con diferentes edades de manejo orgánico.

- Evaluar la calidad del suelo en el subsistema agrícola de la finca La Estancia.

3. Marco de Referencia

3.1. Estado del Arte

Para realizar este estudio se revisaron diversos documentos, específicamente relacionados a evaluaciones de calidad de suelos y estudios que relacionan manejos y prácticas agrícolas con las condiciones del suelo.

Evaluación de la Calidad de suelos

Soil Quality Institute define en su documento “Indicators for soil quality evaluation”, 1996, lo que es la calidad del suelo y los indicadores para evaluarla. Explica también para que son utilizados los indicadores y las características que se pueden evaluar con ellos. Ya en el de USDA 1999 en la “Guía para la Evaluación de la Calidad y Salud del Suelo” y en la “Guía Práctica para el Estudio Introductorio de los Suelos con un Enfoque Agrícola” de Henríquez, C. y Calbaceta, A. 1999, se muestran los métodos para medir o evaluar algunos indicadores en campo o laboratorio como son Infiltración.

Sin embargo la metodología en el documento anterior se limita a dar los pasos a seguir pero no posee métodos de interpretación de los datos. Por lo que resultan pertinentes los documentos: “Sistema agroecológico rápido de evaluación de calidad de suelo y salud de cultivos en el agroecosistema” de Altieri, M. y Nicholls, C. 2001. Y el documento “Sistema Agroecológico Rápido de Evaluación de Calidad de Suelo y Salud de Cultivos. Guía metodológica” de Pérez, M.A. 2010. Quienes proponen diversas formas de interpretar los datos obtenidos en campo; ya el documento de USDA, 1999, interpreta valores de diversas propiedades de forma cuantitativa.

Para analizar los datos obtenidos de un análisis químico, resulta oportuno el anexo de Ortega, D. 1995 del libro suelos de Colombia, donde en una tabla le otorga rangos de

valores que se pueden obtener de las características químicas y les da una apreciación de bueno, regular, malo.

Efectos del Manejo y prácticas agrícolas sobre la calidad del suelo

Podría decirse que este es el componente bibliográfico más importante del estudio. Debido a que es en este ítem donde se encuentran los estudios mas relacionados a la presente investigación.

La calidad del suelo es un tema bastante investigado en agroecología; (Parr, J. et al. 1992). Publicaron el artículo: "Soil quality: Attributes and relationship to alternative and sustainable agricultura", donde relacionan la calidad de suelos a las prácticas agrícolas, afirmando que prácticas como rotación, reducción de insumos químicos, manejo integrado de plagas, entre otras, promueven una buena calidad del suelo.

Por otro lado Karlen, D., Eash, N., Unger, P. 1992. Publicaron el artículo "Soil and Crop Management Effects on Soil Quality Indicators". En el cual busca ilustrar la interacción entre las actividades humanas y factores naturales sobre la calidad del suelo. Los autores proponen que el uso de labranza mínima, cultivos de cobertura, y rotación de cultivos son prácticas que contribuyen a la calidad del suelo; sin embargo concluyen que el factor crítico para una buena calidad del suelo es el carbono, por lo que es fundamental la incorporación de materia orgánica.

Magdoff, F. escribió un capítulo en la publicación de Altieri, M. 1999, titulado "Calidad y Manejo del Suelo" donde hace énfasis en resaltar las propiedades de la materia orgánica viva y muerta. Y afirma que la materia orgánica a pesar de representar únicamente entre el 1 y 6 % del suelo influye sobre casi todas las propiedades (físicas, químicas y biológicas) que definen la calidad del suelo así como en el ciclo de nutrientes.

Otro estudio que aborda los efectos del manejo del suelo; es el de Castro, H. 1999. Llamado; "Degradación del Suelo en Zonas de Agricultura Comercial". El cual está enmarcado en la problemática del mal manejo de los suelos en las zonas cálidas planas del país, usados para cultivos de maíz, arroz, ajonjolí, algodón, sorgo, etc. Donde se planteó un experimento que evaluó la producción de los cultivos bajo cuatro sistemas de rotación y se evaluó también la aplicación de abonos verdes procedentes

de leguminosas. Los resultados mostraron que la producción mejoraba significativamente cuando se aplicaban abonos verdes semestralmente o cuando se rotaban con soya siendo prácticas que permiten manejar los cultivos sosteniblemente.

Un estudio de la Facultad de Estudios Ambientales y Rurales de la PUJ. Es el de Zuluaga, X. 2010. Con el nombre “Análisis Comparativo de Sistemas Productivos de Cultivo De Papa con Manejo Integrado y Manejo Convencional a Partir de Indicadores de Sostenibilidad en el Municipio de Carmen De Carupa (Cundinamarca)”. El cual integra la parte de sistemas productivos con la calidad del suelo. Fueron usados algunos indicadores biológicos del suelo como la abundancia de lombrices en el suelo y de riqueza de arvenses. Donde no se evidenciaron lombrices en ninguno de los dos sistemas; pero sí se evidenció mayor riqueza de arvenses en el sistema con manejo integrado de plagas.

A diferencia de los anteriores trabajos, el presente estudio se concentra en la evaluación de la calidad del suelo pero en un sistema productivo orgánico, para precisar como la estructura, función y manejos influyen sobre el suelo, tomando algunos indicadores relevantes y de fácil aplicación, lo que representa un aporte para la ejecución de proyectos que visen por una buena calidad de los suelos y/o sostenibilidad de los sistemas agropecuarios; en el marco de un desarrollo Rural sustentable tanto económica como ambientalmente.

3.2. Marco Conceptual

Este estudio basa su teoría en diversos enfoques conceptuales. Los planteamientos del marco teórico buscan por un lado contextualizar los efectos de la agricultura convencional sobre los ecosistemas y específicamente sobre los suelos. Por otro lado pretende validar conceptos relacionados a la agricultura sostenible y comprender como estos enfoques promueven una mejor calidad del suelo y a la sostenibilidad productiva del sistema. La Figura 1, presenta un diagrama en el cual se organizan estructuralmente los conceptos que constituyen el marco teórico de este trabajo.

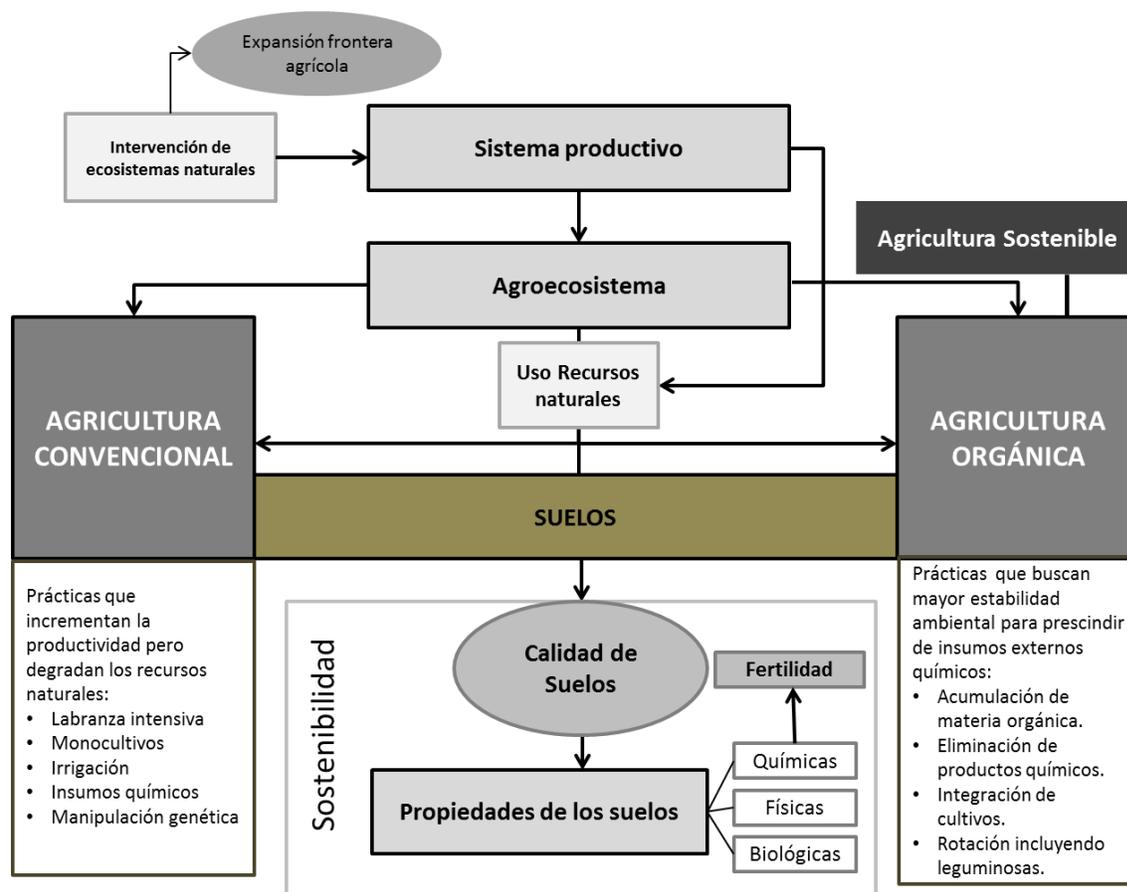


Figura 1. Diagrama conceptual.

3.2.1. Agricultura Convencional con Enfoque de Revolución Verde

La agricultura moderna o convencional es reflejo del proceso de industrialización del campo, conocido como Revolución Verde, que tuvo sus inicios después de la Segunda Guerra Mundial, debido a algunos avances científico-tecnológicos desarrollados durante esa época (Gliessman, R. 2002). La Revolución Verde representa el proceso de industrialización de la agricultura. Inicialmente esta revolución buscaba aumentar la oferta de alimentos por medio de la modernización de la agricultura, con lo que en teoría podría resolver los problemas de hambre en el mundo.

De esta forma se da inicio a una nueva era de la agricultura, donde se busca un incremento de la producción y para este objetivo se creó un paquete tecnológico basado en una alta dependencia de insumos externos. Durante muchos años se consideró este sistema productivo como altamente exitoso, pues se cuantificaba únicamente en producción y ganancias (Vandermeer, J. 2011; León, T. s. f. (b)).

Las practicas en que se fundamenta la revolución verde para aumentar la producción son: labranza intensiva, monocultivos, irrigación, aplicación de fertilizantes químicos, control de plagas con pesticidas y manipulación genética, para las cuales es necesaria una gran inversión de capital y de energía externa al sistema, hasta alcanzar extremos de ineficiencia donde en algunos casos la energía invertida para producir sobrepasa la energía obtenida de las cosechas (Gliessman, R. 2002; Altieri, M. 1999; Vandermeer, J. 2011).

En la actualidad los estudios evidencian que el modelo ha resultado ser insostenible y no ha resuelto los problemas sociales, sino que por el contrario los ha aumentado, creado grandes brechas y dependencia en el campo. Ambientalmente al incrementar la producción de forma drástica se generan impactos negativos en los recursos naturales que son la base de la producción agrícola (Gliessman, R. 2002; Corrales, E. 2002).

La producción convencional es insostenibles a largo plazo básicamente porque sus prácticas alteran dramáticamente la regulación natural de los agroecosistemas, lo que resulta en agroecosistemas vulnerables, dependientes de insumos químicos e intervención humana (Jackson, L. et al. 2007; Altieri, M. 1999). Esto se debe en parte a la simplificación estructural y funcional a la que se ven intencionalmente sometidos los agroecosistemas modernos, siendo los monocultivos la representación mas extrema (Jackson, L. et al. 2007; Vandermeer, J. 2011) La práctica de monocultivo se podría ver como el primer paso a la dependencia de insumos externos, pues una ves simplificado el agroecosistema este no poseerá elementos para autorregular sus procesos (Altieri, M. 1999).

Para ilustrar este círculo vicioso; pongamos como ejemplo un agroecosistema manejado con monocultivo, el cual ofrece a las plagas hectáreas completas del mismo alimento, contribuyendo a su explosión poblacional (Vandermeer, J. 2011). Este sistema no posee mecanismos ecológicos de defensa para responder al impacto de estas poblaciones, por lo que son necesarias grandes cantidades de pesticidas que ayuden a controlar la plaga a corto plazo, pero también contribuyen a la eliminación de los enemigos naturales, lo que genera una reaparición rápida de la plaga y por lo tanto dependencia al pesticida (Gliessman, R. 2002). Incluso existen

casos en que el pesticida no asegura la eliminación de las plagas, esto se debe a que una vez sometida a esa selección natural intensiva, la plaga puede crear una resistencia genética al pesticida (Altieri, M. 1999; Gliessman, R. 2002). Así sucede con el resto de las funciones y componentes de sistema generando dependencia también por fertilizantes sintéticos, arado, riego y transgénicos (Gliessman, R. 2002, Altieri, M. 1999; Vandermeer, J. 2011)

Para fines de este estudio es importante resaltar que dentro de este proceso industrial el recurso del suelo es considerado únicamente cómo el sustrato que soporta las raíces del cultivo; y no como componente complejo con procesos naturales y requerimientos para renovarse, mantenerse sano y productivo (León, T. s. f. (a); Gliessman, R. 2002).

3.2.2. Agricultura Sostenible

Partiendo de los numerosos impactos ambientales que ha generado la agricultura convencional o tecnificada, han surgido respuestas alternativas, que básicamente buscan mantener la calidad de los recursos naturales, que son base de la producción agropecuaria. Altieri, M. (1999 p.87) define agricultura sustentable o sostenible como “un modo de agricultura que intenta proporcionar rendimientos sostenidos a largo plazo, mediante el uso de tecnologías ecológicas de manejo”.

La agricultura sostenible pasa de una visión puramente técnica hacia una más compleja e integral, donde se toman en cuenta aspectos sociales, culturales, políticos y económicos que pueden influenciar sobre el sistema productivo. Sin embargo la principal diferencia, es que la agricultura sostenible pasa a ver más allá de la producción económica y busca estabilidad ecológica dentro de sus sistemas productivos y la optimización del sistema como un todo, de donde surge el término agroecosistema (Altieri, M. 1999; Altieri, M. (s.f.).

Solo bajo esta visión ecológica de los sistemas productivos, se puede generar manejos alternativos y eficientes que sean sostenibles, pero al mismo tiempo altamente productivos, para poder soportar la creciente población del futuro (Gliessman, R. 2002).

La agricultura sostenible propone sistemas agrícolas autosuficientes, con alta diversidad de especies en su interior, reducción de agroquímicos y un uso eficiente de energía (Vandermeer, J. 2011).

Tener diversidad en los cultivos y vegetación en general ayuda al control de plagas, dándole al agroecosistema la posibilidad de autorregularse de forma natural. La diversidad contribuye también a que el ciclo de nutrientes sea más cerrado, generando menor dependencia de insumos externos y mayor conservación del suelo (Parr, J. et al.1992; Gliessman, R. 2002). Existen prácticas y manejos que promueven dicha diversidad como podrían ser: las rotaciones de cultivos o policultivos, cultivos de cobertura para el suelo, agroforestería y sistemas agrosilvopastoriles (Parr, J. et al.1992).

Otro foco importante se basa en la reducción o eliminación de agroquímicos. Sin embargo para tener un sistema productivo eficiente es necesario buscar manejos que sustituyan dichos insumos, asegurando la nutrición de las plantas con elementos orgánicos y la protección a plagas y enfermedades por medio del manejo integrado de plagas (Vandermeer, J. 2011). Por lo que nuevamente son necesarios agroecosistemas complejos, donde exista alta diversidad y de esta diversidad surjan numerosas interacciones. Haciendo que los componentes biológicos sean capaces de igualar los ciclos de materia y energía que se dan en los ecosistemas naturales (Altieri, M. s.f.; Vandermeer, J. 2011).

El hecho de que algunos productores continúen teniendo un enfoque no sistémico de sus predios, visualizando cada parte por separado y no como un todo hace que predomine la agricultura convencional. Ya que por ejemplo la deficiencia de un nutriente es visualizada como el culpable de la mala producción. En vez de analizar que esa deficiencia es solo la manifestación de un sistema que se encuentra en desequilibrio y debe ser tratado en su totalidad (Altieri, M. 1999; Altieri, M. (s.f.)).

En la agricultura sostenible se parte de la idea que un “cultivo es un ecosistema en el cual los procesos ecológicos también ocurren, procesos tales como ciclaje de nutrientes, interacciones de depredador/presa, competencia, comensalía y cambios sucesionales” (Hecht, S. 1999). Sin embargo en los sistemas de producción agrícola a diferencia de ecosistemas naturales; dichos procesos se ven influenciados por

factores sociales y económicos que definen entre otras cosas, las poblaciones de utilidad agrícola, los insumos, recursos, dinero, que van a ingresar al sistema (Altieri, M. 1999; Hecht, S. 1999).

León, T. (s. f. (a)) y Vandermeer, J. (2011) resaltan que buscar un buen manejo del suelo representa un requisito para la sostenibilidad de la producción agropecuaria. Hacen énfasis en revertir procesos erosivos, en replantear las técnicas de labranza, de la reposición de materia orgánica, uso de cultivos de cobertura, además de la rotación de cultivos con leguminosas. Buscando la conservación de los suelos, pues como mencionado, todas las actividades agropecuarias y forestales tienen como base de su producción, el componente suelo. Por lo que la especie humana depende directamente de la disponibilidad de suelos capaces de producir (fértil) para su alimentación y sustento (Gliessman, R. 2002).

3.2.2.1. Agricultura orgánica

Dentro de las modalidades de agricultura sostenible, se encuentra la agricultura orgánica; la cual básicamente busca evitar hasta excluir totalmente todos los insumos de origen sintético; (fertilizantes, pesticidas, fungicidas, etc.). Sin embargo es importante comprender que para tener una producción agrícola eficiente sin insumos sintéticos es necesario aplicar prácticas que los sustituyan; promoviendo la fertilidad del suelo y su estructura; ofreciendo nutrientes para las plantas y el control de plagas (Altieri, M. 1999). Dentro de las prácticas más usadas en la agricultura orgánica podemos resaltar:

- Máxima utilización de la rotación de cultivos (para evitar incidencia de plagas) incluyendo leguminosas como la principal fuente de nitrógeno.
- Todo tipo de acumulación de materia orgánica en el suelo y fertilizantes naturales (rastros vegetales, abono animal, abonos verdes, desechos orgánicos exógenos).
- Control biológico de plagas
- Alta diversidad de especies cultivadas (mayor estabilidad ambiental). (USDA. 1980 citado en Altieri, M. 1999).

La agricultura orgánica va más allá de evitar el uso de insumos químicos; busca reemplazar fuentes externas como combustibles obtenidos fuera del predio, por

insumos que se pueden encontrar dentro o cerca al sistema de producción. Busca también un ecosistema sostenible, alimentos saludables y nutritivos, bienestar animal y equidad social (Flórez, J. 2009).

Sin embargo el no usar insumos químicos externos no implica los sistemas orgánicos sean anticuados al contrario son usadas prácticas de última tecnología combinadas con técnicas agrícolas conservacionistas para obtener una alta producción pero sostenible en el tiempo (León, T. (s. f. (a); Gliessman, R. 2002).

3.2.3. Sistema de Producción

Forero et al (2002, p.25) define sistema de producción rural como “una unidad espacial en la que se adelanta una actividad productiva agropecuaria, forestal, y/o agroindustrial, regulada por una agente económico, quien toma las decisiones de acuerdo a un cierto grado de autonomía, aunque condicionado por el entorno socioeconómico, político y cultural”.

Según Hart, R. (1985), los sistemas de producción están conformados por dos subsistemas que son: El Sistema Socioeconómico y El Agroecosistema.

El sistema socioeconómico está conformado por el grupo que maneja el agroecosistema, y como este grupo se organiza, dirige y realiza las actividades de acuerdo con su cultura y prácticas. Este sistema define los procesos que se dan en los agroecosistemas y a su vez se ve limitado por la estructura (componentes bióticos y abióticos) de este último. El Agroecosistema como explicado anteriormente cuenta por lo menos con una población de utilidad agrícola, posee entradas, componentes bióticos y abióticos, que interactúan y generan salidas o productos (Hart, R. 1985; Hart, R. 1990).

El sistema de producción puede estar fragmentado espacialmente bien sea en lotes o fincas no continuas geográficamente, y existen a su vez diversas formas de tenencia y/o una combinación de estas, propiedad, arrendamiento, usufructo, aparecería (Forero et al. 2002).

La estructura del sistema productivo está relacionada con el número, tipo de componentes y su interacción (interacción de los componentes físicos, bióticos y

socioeconómicos). Y para el análisis de los sistemas productivos se debe integrar la totalidad de sus componentes (Hart, R. 1985; Hart, R. 1990).

3.2.4. Agroecosistema

Dentro de la definición de agroecosistema; Gliessman, R. (2002. p:17), afirma que es un predio de producción agrícola visto bajo el enfoque de ecosistema, este último lo define como “un sistema funcional de relaciones complementarias entre organismos vivos y su ambiente”. Flórez, J. (2009) y Gliessman, R. (2002), señalan que a pesar de las grandes diferencias tanto estructural como funcional entre los agroecosistemas y los ecosistemas naturales también se presentan similitudes. Sin embargo una diferencia clave radica en que los agroecosistemas son sistemas abiertos donde entran insumos del exterior y los productos obtenidos pueden terminar en sistemas externos. Todo esto gracias a la intervención humana quien aporta energía, mediante la mano de obra, la maquinaria e insumos químicos y extrae los productos para su consumo o comercio (Vandermeer, J. 2011).

Al igual que en los ecosistemas naturales; los agroecosistemas poseen componentes bióticos (plantas, animales) y abióticos (clima, pendiente, etc.) que interactúan y son interdependientes. En conjunto estos componentes generan procesos dentro del sistema (Gliessman, R. 2002). De estos procesos Flórez, J. (2009) resalta el procesamiento de nutrientes y el flujo de energía; este último entendido como la fijación de energía en la biomasa por medio de fotosíntesis y su posterior transferencia por los niveles tróficos. Mientras el procesamiento de nutrientes se refiere al ciclaje biológico de nutrientes de formas orgánicas a inorgánicas y viceversa.

El énfasis de los agroecosistemas según Altieri, M. (1999 p:47) “son las interacciones entre la gente y los recursos de producción de alimentos al interior de un predio”. Dándole gran importancia al valor cultural. Es importante resaltar que este concepto (Agroecosistema) está estrechamente relacionado con la teoría de sistemas, donde para explicar los fenómenos manifestados en algún componente; se debe estudiar al sistema como un todo y tomar en cuenta las interacciones que estos presentan. Siendo esta la única forma de comprender los fenómenos y poder tomar decisiones que mejoren la producción (Altieri, M. s.f.; Hart, R. 1985).

3.2.5. Sostenibilidad

Según Altieri, M. (1999 p. 66) La sostenibilidad en un sistema agropecuario “es la capacidad para mantener un nivel de productividad de los cultivos a través del tiempo sin exponer los componentes estructurales y funcionales de los agroecosistemas”. El autor aclara que esta sostenibilidad se consigue por medio del uso de tecnologías ecológicas, que visualicen el sistema productivo como un ecosistema donde el objetivo central no sean los rendimientos de un solo producto; sino la optimización del sistema como un todo.

La sostenibilidad ecológica busca que los recursos básicos para las actividades humanas sean aportados por el ecosistema permanentemente, asegurando de esta forma el bienestar de la población humana. Para esto las prácticas no deben explotar los recursos al límite de poner en riesgo la permanencia de los mismos. De esta forma se plantea que la sostenibilidad ecológica; debe mirar hacia la estabilidad y sostenibilidad de los recursos naturales, sin dejar de generar productos y servicios para el bienestar social (Altieri, M. (s.f.); Corrales, E. 2002).

La agroecología como mencionado anteriormente busca restablecer procesos ecosistémicos en los agroecosistemas, para que pueda existir un equilibrio en su interior, ser sostenibles y con esto a su vez asegurar la producción de alimento a largo plazo.

3.2.6. Suelos

Para fines de este estudio la definición técnica propuesta por Soil Survey Staff (2006 p.1) no es la más útil, por lo que se tomará en cuenta su definición más tradicional donde El suelo es el medio natural dinámico en el cual ocurren transformaciones resultado de la interacción de procesos físicos, químicos, biológicos y de actividades antrópicas. Estos procesos ocurren de forma simultánea generando un sustrato que brindará nutrientes, agua y sostén para el desarrollo de las plantas terrestres y otros organismos (Soil Survey Staff. 2006; Henríquez, C. y Calbaceta, A. 1999; Gliessman, R. 2002).

El suelo está condicionado por cinco factores formadores naturales que son: 1. Material Parental. 2. Tiempo. 3. Clima. 4. Organismos. y 5. El Relieve. Estos factores locales deben ser tomados en cuenta en cualquier estudio de suelo, sin embargo en

esta investigación serán complementados con los efectos que la producción agrícola, puede tener sobre las características de los mismos (Vandermeer, J. 2011)

En los sistemas agropecuarios el suelo es un recurso de especial relevancia, por ser la base de la producción y entre sus numerosas funciones destacamos: 1. es hábitat de numerosos organismos. 2. sostén y fuente de nutrientes de las plantas. 3. Influye en la mineralización, reciclaje, flujo de nutrientes y energía en especial de materia orgánica. 4. Regula parte del ciclo hídrico y del clima, etc. (Gliessman, R. 2002).

La producción agropecuaria requiere en sus procesos de recursos naturales como el suelo. La calidad y cantidad de este recurso y en consecuencia, la posibilidad de una producción que perdure en el tiempo, esta determinada por cómo y con que intensidad es explotado el suelo y el tipo de tecnologías empleadas. El uso inadecuado de la tecnología es clave para la degradación de los suelos (ej. Labranza intensiva con tractores en zonas de pendiente). La utilización de recursos externos principalmente de origen sintético no contribuyen a la nutrición de los suelos, dejándolos infértiles a futuro, lo que promueve la ampliación de la frontera agrícola, reduciendo hábitats naturales importantes para la conservación de la biodiversidad (Corrales, E. 2002).

La producción y algunas prácticas en los sistemas productivos agropecuarios convencionales, generan numerosas consecuencias que pueden degradar la calidad de los suelos, hasta el caso extremo de dejarlos improductivos. Entre estas consecuencias podemos mencionar: 1. La compactación por uso de maquinarias pesadas o sobrepastoreo. 2. La erosión por deforestación e uso intensivo de labranza. 3. Salinización por uso de aguas con altas concentraciones de sales solubles. 4. Contaminación por uso excesivo de pesticidas. 5. Pérdida de materia orgánica y nutrientes, por no ser restituida con los insumos de origen sintético. 6. Pérdida de la diversidad de la biota del suelo, por uso de pesticidas, agroquímicos, y por el constante volteo del suelo al arar, que disturban su hábitat y los deja expuestos a condiciones extremas, entre muchos otros efectos que en general afectan la fertilidad o la estructura básica del suelo para poder producir (Vandermeer, J. 2011; Henríquez, C. y Calbaceta, A. 1999) a pesar de que en este párrafo se intenta explicar cada una de estas consecuencias con alguna de sus causas; en realidad es

difícil hablar que por ejemplo; la pérdida de materia orgánica se debe a un solo factor y es mas acertado pensar que todos los factores interactúan entre sí definiendo las características del suelo.

3.2.6.1. Calidad del Suelo

El suelo representa un factor de producción y en este estudio se busca evaluar la calidad del suelo que determina la sostenibilidad de la producción en un agroecosistema, ambos conceptos definidos anteriormente, pero que en este caso se utilizarán en conjunto, debido que al evaluar calidad del suelo se busca de cierta forma conocer si es posible producir sosteniblemente en un suelo determinado (León, T. s. f. (a); Corrales, E. 2002).

El concepto de calidad de suelo trasciende a la definición de fertilidad; la cual se limita a la oferta y disponibilidad de nutrientes para las plantas (tales como nitrógeno, fósforo y potasio). Pero no abarca todas las propiedades del suelo que influyen sobre la producción vegetal (Parr, J et al. 1992; Karlen, D. et al. 1992).

Por lo que un suelo de buena calidad, es aquel del que se pueden obtener cultivos, sanos y de alto rendimiento, con el menor impacto negativo sobre el ecosistema. Adicionalmente un suelo sano posee propiedades de regulación o amortiguación frente a perturbaciones naturales (ej. clima) o antrópicas, proporcionando un ambiente estable al crecimiento saludable de los cultivos. En otras palabras los factores que determinan la calidad del suelo, son aquellos que influyen en el crecimiento del cultivo y muchos de estos factores no son propiedades de la fertilidad propiamente dicha, como puede ser la estructura del suelo (Karlen, D. et al. 1992; Vandermeer, J. 2011).

Parr, J et al. (1992 p.5) afirman que “las diferentes propiedades químicas físicas y biológicas de un suelo interactúan de formas complejas determinando la capacidad de producir cultivos sanos y nutritivos. La integración de estas propiedades junto al nivel de productividad es conocido comúnmente como calidad del suelo”.

La Calidad del suelo es un atributo que puede ser inferido por características específicas del suelo como son: compactación, erosión, pH, materia orgánica etc. tomando en cuenta que no incluye solo fertilidad sino que también se refiere a la

integridad de la estructura del suelo. Ya la pérdida de calidad de suelo puede definirse como la degradación del suelo (Karlen, D. et al. 1992; Parr, J et al. 1992).

Para evaluar la calidad de los suelos deben ser medidas u observadas las propiedades químicas, físicas y biológicas; haciendo énfasis en esta última debido que los microorganismos e invertebrados del suelo cumplen un papel fundamental en la descomposición de la materia orgánica, así como en el ciclo de nutrientes. Adicionalmente los procesos biológicos contribuyen a la resiliencia y a la capacidad amortiguadora del suelo frente a cualquier stress ambiental o antrópico. Paralelamente está el Carbono, el cual es un elemento esencial en los suelos, razón por la cual la materia orgánica representa un factor crítico al influir sobre casi todas las propiedades (físicas, químicas y biológicas) que definen la calidad del suelo así como en el ciclo de nutrientes (Parr, J et al. 1992; Magdoff, F. 1999; Karlen, D. et al. 1992).

Evaluando la calidad del suelo es posible comprender el efecto que generan las prácticas y manejos sobre los suelos para posteriormente poder sugerir estrategias que mejoren la calidad del suelo (Parr, J et al. 1992; Magdoff, F. 1999; Karlen, D. et al. 1992).

Para complementar León, T. (s.f. (a) p.4) afirma apoyado en estudios actuales que “un suelo sano, con adecuados contenidos de nutrientes y de materia orgánica, bien estructurado y manejado con visión integral, respetando los ciclos y las leyes de los ecosistemas, es garantía suficiente para obtener rendimientos altos (producción) y sostenibles”.

3.2.6.2. Indicadores de calidad del suelo

Para evaluar las condiciones del suelo existen una serie de indicadores de calidad estandarizados que sirven como referencia (SQI. 1996). Los indicadores permiten evaluar el estado de los suelos a través de observaciones o mediciones que nos indican si un suelo es sano, productivo o si por el contrario; se encuentra degradado (Altieri, M. y Nicholls, C. 2001)

Los indicadores son un grupo de mediciones u observaciones definidos por investigadores que por experiencia reconocen dichos datos como relevantes y sirven de referencia para evaluar cierto sistema o recurso. Los indicadores suelen funcionar

no solo para describir sino para monitorear el mismo objeto de estudio en el tiempo. Los indicadores son una herramienta muy adecuada para evaluar y llevar seguimiento de un agroecosistema, pero si se quiere evidenciar la viabilidad de este sistema, dichos indicadores deben ser pertinentes en el tiempo, espacio, y las condiciones específicas de estudio (SQI. 1996, Parr, J et al. 1992; Magdoff, F. 1999; Karlen, D. et al. 1992). Por medio de estos indicadores se podrá evaluar la calidad del suelo.

Los indicadores de calidad pueden ser categorizados en cuatro grupos generales como son: indicadores químicos, físicos, biológicos, adicionalmente se pueden usar indicadores visuales del sistema productivo que ejercen influencia en la calidad del suelo.

Indicadores Químicos

Dentro de la calidad del suelo está inmersa la fertilidad que puede ser evaluada por medio de indicadores químicos como el pH, Capacidad de Intercambio Catiónico, Carbono orgánico total, saturación de bases, etc. De la interacción de todos estos atributos que definen la fertilidad depende la producción vegetal en los agroecosistemas. Dentro de los componentes químicos se destaca el Carbono orgánico, del cual dependen directamente la diversidad y actividad de las poblaciones de fauna edáfica y microorganismos así como muchas otras propiedades del suelo. (Parr, J et al. 1992; Magdoff, F. 1999; Karlen, D. et al. 1992). Dentro de las propiedades químicas existe un proceso que es fundamental para la fertilidad del suelo y se trata del intercambio iónico entre el complejo de cambio (fase sólida o coloidal); con la solución del suelo que es de donde pueden absorber nutrientes las plantas. El complejo de cambio contiene cationes de Ca, Mg, K, Na, etc. adsorbidos. Estos iones al ser positivos pueden ser intercambiados por iones de la misma carga de la solución del suelo, surtiéndola nuevamente de los nutrientes extraídos (Ortega, D. 1995; Malagon, D. et al 1995).

Indicadores Físicos

La calidad del suelo puede ser descrita por algunos indicadores físicos como densidad aparente, infiltración, porosidad, estructura, características de los agregados, etc. que influyen sobre diversos fenómenos como: el transporte de agua,

nutrientes y aire, así como en la estimulación de procesos realizados por los microorganismos e invertebrados del suelo. Adicionalmente regula la emersión de las plántulas, la penetración de las raíces e influye en los procesos de erosión (Karlen, D. et al. 1992, Vandermeer, J. 2011).

Indicadores Biológicos

En el suelo viven una serie de organismos; los animales o fauna edáfica ejercen una función importante con respecto al ciclo de nutrientes. Estos organismos también afectan la evolución de los suelos participando de la mezcla de partículas orgánicas y minerales, en la formación de poros y agregados por materia fecal, por estas razones los organismos son considerados un factor formador del suelo (Gliessman, R. 2002, López, A. 2005).

Con respecto al ciclo de nutrientes la mesofauna y macrofauna edáfica: 1. consumen materia orgánica y la simplifican o fraccionan. 2. mezclan el suelo y aumentan la porosidad mejorando las condiciones para la mineralización de la materia orgánica. 3. aumentan la disponibilidad de nutrientes con material fecal y controlan poblaciones de microorganismos (López, A. 2005; Pérez, M.A. 2010).

En el caso específico de las lombrices su presencia nos sirve como indicador de baja o alta aplicación de agroquímicos, debido a que son muy sensibles a estas sustancias (Pérez, M.A. 2010).

La microbiota edáfica contribuye a la mineralización de la materia orgánica, cumpliendo una función importante, pues de ella depende parte de la oferta de sales minerales y nutrientes asimilables por la planta. Influyen también en la humificación de la MO y fijación de nitrógeno por *Azotobacter*, *Clostridium* y simbiosis entre leguminosas y *Rhizobium*.f. lo que resulta esencial, pues el N puede ser un factor limitante para el crecimiento de las plantas. La microbiota participa de ciclos de nutrientes de varios elementos como: C, N, S, P, Ca, Fe, Mn, entre otros (López, A. 2005; Pérez, M.A. 2010).

Adicionalmente los microorganismos al ser muy sensibles a perturbaciones resultantes del manejo del suelo; son un excelente indicador (Vandermeer, J. 2011).

Para comprender como influye cada una de las propiedades escogidas como indicador sobre la calidad del suelo; véase Anexo 3.

necesarios para vivienda, comercio, bodegaje, industria, etc. lo que se opone a la vocación de uso de los suelos del municipio que por sus características son apropiados para uso agrícola (Alcaldía municipal de Madrid, 2008).

Geografía: El municipio se encuentra influenciado al costado norte por el río Subachoque y al costado sur occidental por el río Bojacá. Ya la finca en particular hace parte de la cuenca del río Bojacá, el cual alimenta las aguas de la Laguna La Herrera, de donde sacan agua para el riego de los cultivos. El río Bojacá desemboca en el río Bogotá.

En el municipio se distinguen dos zonas geográficas: una zona plana que corresponde al 84 % de la extensión del municipio, donde está ubicada la ciudad. Caracterizada por encontrarse a alturas entre 2500 y 2600 m.s.n.m. y con un relieve plano de 0-1% de pendiente, pero poco inundable por las buenas condiciones de drenaje en los suelos, buena disponibilidad de aguas superficiales y subterráneas, presencia de suelos fértiles y profundos. Por dichas razones la producción agrícola es ideal en esta zona. La otra zona, ocupa el 16 % de la extensión del municipio, está conformada por una elevación montañosa que alcanza los 2.875 metros de altura (Alcaldía municipal de Madrid, 2008).

Clima: El municipio de Madrid presenta una temperatura media anual de 13°C, alcanzando una máxima media anual de 19°C y una mínima de 6,5°C Fuente IDEAM 1997 citado en Alcaldía municipal de Madrid, (2008)

La precipitación promedio anual es de 598 mm lo que representa una de las regiones más secas del departamento. El municipio presenta un régimen bimodal con lluvias repartidas a lo largo del año pero con mayores precipitaciones entre los meses de Abril-Mayo y Octubre-Noviembre. Con una humedad relativa va del 10 al 25%. Encajando en la zona de vida propuesta por Holdridge, de Bosque seco montano bajo citado en (Alcaldía municipal de Madrid, 2008).

Suelos: La asociación de suelos que conforman el municipio de Madrid se conoce como el Complejo Humic Dystrustepts – Typic Haplustalfs – Fluvanquentic Endoaquepts. Símbolo RMR. Fases: RMRa, RMRb.

Esta unidad de suelos se encuentra localizada en altitudes entre 2.000 y 3.000 m. con climas fríos y secos, con temperaturas entre 12 y 18 °C y precipitación promedio

anual entre 500 y 1.000 mm, los que encaja perfectamente con las condiciones de Madrid.

En la publicación del IGAC (2000 p.195) se especifica que “esta unidad cartográfica forma parte de las terrazas de la planicie fluvio lacustre (río Bogotá), el relieve es ligeramente plano a ligeramente ondulado con algunos sectores plano-cóncavos (cubetas) afectados ocasionalmente por encharcamientos de corta duración”.

El material parental de estos suelos lo constituyen depósitos clásticos hidrogénicos; son de evolución baja a moderada y pueden ser de pobre a moderadamente bien drenados, profundos a superficiales y de texturas finas a moderadamente gruesas. Químicamente son de reacción medianamente ácida a neutra, mediana a alta capacidad de intercambio catiónico y saturación de bases; contenidos medios a altos de calcio, magnesio y potasio, niveles altos de fósforo en el horizonte superficial y bajos en los horizontes inferiores y fertilidad en general moderada.

4. Metodología

Objeto y variables de Estudio

Este estudio se basa principalmente en estudiar el suelo de un sistema productivo orgánico. Al cual se le evaluarán diversas características (variables) químicas, físicas y biológicas. Sin embargo y en orden de poder comprender los procesos que ocurren en el suelo y saber si realmente sus condiciones son consecuencia de factores antrópicos y/o naturales; es necesario describir el agroecosistema, conocer sus componentes, función y manejos. En la Figura 3, podemos observar un diagrama que ilustra los objetos de estudio y las variables a evaluar. También muestra en parte como se organizan los elementos de un sistema productivo, donde el agroecosistema y el sistema socioeconómico son los grandes componentes. A su vez dentro de cada uno de ellos existen subsistemas, pero tomando en cuenta que para este estudio el sistema socioeconómico no será evaluado, se enfatiza en el agroecosistema donde se encuentra el suelo, pero que en este caso específico será estudiado únicamente dentro del subsistema agrícola.

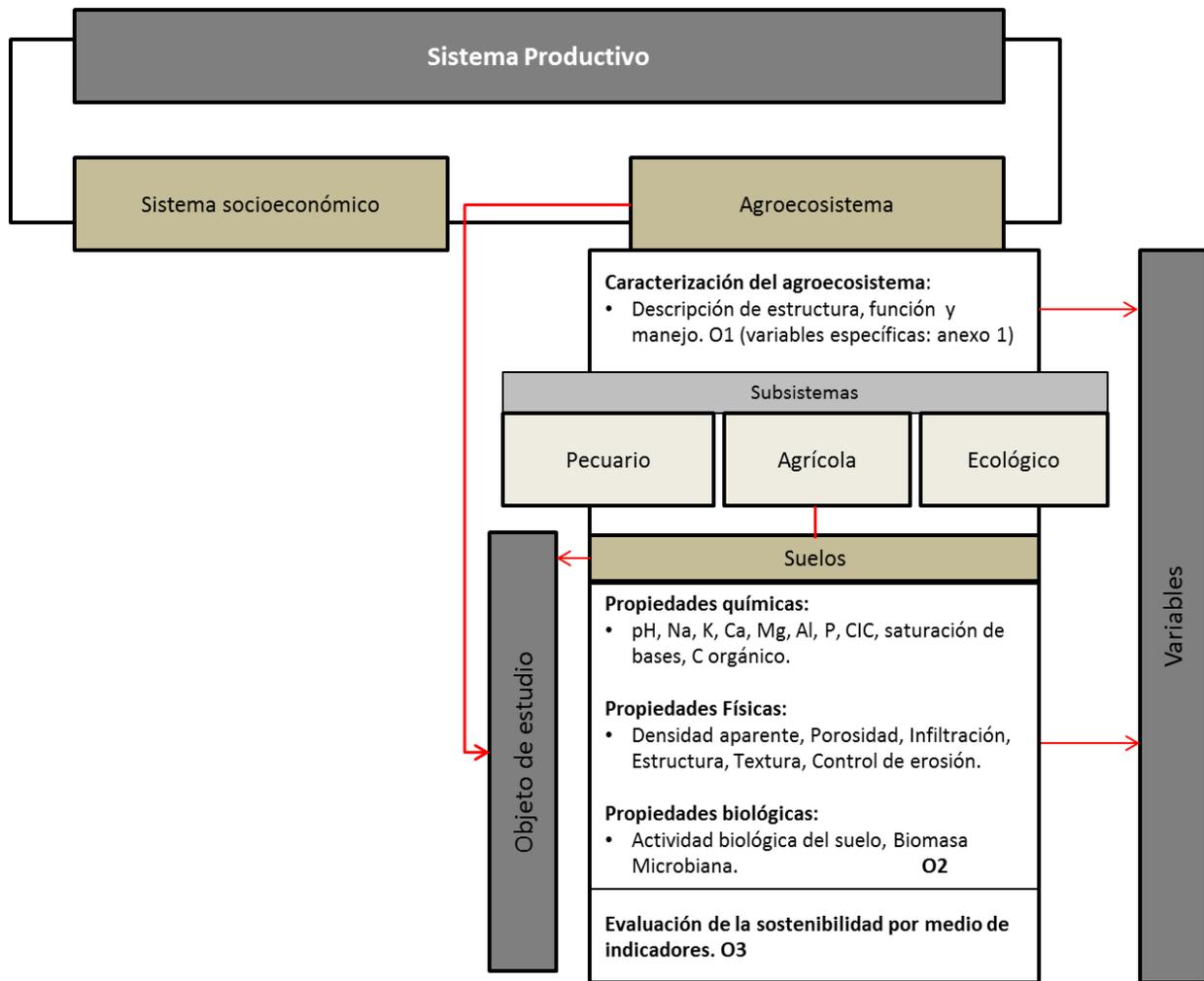


Figura 3. Diagrama con Objeto de estudio y componentes del Sistema productivo. (Tomado y modificado de Hart, R. 1985).

Para determinar la calidad del suelo en agroecosistemas manejados con agricultura orgánica, es necesario realizar una serie de pasos. En primer lugar se caracterizó el agroecosistema para contextualizar la estructura, funcionamiento y manejo que pudiesen estar afectando positiva o negativamente este recurso. Luego se valoraron o describieron las propiedades químicas, físicas y biológicas de los suelos, que posteriormente fueron comparadas con una serie de indicadores, para evaluar su calidad.

El proceso metodológico que se presenta se puede visualizar en el diagrama metodológico (Figura 4).

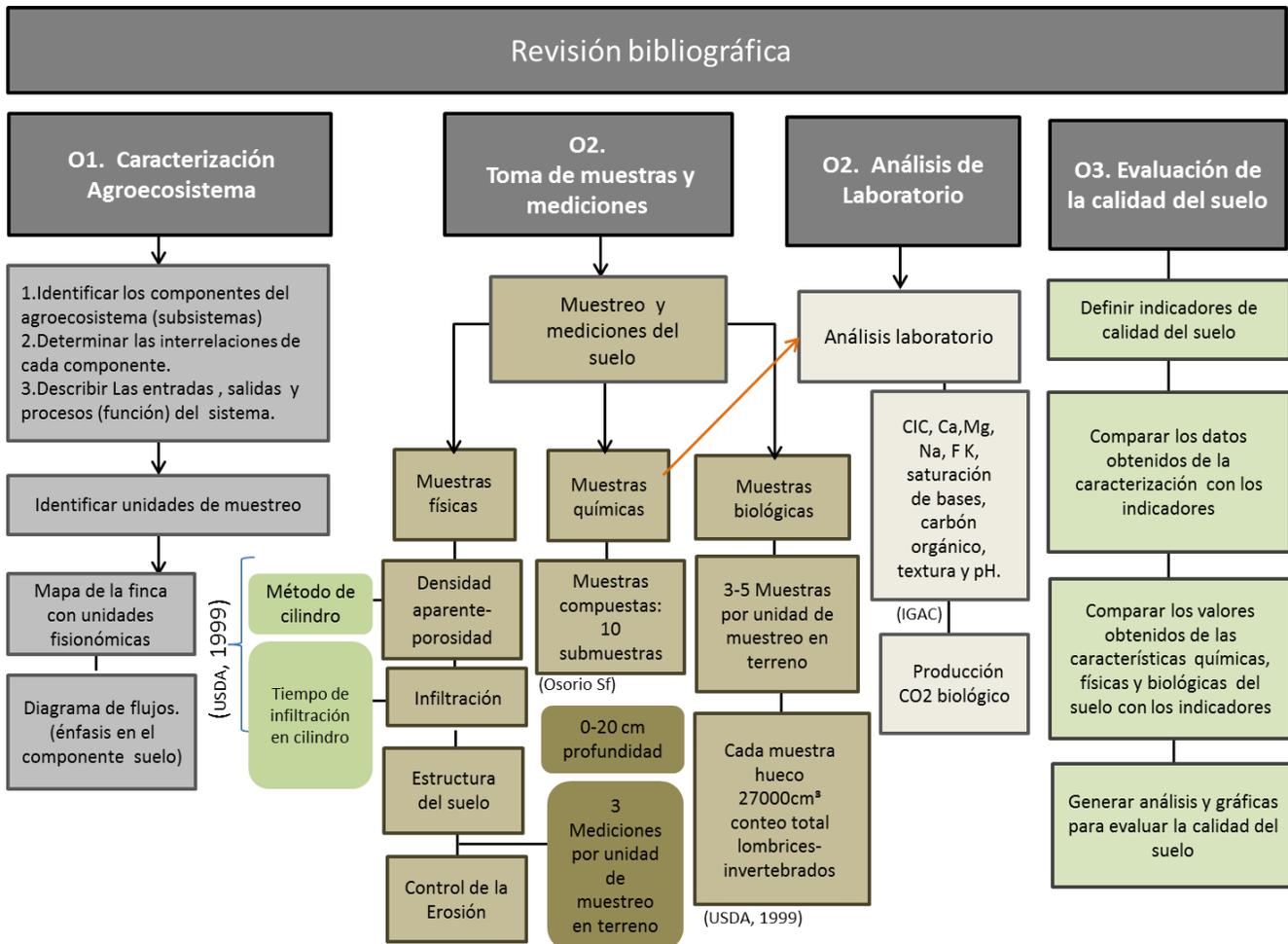


Figura 4. Diagrama Metodológico.

4.1. Caracterización del Sistema Agroecológico

Con el fin analizar y discutir los factores que influyen sobre la calidad del suelo con manejo orgánico; se llevó a cabo una descripción de la estructura, funcionamiento y manejo del sistema; identificando: las entradas, componentes (sistemas y subsistemas), manejos, procesos, interacciones y salidas (Corrales, E. y Forero, J. 2007). Para recolectar esta información se utilizó “la guía para la observación de sistemas de producción”, diseñada por el Grupo de investigación de sistemas de producción y conservación de la Facultad de Estudios Ambientales y Rurales de la PUJ (Forero, J. s.f.), con modificaciones pertinentes para este estudio (Anexo 1).

Estructura del Agroecosistema

Se realizó una descripción de las unidades fisionómicas que componen el agroecosistema. Incluyendo por cada lote una descripción de su estructura tomando

en cuenta componentes (factores bióticos y abióticos), distribuciones, entradas, salidas, ciclos de cultivo.

Se elaboró un mapa del sistema productivo identificando las diferentes unidades fisionómicas, presentes. Para definir estas unidades fisionómica se tomó en cuenta los criterios utilizados en ecología del paisaje. Donde las condiciones del relieve y cobertura vegetal de los suelos; son las variables utilizadas para definir las (Corrales, E. y Forero, J. 2007). La cobertura vegetal se clasificó a partir de la composición, la estructura, la distribución y ciclo de los cultivos o vegetación natural en el espacio, durante el tiempo correspondiente al estudio. Ya el relieve se clasificó por los niveles de pendiente (Forero, J. 2002). Para cumplir con estas actividades fueron necesarios recorridos por los predios de la finca la Estancia, con observaciones directas que permitieron describir los componentes bióticos y abióticos (estructura), procesos e interacciones (función) del agroecosistema; especialmente aquellos que puedan generar algún tipo de impacto sobre el suelo. Otras herramientas usadas fueron la de observación directa y la entrevista abierta a trabajadores de la finca.

Diagrama de Flujos (Función del Agroecosistema)

Con fines de visualizar los flujos, procesos e interacciones entre los componentes se realizó un diagrama de flujos del agroecosistema con énfasis en los procesos que influyen sobre el suelo.

Determinación de los aspectos agronómicos y tecnológicos asociados a los sistemas agrícolas y pecuarios:

Para obtener la información de: insumos, herramientas, manejo tecnológico, manejo de desechos en cada una de las unidades fisionómicas; fue usado un documento con el resumen histórico de los lotes y de las prácticas realizadas en ellos. Este documento fue facilitado por el dueño de los cultivos, quien debe registrar regularmente estas variables como requisito para obtener la certificación orgánica. Otras herramientas usadas fueron la de observación directa y la entrevista abierta a trabajadores.

Identificar unidades de muestreo

Una vez obtenida la descripción del agroecosistema se decidió sobre cuáles serían las unidades de muestreo para el subsistema suelo. Para este fin la unidad de muestreo debe ser homogénea en los siguientes aspectos: pendiente, material

parental, uso, cobertura, manejo y edad de cultivo, coincidiendo con las unidades fisionómicas previamente establecidas en la caracterización (Osorio s.f.).

4.2. Tipos de Análisis

Se realizaron tres tipos de análisis, el primero para medir propiedades químicas, el segundo de carácter físico y el tercero biológico. En las siguientes tablas se muestran las características (variables) a muestreadas o medidas y el método de utilizado.

Tabla 1. Análisis químicos del suelo de la Finca la Estancia, 2012.

Propiedades	Unidad	Método utilizado	Fuente
Reacción del suelo (pH)		Potenciométrico, Suelo: Agua:1:1	(IGAC. 2006)
Potasio (K)	cmol.Kg ⁻¹	Acetato de Amonio	(Ortega, D. 1995)
Calcio (Ca)	cmol.Kg ⁻¹	Acetato de Amonio	
Magnesio (Mg)	cmol.Kg ⁻¹	Acetato de Amonio	
Sodio (Na)	cmol.Kg ⁻¹	Acetato de Amonio	
Aluminio de cambio (Al)	cmol.Kg ⁻¹	KCl 1N	(IGAC.2006)
Capacidad de intercambio catiónico (CIC)	cmol.Kg ⁻¹	Acetato de Amonio 1N. pH 7,0.	
Saturación de bases (SBA)	%	BT / CIC*100	
Carbón orgánico (CO)	%	Digestión vía húmeda (Walkley-Black)	
Fósforo (P)	mg.Kg ⁻¹	Bray-II modificado	

Tabla 2. Análisis físicos del suelo de la Finca la Estancia, 2012.

Propiedades	Unidad	Método utilizado	Fuente
Densidad Aparente	g/cm ³	Método del cilindro	(USDA 1999)
Porosidad	%	P= 1- (densidad aparente/2,65)*100	
Infiltración	cm/hora	Ensayo de infiltración	
Estructura del Suelo	variable cualitativa	Ensayo de estructura del suelo con clases descriptivas	
Textura	% de arena, limo y arcilla	Bouyoucos con Pirofosfato de Sodio (laboratorio)	(IGAC. 2006)
Control de erosión	variable cualitativa	Clases descriptivas	(Pérez, M.A. 2010)

Tabla 3. Análisis Biológicos del suelo de la Finca la Estancia, 2012.

Propiedades	Unidad	Método utilizado	Fuente
Actividad Biológica del Suelo (meso y macrofauna)	individuos	Conteo de individuos en 27.000 cm ³ de suelo	(USDA 1999; Pérez, M.A. 2010)
Producción de CO ₂ biológico	mgCO ₂ /100g suelo/48h	Producción de CO ₂ biológico	(IGAC.2006)

4.3. Toma de Muestras y Mediciones

El muestreo y mediciones del suelo tiene como objetivo la valoración y descripción de características químicas, físicas y biológicas, las cuales poseen numerosas utilidades. Sin embargo para esta investigación, la información obtenida a través del muestreo será utilizada para evaluar la calidad del suelo, manejado con cultivos orgánicos en el sistema productivo La Estancia.

Unidades de Muestreo

Una vez descrito el agroecosistema; se buscó representar los suelos manejados con cultivos orgánicos, con el objetivo de precisar el efecto generado por estas prácticas sobre el suelo. En el caso de este sistema productivo no fue de gran dificultad elegir la unidades de muestro, debido a que el predio cuenta con seis lotes en total de los cuales: tres lotes son manejados con cultivos orgánicos, un lote en pastizal sin uso, un potrero y el espacio peridomiciliario (definido como el área que rodea la vivienda, donde existe infraestructura para actividades de subsistencia y productivas (Forero, J. 2002)), estas últimas unidades fisionómicas poseen el componente pecuario. Para visualizar las unidades véase en Resultados Fig. 5.

De esta forma fueron escogidos para realizar las muestras y mediciones los tres lotes que conforman el subsistema agrícola, ya que cada lote comenzó producir orgánicamente en periodos diferentes y esto podría generar variaciones en las propiedades del suelo. Adicionalmente se muestreó el lote en pastizal sin uso como control. En la figura 5, se pueden observar las unidades fisionómicas presentes en el sistema, aquellas señaladas con la X son las unidades muestreadas para las propiedades del suelo.

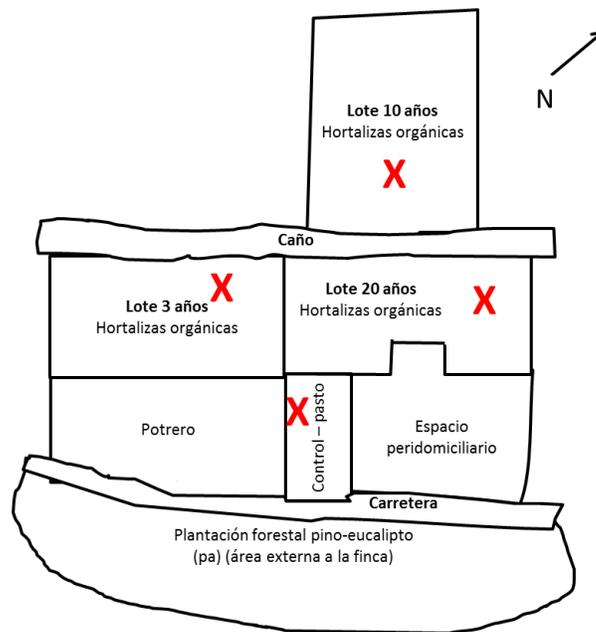


Figura 5. Mapa de la finca La Estancia, con unidades fisionómicas, resaltando las unidades muestreadas para analizar las propiedades del suelo.

- *Lote 1 (Lote 20 años)*: posee aproximadamente 20 años siendo manejado con cultivos orgánicos, con área de 4.050 m².
- *Lote 2 (Lote 10 años)*: Posee 10 años siendo manejado con cultivos orgánicos, con área de 7.920 m².
- *Lote 3 (Lote 3 años)*: Posee tres años siendo manejado con cultivos orgánicos, con área de 5.760 m²
- *Control*: es un lote en pastos (sin uso ni presencia de ganado) hace mas de 30 años, el cual representa el estado como estarían el resto de los lotes si no estuvieran siendo cultivados orgánicamente de 1.440 m².



LOTE 20 AÑOS



LOTE 10 AÑOS



LOTE 3 AÑOS

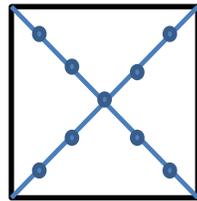
Se determinó la limitación de una parcela de muestreo estándar de 45x45m al interior de cada una de las unidades o lotes con el fin de homogeneizar el área de las mismas (Clavijo, N. et al. 2006).

4.3.1. Muestras para propiedades químicas del suelo

Forma de muestreo

Una vez definidas las unidades de muestreo y sus respectivas parcelas de 45x45m se procedió a tomar una muestra compuesta. Esto quiere decir que está compuesta de varias submuestras tomadas aleatoriamente en la unidad de muestreo (Osorio s.f.). Tanto en Osorio (s.f.) como en el IGAC (2006) se recomienda tomas de entre 20 y 10 submuestras por unidad de muestreo. Para este estudio se tomaron 10 submuestras debido a que los lotes (unidades muestreo) no son de gran extensión.

El patrón de recorrido escogido para tomar las submuestras al interior del lote fue el de diagonales, buscando representatividad en la muestra (IGAC. 2006).



El procedimiento usado para extraer las muestras fue el propuesto por IGAC (2006), y posteriormente fueron enviadas al laboratorio.

Profundidad de Muestreo

Tanto en IGAC (2006) como en Osorio (s.f.) se recomiendan para la mayoría de los cultivos agrícolas muestrear a una profundidad de 0 a 20cm.



4.3.2. Muestras y mediciones para propiedades físicas del suelo

A diferencia de la muestra compuesta realizada para las propiedades químicas, para medir o muestrear cada variable de las propiedades físicas fue utilizado un método diferente.

Frecuencia de muestreo

A pesar de cada propiedad física se obtiene por medio de un método diferente; la frecuencia de muestreo fue igual para todos los casos, realizando tres réplicas de las mediciones para cada variable en cada una de las parcelas de muestreo. Usándose el promedio de las tres mediciones. Tres réplicas para cada variable es el número mínimo recomendado por USDA, (1999) y Pérez, M.A. (2010).

Densidad aparente

Se realizó por medio del método del cilindro explicado en (USDA, 1999). Realizando tres mediciones por unidad de muestreo, en el terreno. Básicamente se trata de determinar la densidad aparente, por medio de un cilindro de volumen determinado y una balanza. Pero antes de realizar el cálculo:

$$Densidad (g/cm^3) = Masa\ seca (g) / Volumen (cm^3)$$

Se debe secar una submuestra del suelo (de peso conocido) como propuesto por (USDA, 1999) restarle a la muestra peso del porcentaje de humedad.

Porosidad

Una vez obtenidos los datos de la densidad aparente; la porosidad se calculó por medio de la fórmula tomada de (USDA, 1999):

$$Porosidad\ del\ suelos\ (\%) = \left(1 - \left(\frac{densidad\ aparente\ del\ suelos}{2.65} \right) \right) * 100$$

El 2.65 representa una aproximación promediada de la densidad real de los suelos, debido a que la densidad real del sílice es $D_r = 2,6$ y la de los feldespatos; $D_r = 2,7$. Siendo estos los que se encuentran en mayor proporción entre los minerales (López, A. 2005).

Infiltración

Se midió por medio del Ensayo de infiltración en cilindro (USDA, 1999). Con tres muestras por unidad de muestreo, en el terreno. Donde básicamente se colocó un

cilindro de 15.3 cm de diámetro sobre el suelo. Seguidamente se le adicionan 440ml de agua al interior, que representan 2.54 cm de altura dentro del cilindro. Se registró con un cronometro el tiempo que demora el agua en ser absorbida por el suelo en cm/horas, en una segunda réplica (USDA, 1999).

Estructura del Suelo

Esta es una variable que fue evaluada cualitativamente por medio de las clases descriptivas propuestas por Pérez, M.A. (2010) y USDA (1999). Evaluando los siguientes criterios diagnósticos en el suelo extraído de un agujero de 900cm²x 30 cm de profundidad:

Tabla 4. Clase y Tamaño de la estructura, Grado de la estructura y consistencia de agregados para evaluar el suelo Finca La Estancia 2012.

Clases por tamaño de la estructura				
Clase por tamaño	Laminar (mm)	Prismática y Columnar (mm)	Bloques (mm)	Granular (mm)
muy fina	< 1	< 10	< 5	< 1
fina	1 – 2	10 – 20	5 – 10	1 – 2
media	2 – 5	20 – 50	10 – 20	2 – 5
grande	5 – 10	50 – 100	20 – 50	5 – 10
muy grande	> 10	> 100	> 50	> 10
Grado de la estructura				
Débil	Agregados o “peds” son apenas reconocibles al observarlos in situ en suelo húmedo. Cuando es removido el suelo, la estructura se quiebra fácilmente y genera pocos agregados o “peds” observables.			
Moderada	Los agregados o peds están moderadamente bien formados y bien definidos in situ. Cuando es removido el suelo, son observables numerosos agregados bien formados.			
Fuerte	Los agregados o “peds” están bien formados y son muy evidentes, in situ. Cuando es removido el suelo, la estructura se quiebra en agregados o “peds” muy evidentes y bien definidos.			
Consistencia de los agregados				
Poco consistentes	Se rompen fácilmente ante la presión con los dedos.			
Consistentes	Requieren una presión moderada con los dedos para romperse.			
Muy consistentes	Requieren una presión mayor para romperse.			

Fuente: Tomado y modificado de (Pérez, M.A. 2010).

Textura

Esta variable está incluida en los análisis de laboratorio. La textura fue evaluada de la

muestra compuesta; donde se valoraron los porcentajes de arena, limo y arcilla; por medio del método Bouyoucos con Pirofosfato de Sodio (laboratorio).

Control de erosión

Esta variable fue evaluada cualitativamente por medio de las clases descriptivas propuestas por (Pérez, M.A. 2010): la primera fue evidenciar con relación a la parcela de muestreo el porcentaje que presenta cárcavas o canales, la otra clase descriptiva se evaluó midiendo en espesor del horizonte A con respecto al control.

Tabla 5. Control de la erosión del suelo.

Control de la erosión Clases descriptivas	
Control muy bajo, más del 40% de la zona de muestreo presenta cárcavas o canales y/o entre 75 al 100% del horizonte A se ha perdido.	
Control bajo, entre el 20 y el 40% de la zona de muestreo presenta cárcavas o canales y/o entre 50 al 75 % del horizonte A se ha perdido.	
Control medio, entre el 5 y el 20% de la zona de muestreo presenta cárcavas o canales y/o entre 25 al 50% del horizonte A se ha perdido.	
Control alto, no hay muestras de erosión.	

Fuente: Tomado y modificado de (Pérez, M.A. 2010).

4.3.3. Muestras y mediciones para propiedades biológicas del suelo

Presencia de invertebrados y lombrices

En todas las unidades de muestreo se excavaron agujeros de 30 cm de profundidad por 900 cm² de área (USDA, 1999). Y se realizó un conteo de los siguientes criterios diagnósticos propuestos por Pérez, M.A. 2010:

Tabla 6. Presencia de invertebrados y lombrices.

Presencia de invertebrados	
Sin presencia	No se observa ningún tipo de invertebrado. (0)
Baja presencia	Se ve muy poca diversidad o número de invertebrados. (≤ 4)
Presencia moderada	Se ve fácilmente mayor cantidad o diversidad de invertebrados. (5-8)
Alta presencia	Se ve gran cantidad o diversidad de los invertebrados. (≥ 8)
Presencia de lombrices	
Sin presencia	No se observan lombrices ni túneles. (0)
Baja presencia	Se ven muy pocas lombrices o túneles. (≤ 4)
Presencia moderada	Se ven fácilmente lombrices o túneles. (5-7)
Alta presencia	Se ve gran cantidad de lombrices o túneles. (≥ 8)

Fuente: Tomado y modificado de (Pérez, M.A. 2010).

Producción de CO₂ biológico

Esta variable se midió por un análisis de laboratorio. Analizada a partir de la muestra compuesta. Donde contabilizó el CO₂ producido en 100g de suelo, bajo condiciones de humedad y temperatura controladas en (mgCO₂/g)/48h, según los procedimientos del (IGAC, 2006).

4.4. Análisis de Laboratorio

La muestra compuesta tomada para las propiedades químicas se llevó al laboratorio de suelos del IGAC para un análisis Q-01 cuya caracterización, incluye: capacidad de intercambio catiónico, calcio, magnesio, potasio, sodio, fósforo, aluminio de cambio, saturación de bases, carbono orgánico, textura y pH. Como indicador biológico también se realizó un análisis de la producción de CO₂ biológico tomado a partir de la muestra compuesta.

4.5. Evaluación de la Calidad del Suelo (Análisis de datos).

Una vez obtenidos los datos de la caracterización del agroecosistema y de las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo; se procedió a elegir un grupo de indicadores de calidad del suelo con los que serán analizados los resultados obtenidos en los objetivos 1 y 2. El análisis será cualitativo, utilizando estándares de las propiedades del suelo como referencia a la calidad del suelo. La razón es que las muestras químicas no poseen réplicas dentro de los lotes, por lo que no se les puede aplicar estadística.

Esta evaluación se realizó comparando lotes cultivados orgánicamente que presentaban diferentes edades de manejo; para determinar el efecto de las prácticas orgánicas sobre la calidad del suelo en la Finca La Estancia (Pérez, M.A. 2010).

Para cada indicador se listó una serie de valores o clases descriptivas (en el caso de las variables cualitativas) que representan posibles escenarios en el agroecosistema. A cada valor o clase descriptiva se le asignó un rango de 1-10; siendo 1 el valor menos deseable y 10 el valor que representa la mayor calidad de los suelos. De esta forma los indicadores interpretan directamente la tendencia a la calidad (a mayor valor de rango representa mayor calidad del suelo) (Pérez, M.A. 2010).

Sin embargo esto no significa que los rangos se asignen en el orden creciente de los valores o clases descriptivas, ya que hay valoraciones lineales y no lineales, esto depende como dice Rossiter et al, 1995 en (Pérez, M.A. 2010) del “requerimiento óptimo para cada cultivo o agroecosistema específico”. Como ejemplo tenemos: Diversidad genética para la Valoración lineal de los rangos; donde la mayor diversidad genética representa mayor calidad de suelos. Ya en la valoración no lineal de los rangos, tenemos el pH; donde a mayor valor del pH no representa mayor calidad, debido a que el valor ideal para la producción es un valor intermedio apreciado como Neutro cercano a 7 y es a este valor que se otorga el rango 10 (véase tabla 7).

Tabla 7. Valores de pH del suelo y su apreciación.

pH Agua 1:1	Valores	Apreciación	Rango de calidad
	≤ 4,5	Extremadamente ácido	1-2
	4,6 - 5,5	Muy ácido	3-5
	5,6 - 6,0	Ácido	6-9
	6,1 - 7,3	Neutro (ideal)	10
	7,4 - 7,8	Alcalino	6-9
	7,9 - 8,4	Muy alcalino	3-5
	≥ 8,5	Extremadamente alcalino	1-2

Fuente: Tomado y modificado de Ortega, D. 1995.

Una vez obtenidos los resultados de laboratorio y en campo (cuando corresponde) se le asignó un rango a todas las variables que se evaluaron, siguiendo con el ejemplo anterior si el pH de una unidad de muestreo es igual a 5.8 le corresponde el puntaje de 8 y así con todas las variables en cada parcela de muestreo.

Los resultados se analizaron por medio de gráficas de radar para cada propiedad, es decir una gráfica para las variables químicas, una para las propiedades físicas-biológicas y una para las variables del agroecosistema usadas como indicador. Siendo siempre el valor ideal para la calidad de los suelos el número diez (10).

Al final se calculó la calidad de los suelos por parcela; sumando todos los puntajes de las variables y dividiéndolos por el número de variables evaluadas:

$$\text{Calidad del suelo por lote} = \frac{\text{Variable 1} + \text{variable 2} + \dots + \text{variable n}}{n \text{ variables}}$$

Ya para evaluar la calidad del suelo en todo el subsistema agrícola; simplemente se sumaron los resultados obtenidos para calidad del suelo en todas las parcela y se dividieron por el número de parcelas. Es claro que los indicadores elegidos no son los únicos para evaluar la calidad de los suelos, pero tomando en cuenta las limitaciones de tiempo y presupuesto permiten una aproximación bastante concisa para evidenciar el estado actual del subsistema suelo.

A continuación serán listados los indicadores escogidos. Los cuales provienen de los cuatro grandes análisis realizados en los objetivos 1 y 2 que son: 1. Agroecosistema 2. Propiedades Químicas 3. Propiedades físicas y 4. Propiedades biológicas; sin embargo todos los indicadores sin importar su procedencia fueron utilizados para evaluar la calidad del suelo, (se hacen algunas especificaciones a aquellos indicadores que requirieron algún método adicional a los mencionados anteriormente para poder ser evaluados).

4.5.1. Indicadores de calidad del suelo- Agroecosistema

Tabla 8. Indicadores de calidad, procedentes de la caracterización del Agroecosistema.

Indicador	Metodología	Interpretación
Apariencia del Cultivo	Se observó el total de plantas en 10 camellones (a) dentro de la parcela de muestreo y se contabilizó el porcentaje de plantas que presentan alguna clorosis generalizada y/u otro síntoma severo de deficiencia o desbalance nutricional.	A menor porcentaje del cultivo con síntomas, mejor calidad de suelo.
Control incidencia de plagas y enfermedades	Se evaluó valorando el porcentaje de plantas con incidencia de plagas y/o enfermedades en la totalidad de diez camellones dentro de las parcelas de muestreo.	A menor porcentaje de incidencia de plagas, mejor calidad de suelos
Vegetación natural	Fue evaluado calculando que porcentaje total del sistema productivo representa vegetación natural.	Mayor vegetación natural, es positiva para la calidad del suelo.
Diversidad Vegetal Cultivada	Esta variable se basa en el conteo de especies o variedades cultivadas por unidad de muestreo.	Mayor diversidad genética es positiva para los suelos.
Sistema de Manejo	Se entiende sistema de manejo como las prácticas y especialmente los insumos usados en los cultivos (para fertilización, control de plagas y enfermedades). Fue evaluado calculando el porcentaje de insumos orgánicos o sin son elaborados en la finca.	Para este indicador Prácticas orgánicas son mejores para la calidad de suelos.
Cobertura del suelo	Se midió tomando 5 fotos con áreas de 1x1m demarcadas, dentro de cada parcela de muestreo y digitalmente se calculó el % cubierto, por otro lado tomando en cuenta el ciclo del cultivo se sumó el tiempo que demora después de labrado y sembrado el suelo en estar cubierto por las veces que se realizan estas actividades al año en el lote.	Mayor cobertura implica mejor calidad de suelos.

a) Camellón: es una preparación del suelo, donde se eleva 30cm el suelo que será cultivado y posee 1m de ancho.

Fuente: tomado y modificado de Pérez, M. A. 2010.

4.5.2. Indicadores de calidad del suelo - Propiedades Químicas

Tabla 9. Indicadores de calidad, relacionados a las propiedades químicas.

Indicador	Observaciones para la evaluación	Interpretación
Carbón Orgánico	Debido al área de estudio los valores aplicados son los correspondientes al clima frío.	Porcentajes entre 5.21 y 6.59 son óptimos para producción
Grado de acidez o pH	La acidez del suelo es la manifestación de un exceso de iones H ⁺	Valores intermedios entre 6.1 y 7.3 son ideales.
Capacidad de Intercambio Catiónico – CIC	CIC, son los iones del complejo coloidal o complejo de cambio que son intercambiados y neutralizados por iones presentes en la solución del suelo.	Valores altos de CIC son positivos para la calidad de suelos (>20 cmol Kg ⁻¹).
Bases Totales y Saturación de Bases	Establece la proporción o porcentaje de bases ligadas al complejo de cambio, para conocer su participación en el complejo y mostrar la posible disponibilidad los nutrientes.	Valores altos de estos indicadores (>16 cmol Kg ⁻¹ y 70% respectivamente) son positivos para los suelos.
Fósforo (P)	Se trata del fósforo disponible para las plantas, su presencia en el suelo es indispensable para el crecimiento y producción vegetal.	Valores altos de F disponible son ideales (>40mg Kg ⁻¹).
Potasio (K)	Es absorbido por las plantas en grandes cantidades. Es un elemento de mucha movilidad dentro de las plantas, a nivel de las células y tejidos.	Valores altos de K son positivos para los suelos (>0.4 cmol Kg ⁻¹).
Aluminio de Cambio (Al)	La concentración de aluminio intercambiable representa la cantidad de aluminio que puede entrar en contacto con las raíces de las plantas	Valores bajos de AL son deseables para los suelos (iguales a 0 cmol Kg ⁻¹).

Fuente: tomados y modificados de Ortega, D. 1995.

Para conocer los valores, clases descriptivas y los rangos con los que fueron interpretados cada uno de los indicadores véase Anexo 2 y para conocer el efecto de estas propiedades evaluadas sobre la calidad del suelo véase Anexo 3.

4.5.3. Indicadores de calidad del suelo - Propiedades Físicas

Tabla 10. Indicadores de calidad, relacionados a las propiedades físicas.

Indicador	Observaciones para la evaluación	Indicador
Densidad Aparente	Se toman como referencia valores de densidad aparente propios de Andisoles. Ya que autores como Henríquez, C. y Calbaceta, A. 1999, afirman que uno de los requisitos para clasificar los Andisoles como tal, es que presenten densidades aparentes menores a 0.8 g/cm ³ . Esto se debe a que son derivados de cenizas volcánicas y valores superiores a 1.2 g/cm ³ posiblemente reflejan un mal manejo.	Densidades entre 0.7 y 0.8 g/cm ³ son ideales para cultivos.
Porosidad	La porosidad determina la aireación, almacenamiento y flujo de agua en el suelo	Porosidades altas (>60%) son positivas para la calidad de suelos.
Infiltración	la velocidad a la cual el agua penetra en el suelo	Infiltraciones intermedias son positivas para la calidad de suelo (≈15,5cm /hora).
Estructura del Suelo	Consiste en una variable cualitativa (USDA, 1999). Las clases descriptivas de este indicador poseen los tres criterios diagnósticos medidos en campo; 1. Clase y Tamaño de la Estructura. 2. Grado de la estructura y 3. Consistencia de los agregados.	Bloques grandes, fuertes y consistentes indican una alta calidad de suelo.
Textura	se entiende como la proporción que este posee de las diferentes partículas (arcilla, limo, arena).	Porcentajes más cercanos a francos son mejores para la calidad de suelos.
Control de erosión	Se evaluó cualitativamente, observando en las unidades de muestreo presencia de erosión en: cárcavas, canales, laminar y el porcentaje del área afectada, así como el % del horizonte A perdido con relación al Control	Porcentajes bajos de erosión son requeridos para la calidad de suelos.

Fuente: Tomado y modificado de USDA, 1999 y Pérez, M. A. 2010.

4.5.4. Indicadores de calidad del suelo - Propiedades Biológicas

Tabla 11. Indicadores de calidad de suelos relacionados a las propiedades biológicas.

Indicador	Observaciones para la evaluación	Indicador
Actividad Biológica del Suelo (invertebrados y lombrices)	Este indicador se evaluó contando en un agujero de 27.000cm ³ el número de lombrices, túneles e invertebrados.	Altas abundancias de lombrices e invertebrados son benéficas para la calidad de suelos. ≥ 8 individuos de invertebrados y de lombrices.
Producción de CO₂ biológico	Para poder interpretar los resultados fue necesario pasar de (mgCO ₂ /g de suelo/48h) a (kg C en CO ₂ /tons de suelo por ha/24horas). Esto debido a que los únicos valores de referencia encontrados para interpretar los datos poseían dichas unidades en la guía de USDA, (1999) (Cambio de unidades: Anexo 2, Tabla XXI).	Altos índices de respiración implican elevada actividad biológica del suelo. Entre 35.84 - 71.68 Kg de C - CO ₂ /ha/día

Fuente: Tomado y modificado de USDA, 1999 y Pérez, M. A. 2010

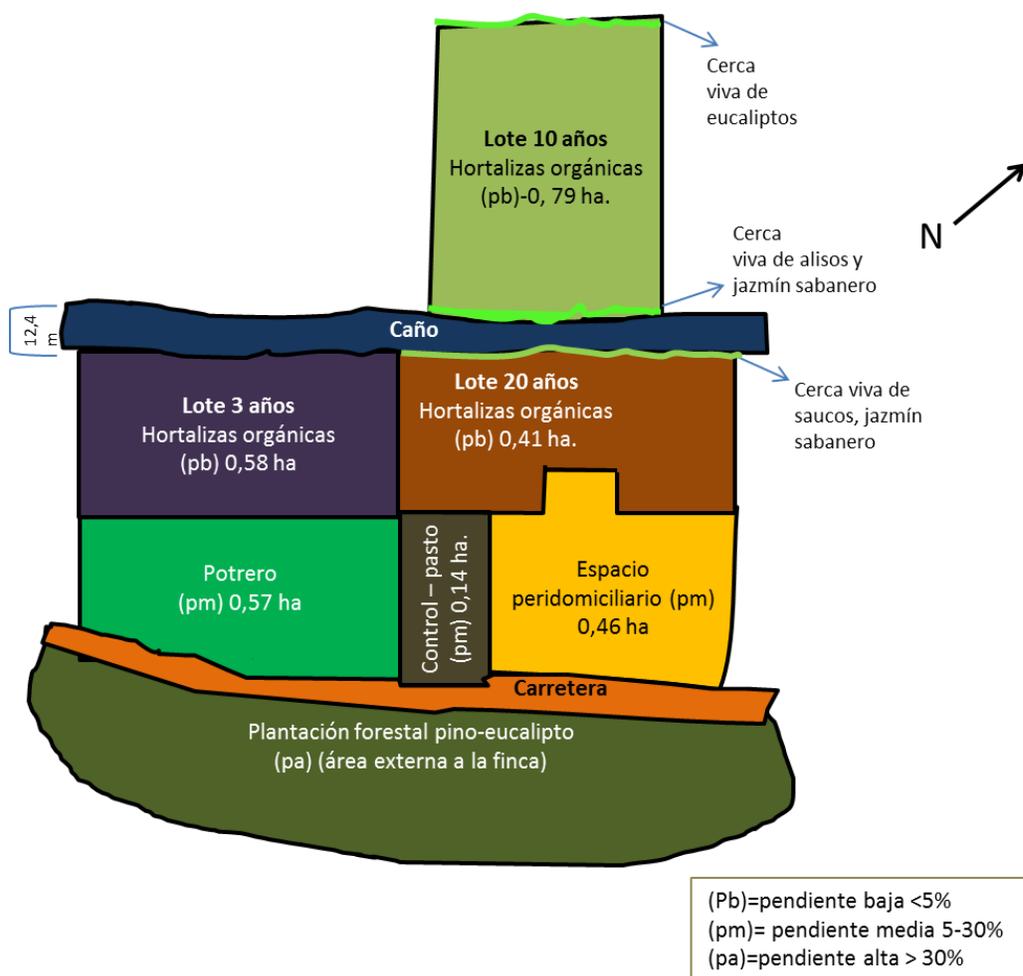
5. Resultados

5.1. Caracterización del Agroecosistema

5.1.1. Descripción de las Unidades Fisionómicas (estructura y función)

El sistema productivo de la finca La Estancia, cuenta con seis lotes en total de los cuales: tres son manejados con cultivos orgánicos, un lote en pastizal sin uso, un potrero y el espacio peridomiciliario estas últimas unidades fisionómicas poseen el componente pecuario (Fig. 6).

Figura 6. Mapa del Sistema Productivo Finca La Estancia, municipio de Madrid, Cundinamarca.



Fuente. Elaboración propia.

La Estancia se encuentra casi conformando la frontera entre el paisaje rural y el paisaje urbano de Madrid. Como resultado no se observan coberturas silvestres o semi silvestres. La unidad mas aproximada a un sistema natural posiblemente es la plantación forestal de pino y eucalipto que actualmente no está siendo aprovechada. Esta unidad ocupa varias hectáreas sobre una loma y se encuentra colindado con la finca al costado suroriental, sin embargo no hace parte de la misma. El resto del sistema productivo se encuentra bordeado de lotes en descanso o potreros. Tomando en cuenta que en áreas próximas a la finca se llevan a cabo producciones agrícolas convencionales.

El sistema productivo se caracteriza por la producción de gran variedad de hortalizas, bajo manejo orgánico (Tabla 13), pero con constante laboreo mecanizado del suelo. Una ventaja que presenta el sistema es que los cultivos se encuentran en terrenos casi planos, favoreciendo la retención del agua y del suelo. El componente pecuario del sistema está conformado por ganado bovino, conejos para autoconsumo y animales de carga como caballos y burros, todos estos alimentados principalmente con restos de cosechas. El espacio peridominciliario representa un lugar con diversidad de especies tanto animales como vegetales, las cuales se detallan más adelante (Tabla 12).

El Agroecosistema presenta una humedad media-baja durante invierno en los suelos y durante el verano es necesaria irrigación para evitar marchitez de las plantas.

El arreglo agronómico de los lotes de hortalizas es en camellones de 1m de ancho x el largo del lote. Con numerosas especies asociadas como: Repollo blanco y morado (*Brassica oleracea var. Capitata*), brócoli (*Brassica oleracea var. itálica*), apio (*Apium graveolens var. dulce*), zanahoria (*Daucus carota*), lechuga (*Lactuca sativa*) (romana, crespa verde, crespa morada y escarola) perejil (*Petroselinum crispum*), cilantro (*Coriandrum sativum*), coliflor (*Brassica oleracea var. botrytis*), puerro (*Allium porrum*), cebollín (*Allium schoenoprasum*), acelga (*Beta vulgaris var. Cicla*) entre otros, sembrados de a 16 individuos por m² (4x4) y Calabacín (*Cucurbita pepo*) de a 4 indiv. por m² (2x2). Estos cultivos son transitorios o de ciclo corto: de tres meses y de cuatro meses aproximadamente.

Tabla 12. Descripción de las unidades fisionómicas Finca La Estancia, 2012.

Unidad Fisionómica	Descripción de la unidad fisionómica
Control	Lote de 1.440 m ² , con pendiente media entre 5-30%. En pastos (sin uso ni presencia de ganado) hace mas de 30 años, el cual representa el estado como estarían el resto de los lotes si no estuvieran siendo cultivados orgánicamente
Lote 20 años	<p>Características biofísicas: lote de 0.41 ha, con una pendiente baja < 5%.</p> <p>Descripción agronómica-tecnológica: Arreglos en camellones de 1m (ancho) x 45 o 36m (largo).</p> <p>Contiene cultivos de: Repollo blanco, brócoli, apio, lechuga (romana, crespa verde, crespa morada y escarola) perejil, coliflor, puerro, acelga, cebollín calabacín y ruibarbo. Plantas aromáticas de: caléndula, tomillo, manzanilla, hierbabuena. Trayectoria del lote es: hace 20 (aprox.) años con manejo orgánico, anteriormente pasto para ganado.</p> <p>Características agroecológicas: Lote bordeado por sps. De: saucos, Schinnus, arrayan de Manizales, 1 Araucaria, jazmines sabaneros y Hollys.</p>
Lote 10 años	<p>Características biofísicas: lote de 0.79 ha, con una pendiente baja < 5%.</p> <p>Descripción agronómica-tecnológica: Arreglos en camellones de 1m (ancho) x102m (largo)</p> <p>Contiene cultivos de: Repollo blanco y morado, brócoli, apio, zanahoria, lechuga (romana, crespa verde, crespa morada y escarola) perejil, cilantro, coliflor, puerro, cebollín, calabacín.</p> <p>Características agroecológicas: Lote bordeado de un lado por una cerca viva de eucalipto, que posiblemente ejerce un efecto negativo en los cultivos al secar el suelo (fuga de agua) y por acidificar los suelos. Por el otro lado posee una cerca viva de alisos y jazmín sabanero.</p>
Lote 3 años	<p>Características biofísicas: lote de 0.58 ha, con una pendiente baja < 5%,</p> <p>Descripción agronómica-tecnológica: Arreglos en camellones de 1m (ancho) x60m de largo aprox. Posee camellones perpendiculares.</p> <p>Cultivos de: Repollo blanco y morado, brócoli, apio, perejil, coliflor, puerro, cebollín, nirá, calabacín, mora y acedera. Plantas aromáticas de: caléndula, hierbabuena, orégano, ruda.</p> <p>Características agroecológicas: Se observan gran abundancia de entomofauna voladora que posiblemente favorece la polinización (Gliessman, R. 2002).</p>
Potrero	<p>Características biofísicas: lote de 0.57 ha, con una pendiente media entre 5-30%.</p> <p>Descripción agronómica-tecnológica: cobertura de pastizal homogéneo, el pasto no es sembrado sino que crece espontáneamente. Presenta 7 vacas alimentadas principalmente por restos de cosechas, los novillos se mantienen separados.</p>
Espacio peridomiciliario	<p>Ocupa 0.46 ha. Posee numerosas sps. Cultivadas para autoconsumo: Brevo, limón agrio, tomate de árbol, curuba, ciruelos, ahuyama, manzanilla y otras ornamentales como: palma de cera, ficus, mano de oso, magnolio, jazmín sabanero, eucalipto, sangregao, cedro y arrayan.</p> <p>Animales posee: 2 caballos, 4 conejos, 2 burros, 1 perro, 1 gato, 5 novillos. Posee una infraestructura para el procesamiento de las hortalizas compuesta por zona de empaque, prelavado y bodega.</p> <p>Y una cama en madera donde se realiza el compost y donde van a dar parte de los restos de cosechas que no son usados para alimentar los animales.</p>

Fuente. Elaboración propia.

Dentro de los lotes también hay cultivos de aromáticas como: caléndula (*Calendula officinalis*), tomillo (*Thymus vulgaris*), manzanilla (*Matricaria chamomilla*), hierbabuena (*Mentha sativa*), ruda (*Ruta graveolens*), orégano (*Origanum vulgare*), entre otros; que junto con el ruibarbo (*Rheum rhabarbarum*) y la acedera (*Rumex acetosa*) se mantienen como cultivos perennes que ocupan la totalidad del camellón.

Los lotes de hortalizas antes de ser manejados con cultivos orgánicos (hace 20, 10 y 3 años respectivamente al nombre de los lotes) poseían una cobertura de pastizal. Por poseer tiempos diferenciales con manejo orgánico, se presume pueden existir variaciones en las propiedades del suelo (Osorio (s.f.)).

5.1.2. Función del Agroecosistema

La finca La Estancia, está compuesta por numerosos elementos, tanto vegetales como animales que interactúan de diversas formas. La principal interacción productores-consumidores (a) se basa en que el componente pecuario es alimentado en su mayoría de hortalizas (restos de cosechas). Por otro lado el subsistema agrícola y pecuario aportan materia orgánica al suelo, que pasa a ser la fuente de alimento de microorganismos, quienes realizan el proceso de mineralización (Vandermeer, J. 2011; Magdoff, F. 1999) dejando disponible nutrientes para las plantas en la solución del suelo. Esta solución también recibe minerales por medio de intercambio catiónico del componente sólido del suelo (Ortega, D. 1995).

Agroecosistemas complejos como este, donde existe alta diversidad son muy deseables en la agricultura sostenible, ya que de esta diversidad surgen numerosas interacciones. Haciendo que los componentes biológicos sean capaces de igualar los ciclos de materia y energía que se dan en los ecosistemas naturales (Altieri, M. s.f.; Vandermeer, J. 2011) Promoviendo de esta forma la fertilidad del suelo, la productividad y la protección de los cultivos. Lo que resulta en agroecosistemas con baja dependencia de agroquímicos, subsidios de energía y sostenibles en el tiempo (Corrales, E. y Forero, J. 2007; Vandermeer, J. 2011). Sin embargo a pesar de que existen numerosas interacciones, aun son necesarias entradas al sistema que subsidien algunas funciones, como la fertilización, el arado mecanizado ya que se trata de un sistema orgánico por sustitución de insumos y no uno con enfoque

(a) Con productores; nos referimos a los organismos capaces de producir su propio alimento, a partir de materia inorgánica (autótrofos), como las plantas, algas y bacterias. Los consumidores son los organismos que se alimentan de materia orgánica proveniente de seres vivos, (heterótrofos) como los herbívoros, carnívoros y omnívoros (Flórez, J. 2009, Gliessman, R 2002).

agroecosistémico. En menor proporción son necesarios bioinsumos para el control de plagas por bioinsumos. En la Fig. 7, se ilustran numerosos elementos e interacciones presentes en el sistema productivo de la finca LA ESTANCIA.

Diagrama de Flujo Agroecosistémico

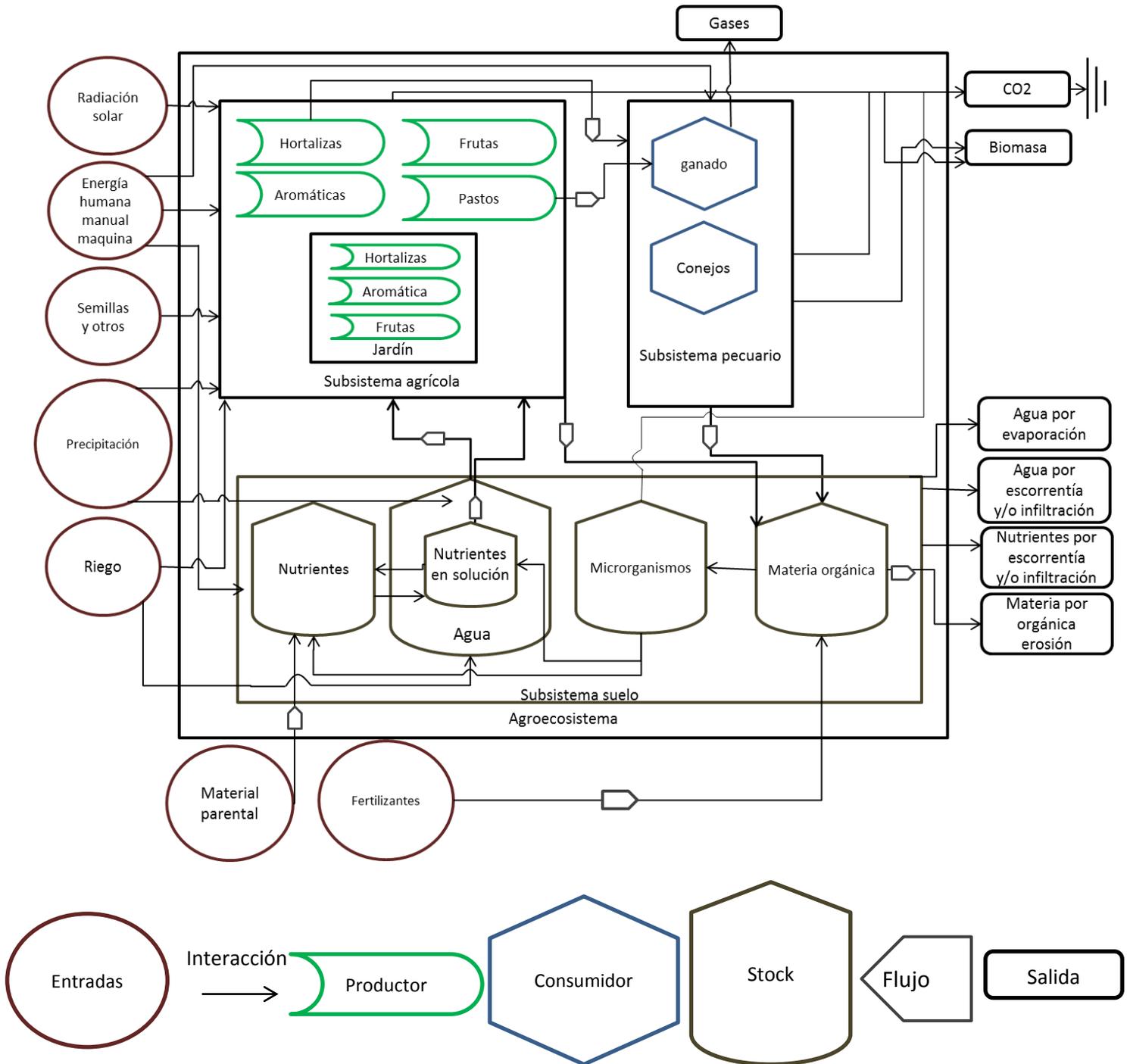


Figura 7. Diagrama de Flujo, Finca La Estancia, 2012. Fuente: Elaboración Propia.

Los lotes de hortalizas presentan características agroecológicas compartidas, pues poseen algunos camellones en descanso donde surge vegetación espontánea, que sirven como cobertura del suelo y en los casos de especies como la manzanilla, ortiga y hierbabuena son explotadas comercialmente o para consumo. Según el dueño de la finca, la ortiga por su parte funciona como control físico de plagas. Al interior del lote existe alelopatía (a) entre los cultivos y aporte de materia orgánica de las arvenses espontaneas. Adicionalmente existe un aporte a otras unidades fisionómicas de semillas por diversos mecanismos de dispersión, materia orgánica y restos de cultivos para el componente pecuario como alimento. Las principales fugas son de materia orgánica, suelo e invertebrados como resultado del arado (Gliessman, R. 2002, León, T. s.f. (a))

Por otro lado, tanto el (Control) como el potrero poseen una cobertura homogénea en pastizal aportando a la finca una buena retención del suelo (Malagon, D. et al 1995). El Control por su parte no presenta ningún tipo de manejo ya que antiguamente conformaba la huerta doméstica, la cual no fue más necesaria una vez implementados los grandes cultivos de hortalizas. El Potrero, mantiene siete vacas, aportando materia orgánica al suelo, proveniente del pasto y de las deyecciones bovinas, lo que a su vez genera fugas de gases, producto de la digestión de las vacas (Gliessman, R. 2002). Considerando el espacio tan reducido en que se encuentra en ganado bóvido, podemos presumir la posible compactación del suelo, por el pisoteo de las vacas (Malagon, D. et al. 1995). Adicionalmente la alta competitividad del pasto puede llevar a la colonización de otras áreas y ambos lotes posiblemente presentan fugas de agua por escorrentía debido a su pendiente (Pérez, M.A. 2010).

Se debe tomar en cuenta que el suelo puede estar siendo influenciado por químicos adicionados para la producción en áreas vecinas. Los cuales por medio de infiltración o escorrentía llegan al caño de donde es tomada el agua para riego. Existen barreras vivan en el sistema productivo que visan reducir el efecto de los cultivos convencionales aledaños al lote 10 años.

(a) El término Alelopatía se refiere a las interacciones directas o indirectas (tanto benéficas como perjudiciales) entre todas las clases de plantas incluyendo microorganismos, a través de los componentes químicos que estas liberan al medio ambiente. Estas interacciones entre plantas juegan un papel crucial tanto en los ecosistemas naturales como en los artificiales (Gliessman, R 2002).

5.1.3. Agrobiodiversidad

En general las unidades fisionómicas cultivadas y del espacio peridomiciliario se caracterizan por presentar gran diversidad de componentes cultivados. En total el sistema productivo presenta 33 especies vegetales y cuatro animales. La Tabla 13 muestra como las especies presentes en el sistema productivo, están representadas en las diferentes unidades fisionómicas. Siendo el lote 20 años el que posee mayor riqueza con 19 sp. Le sigue el lote 10 años con 18 sp, luego el lote 3 años con 16 sp. Mientras el espacio peridomiciliario posee 7 sp., pero en su mayoría representadas por sp. frutales.

Tabla 13. Grupos de especies del sistema productivo de la Finca La Estancia 2012.

Grupos vegetales	Especies o variedades cultivadas				
	Total de especies o var. en el sistema productivo	Lote 20 años	Lote 10 años	Lotes 3 años	Espacio peridomiciliario
Hortalizas	20	14	15	11	1
Aromáticas	7	5	3	4	1
Frutas	6	0	0	1	5
Especies Animales					
Conejos (<i>Oryctolagus cuniculus</i> L.)		Caballos (<i>Equus caballus</i> L.)			
Vacas (<i>Bos Taurus</i> L.)		Burros (<i>Equus asinus</i>)			

Para más detalles sobre las sp. De cada lote véase (Tabla 12).

5.1.4. Prácticas y manejos del sistema que influyen sobre las características del suelo de la finca la estancia

Es importante resaltar que tanto en esta sección como en la de la estructura del agroecosistema, fue de vital importancia la información ofrecida por los trabajadores de la finca.

- **Preparación del suelo**

El suelo se prepara por camellones con ayuda de un motocultor, el arado se repite en cada ciclo de cultivo, es decir cada 4 o 5 meses aproximadamente, dependiendo del cultivo que se encuentre anteriormente en el camellón. Los lotes no se siembran en su totalidad al mismo tiempo; sino que se tienen camellones con diferentes etapas del cultivo. Un ejemplo de lo anterior, es un camellón sembrado con plántulas de lechugas y otro camellón en etapa de recolección de puerro. Siguiendo con el ejemplo, esto implica que el camellón del puerro fue arado hace cuatro meses mientras el de las lechugas fue arado hace unas pocas semanas. Lo que quizá

podría incidir en las propiedades del suelo dentro de un mismo lote. Ya que al arar se mezclan los restos de cosechas con el suelo, aportando de esta manera a los procesos de producción de materia orgánica. Adicionalmente se encuentran los aspectos negativos del arado al dejar al suelo desnudo y al dañar su estructura. Esta práctica acelera la erosión del suelo y por ende la pérdida de fertilidad del mismo, destruyendo también el hábitat de la micro y mesofauna al romper la estructura del suelo y dejarlo expuesto al sol (León, T. s. f. (a); Gliessman, R. 2002).

La fertilización del suelo se lleva a cabo junto con la preparación, donde se le adicionan 1 o 2 bultos (dependiendo del largo del camellón) de 50kg de gallinaza certificada(a) (ABIMGRA). También se utiliza, pero en pequeña proporción el compost producido con los restos de cosechas y se ha implementado de forma satisfactoria el uso de microorganismos eficientes (b) (EM), pero no de forma constante.

Uno de los objetivos de los productores es buscar una rotación y asociación eficiente de los cultivos en los camellones. La rotación de cultivos busca alternar especies cultivadas en un mismo terreno, que posean requerimientos nutricionales o sistemas radiculares diferentes (como por ejemplo rotar crucíferas como las brócoli con zanahoria que es una Apiacea, y luego una aromática como la manzanilla que pertenece a las asteraceas), para aprovechar con mayor eficiencia los nutrientes aportados por los fertilizantes (en este caso orgánicos). De esta forma se incrementa los rendimientos sin sobre explotar el suelo. Por otro lado la rotación de cultivos, contribuye al control de plagas y enfermedades al romper su ciclo de vida y genera mejoras en la aireación, drenaje y estabilidad de los agregados, reduciendo la erosión. Según (Gliessman, R. 2002; Vandermeer, J. 2011). En la mayoría de las rotaciones se deben incluir leguminosas para fijar nitrógeno al suelo.

Sin embargo la rotación en el sistema productivo estudiado no es llevada a cabo con rigurosidad y en algunos casos se repiten especies de una misma familia, dependiendo de la demanda de productos. Tampoco se observaron rotación con leguminosas. Sin embargo al parecer se dejan descansar los camellones después de dos años de producción continua, donde aparecen arvenses espontáneas.

(a) Con Certificada nos referimos a que cumple los estándares orgánicos, constatados por alguna empresa certificadora. (b) Microorganismos eficientes (EM) es una tecnología en la cual se aplican componentes microbiológicos para acelerar o mejorar los ciclos de la materia y nutrientes.

El arado mecanizado es un tema que genera polémicas sobre los productores orgánicos. Autores como (Clavijo, N. et al. 2006), especifican que en la etapa mas avanzada de un sistema orgánico con enfoque agroecosistémico; el laboreo del suelo es nulo o mínimo (manual). Sin embargo otros autores como León, T. s.f. (a) y Altieri, M. 1999 no hacen esa exclusión con respecto al arado, para considerar un sistema como orgánico, sin embargo vale aclarar que sí promueven la buena salud del suelo. En este estudio a pesar del laboreo mecanizado se considera el sistema productivo como orgánico por sustitución de insumos (Clavijo, N. et al. 2006). Ya que cumple con las premisas para ser clasificado como tal.

- **Control de Plagas y Enfermedades**

El control de plagas se realiza de forma preventiva asociando cultivos (ej. Puerro-zanahoria, ruda, ortiga y acedera) que contribuyen a controlar plagas (Parr, J et al. 1992). Cuando se manifiesta una explosión poblacional de plaga se usan bioinsumos. El mas usado es ALISIN, con un ingrediente activo de Ajo-Ají. Se reporta una mayor necesidad de este bioinsumo durante la época de verano, que es cuando suelen atacar los áfidos las hojas de los cultivos.

Los arvenses son controlados al momento de arar, donde son triturados y adicionados al suelo. Durante otras etapas del cultivo no se realiza control de arvenses y en casos muy necesarios se hace una limpieza local y manual.

- **Riego**

El riego es por sistema de aspersión, bombeado desde el caño ubicado al interior del sistema productivo. En esta región el riego es bastante importante, ya que presenta un clima seco y suele ser un factor limitante en la zona. El agua del caño proviene de la laguna la Herrera que es a su vez alimentada por el río Bojacá. En algunas ocasiones se han presentado problemas con el riego cuando las aguas del río Bogotá están muy altas y suben por el río Bojacá, presentando altos contenidos de metales pesados y coliformes (Alcandía municipal de Madrid, Cundimarca. 2008). Sin embargo estos eventos han sido muy raros y suceden en épocas de lluvia muy fuertes por lo que es posible prescindir del riego si se detectan aguas contaminadas. Sin embargo por observación se puede deducir que debido a la cercanía del caño a cultivos tradicionales en otras fincas, las aguas del mismo poseen contenidos de agroquímicos.

Una vez descritos los elementos que componen el agroecosistema, sus funciones e interacciones, así como las prácticas y manejos que generan algún efecto sobre el suelo; pasamos a mostrar los resultados obtenidos para cada una de las propiedades del suelo, teniendo un enfoque mas integral de todas las variables que podrían estar influenciándolas.

5.1.5. Evaluación de los indicadores del agroecosistema, en función de la calidad del suelo.

En esta sección se realiza la evaluación de los indicadores del agroecosistema escogidos en la metodología (Tabla 8). De forma cualitativa a cada una de los indicadores; se le asignó un valor de 1-10, según los valores de referencia para calidad de suelos definidos en el Anexo 2.

En la Fig. 8 se ilustran los rangos de calidad de suelo, para las propiedades del agroecosistema, escogidas como indicadores.

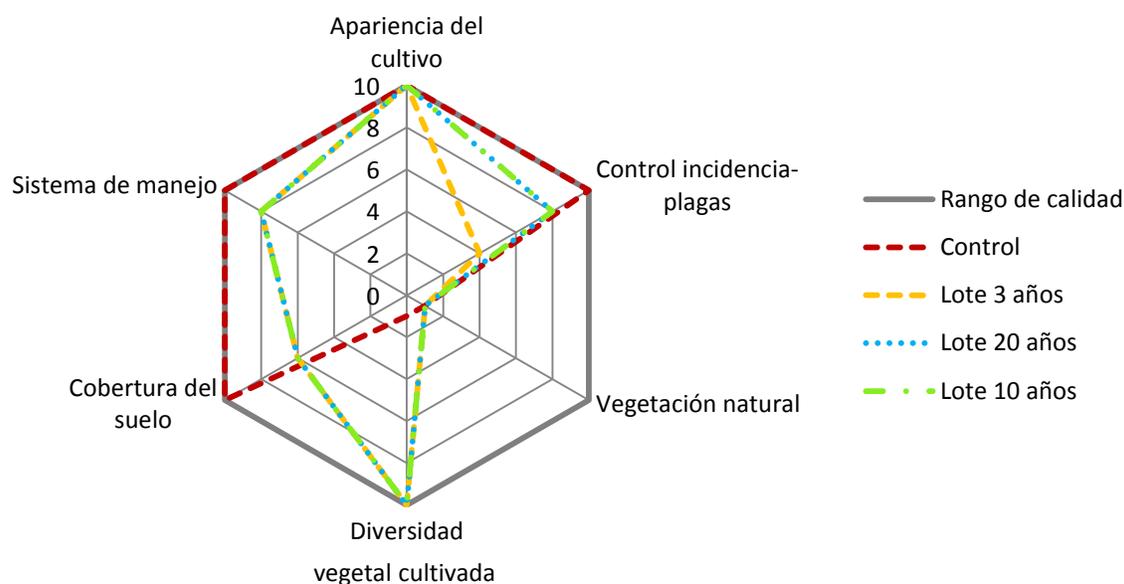


Figura 8. Evaluación de indicadores del agroecosistema, en función de la calidad del suelo. De los cuatro lotes estudiados en la Finca La Estancia 2012.

- **Vegetación Natural:** La presencia de áreas naturales en los agroecosistemas, traen numerosos beneficios a los cultivos entre los cuales están: El refugio y movilidad de insectos, aves, y otros organismos benéficos que pueden actuar como

polinizadores o control de plagas; le aporta estabilidad a las dinámicas del sistema bajo condiciones ambientales adversas, contribuye al control de la erosión, al ciclo de nutrientes entre otras (Gliessman, R. 2002; Altieri, M. 1999). El sistema productivo no presenta vegetación natural, por lo que recibe un puntaje igual a cero en todos los lotes. En este caso no se cuenta con los beneficios que ofrece la vegetación natural; pero de alguna forma son sustituidos por la alta diversidad de cultivos presentes, que promueven una mejor regulación del sistema (Gliessman, R. 2002).

- **Apariencia del Cultivo:** La falta de nutrientes en los suelos o si estos se encuentran desbalanceados; puede llevar a que el follaje o la apariencia general del cultivo manifiesten irregularidades. Otros factores que podrían influir en la apariencia de las plantas son: condiciones climáticas, falta de drenaje, o toxicidad en los suelos por sustancias aplicadas (Pérez, M.A. 2010). Los cultivos no presentan ningún tipo de clorosis y/o otro síntoma de deficiencia nutricional (a), razón por la que todos los lotes reciben un diez para el indicador “apariencia del cultivo”; posiblemente por la alta oferta de nutrientes que posee el suelo (Vandermeer, J. 2011); evidenciado en el análisis químico.

- **Control de incidencia de plagas:** Según Altieri, M. y Nicholls, C. (2008) un suelo sano favorece el control de plagas y enfermedades. El uso de materia orgánica como fertilizante influye sobre la incidencia de plagas, en primer lugar porque promueve una nutrición balanceada y al asentamiento de fauna edáfica que puede actuar como control natural de las plagas. Adicionalmente los cultivos asociados presentes en este sistema, donde se asocian y rotan plantas como ruda, acedera, puerro-zanahoria, etc. favorecen a que no exista una explosión poblacional de las plagas, reforzado por el uso de plantas que funcionan como barrera físicas como la ortiga (Gliessman, R. 2002; Karlen, D. et al. 1992; Parr, J et al. 1992). Los Lotes 10 años y 20 años presentaron una incidencia de plagas del 6%, mientras el Lote 3 años evidenció un 28% pues los cultivos de repollo, coliflor y brócoli, presentaron en sus hojas evidencia de estar siendo atacados por plagas. Razón por la que recibe un cuatro en la evaluación, mientras los otros cultivos de hortalizas obtuvieron un ocho y el control un diez por no evidenciar incidencia de plaga en su cobertura. Se debe tomar en cuenta que la incidencia de plaga del Lote 3 años, afecta plantas de la misma familia (Crucíferas), lo que puede indicar un mal sistema de asociación de

(a) Los principales síntomas de deficiencia nutricional o falta de vigor, son: Plantas amarillentas por deficiencia de nitrógeno, Crecimiento atrofiado de hojas, raíces y frutos así como hojas oscuras por deficiencia de fósforo. Y bordes o puntas de hojas amarillentas y secas por deficiencia de Potasio (Vandermeer, J. 2011)

cultivos (muchos individuos de una misma familia) o un mal sistema de rotación, el cual también contribuye a controlar los ciclos de las plagas (Vandermeer, J. 2011).

- **Diversidad Vegetal Cultivada:** Gracias a la diversidad, surgen numerosas interacciones y funciones. Haciendo que los componentes biológicos sean capaces de igualar algunos ciclos de materia y energía que se dan en los ecosistemas naturales (Gliessman, R. 2002). Los cultivos de hortalizas presentaron gran diversidad, por lo que obtienen un diez, mientras el Control presentó muy baja diversidad, por ser un pastizal, obteniendo un uno en la evaluación. Posiblemente, gracias a la diversidad dentro de los lotes de hortalizas; no sea necesaria la aplicación de gran cantidad de insumos, haciendo que la producción sea rentable (Gliessman, R. 2002; Vandermeer, J.2011; Karlen, D. et al. 1992; Parr, J et al. 1992).

- **Sistema de manejo:** Se entiende sistema de manejo como las prácticas y especialmente los insumos usados en los cultivos (para fertilización, control de plagas y enfermedades). En este caso los lotes de hortalizas; son 100% orgánicos lo que asegura una compensación de los nutrientes (extraídos por los cultivos) y un control de plagas por medio de insumos orgánicos, rotaciones y asociaciones; lo que es mucho más saludable para el suelo que el uso de insumos de síntesis química, que no nutren el suelo (Gliessman, R. 2002; Pérez, M.A. 2010). Por esta razón los lotes recibieron un valor alto en este indicador, sin embargo los de hortalizas recibieron un ocho, ya a que los insumos usados para fertilización son en su mayoría externos, lo que genera gastos y cuando la producción no está facturando lo suficiente, no pueden ser aplicados los insumos al suelo. El Control por su parte se evaluó con un diez, pues no recibe insumos sintéticos ni externos. En la finca existe producción de compostaje pero cubre un porcentaje mínimo de la fertilización del sistema.

- **Cobertura del suelo:** Según Pérez, M.A. (2010 p.41). “La cantidad y permanencia de las coberturas vivas o muertas (residuos orgánicos), son determinantes en el cuidado de la salud del suelo al contribuir a conservar la humedad, disminuir el impacto de la lluvia, regular la temperatura, ser refugio de organismos, reciclar nutrientes, proteger del viento y la escorrentía superficial”. Por lo que el Control obtuvo un diez en la evaluación de este indicador, por presentar 100% de cobertura durante todo el año. Mientras los lotes de hortalizas recibieron un seis;

ya que los cultivos no cubren totalmente el suelo (50%) y por tratarse de cultivos de ciclo corto, con arado antes de cada ciclo los dejan cerca de 4 o 5 meses al año desnudos.

5.2. Propiedades químicas del suelo

De las muestras compuestas de suelo, tomadas en cada una de las parcelas estándar, correspondientes a los tres lotes manejados orgánicamente y del posterior análisis de laboratorio se obtuvieron los resultados de las propiedades químicas en La Tabla 14, se definen los estándares de calidad establecidos en el Anexo 2.

En general se obtuvo que el componente agrícola presenta condiciones químicas del suelo muy favorables para la producción, acercándose a los estándares de calidad o en algunos casos; sobrepasándolos (Fig.9). Sin embargo, es notable que de diez propiedades químicas medidas, el Control es el lote que presenta los menores valores en seis de estas variables, y en el caso del fósforo es el que presenta mayor concentración por mucha diferencia. Esto puede deberse a que las prácticas y manejos de los lotes cultivados, generan una diferenciación en las propiedades químicas. Asociado a la adición constante de abono orgánico y el uso del riego proveniente del caño. Prácticas que elevan las concentraciones de nutrientes (excepto el Fósforo) y en el caso del abono neutraliza el suelo (Vandermmmer, J. 2011; Magdoff, F.1999).

Ya en los lotes cultivados, El Lote 10 años presentó las mejores condiciones químicas en siete de las diez variables estudiadas. Esto puede estar asociado a la teoría de los ciclos de la materia orgánica donde en el Lote 3 años, parte del abono adicionado no ha sido mineralizado todavía (lo q se conoce como materia orgánica activa), mientras en el Lote 20 años gran parte de la materia adicionada ya fue mineralizada y aprovechada. Dejando al Lote 10 años en un estado intermedio con las mejores reservas de humus y materia orgánica activa. Tomando en cuenta que en el sistema estudiado, la fuente de nutrientes proviene de la mineralización de la materia orgánica (Magdoff, F.1999).

- **Acidez del suelo (pH):** es otra propiedad química, de la cual dependen diversas características del suelo, siendo esta la manifestación de un exceso de iones

H⁺. En la mayoría de los lotes estudiados se encontraron pH casi neutros. Sin embargo resulta interesante observar que el Control es el lote que presenta un pH mas bajo, y el Lote 10 años es el más neutro (cercano a 7). Esto podría deberse a la incorporación de fertilizantes orgánicos al suelo. Los cuales son abonos certificados que deben cumplir con unos estándares de acidez, promoviendo la neutralización del suelo (Magdoff, F. 1999).

Sin embargo todos los Lotes se encuentran dentro de los valores 6.1 y 7.3 de pH, correspondiéndoles un puntaje de 10 en la evaluación (Fig. 10). Esto debido a que la disponibilidad de nutrientes para la plantas está estrechamente relacionada con el pH. Un pH neutro contribuye a la actividad microbiana y el proceso de mineralización. Por otro lado también favorece el intercambio catiónico ya que define el signo de las cargas de iones. Por último indica la ausencia de sustancias que podrían ser tóxicas para las plantas como el aluminio y el manganeso (Ansorena, J. 1995; Ortega, D. 1995; López, A. 2005).

Naturalmente los suelos de esta zona presentan reacción medianamente ácida a neutra (IGAC, 2000), y esto puede darse por dos razones: 1. Baja concentración de Aluminio en el complejo de cambio cuya hidrólisis produce iones H⁺, asociado a una alta presencia de cationes básicos (bases). 2. El empleo de abono neutraliza controlando iones H⁺ (Ansorena, J. 1995; López, A. 2005).

- **Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC):** Naturalmente los suelos de la zona presentan de mediana a alta capacidad de intercambio catiónico (IGAC,2000). El pH influye en la CIC, debido a que en la mayoría de los suelos predominan las cargas negativas, sin embargo en los suelos ácidos por exceso de iones H⁺ predominan las cargas positivas siendo suelos con baja CIC y de fertilidades muy bajas (Ansorena, J. 1995). Como mencionado, la acidez de los lotes presentó pH neutros, lo que justifica los altos valores de CIC obtenidos. Todos los lotes superan por mucho los 20 cmol kg⁻¹, establecidos para una buena calidad de suelos, sin embargo el lote de 10 años es el que presenta una mayor CIC con 40,1 cmol kg⁻¹, justificado por ser el lote que presenta el pH más neutro y el mayor porcentaje de C.O, ya que la materia orgánica también contribuye el intercambio catiónico (Ansorena, J. 1995).

Tabla 14. Estándares de propiedades Químicas del suelo

	pH	COMPLEJO DE CAMBIO (cmol kg ⁻¹)					Bases Totales	Saturación de Bases %	C.O %	FÓSFORO mg Kg ⁻¹
		CIC	Ca	Mg	Na	K				
Estándares de calidad	≈7	>20				>0,4	>16	>70	≈6,59	>40
Apreciación de los estándares	Neutro (ideal)	Muy alta				Muy alta	Muy alta	Altamente saturado	Optimo	Muy alta

Fuente: Tomado y modificado de Ortega, D. 1995. Donde CIC= Capacidad de Intercambio catiónico, C.O= carbono orgánico, los estándares son aquellos que representan la calidad más alta de suelos, establecidos en Anexo 2.

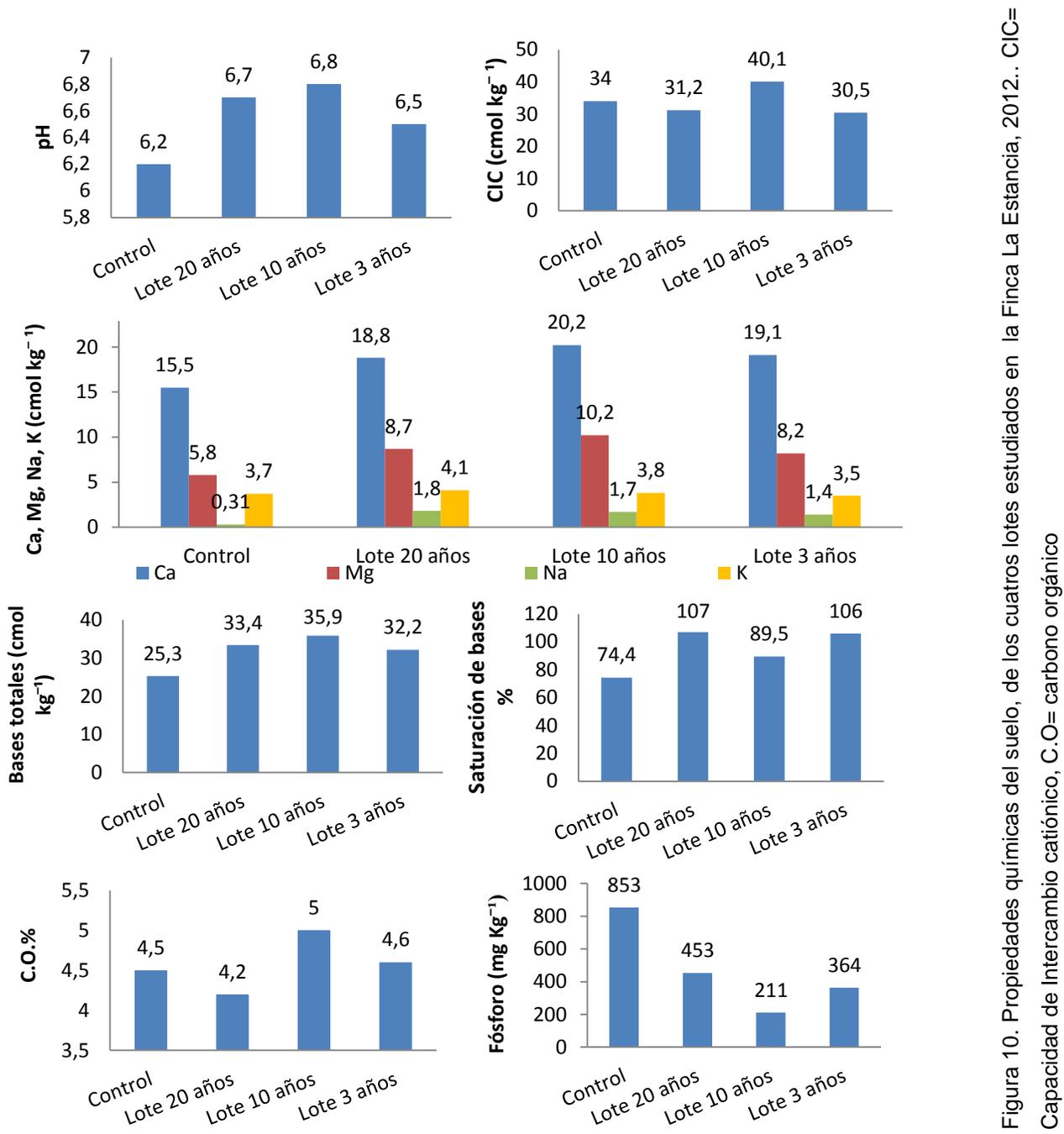


Figura 10. Propiedades químicas del suelo, de los cuatros lotes estudiados en la Finca La Estancia, 2012.. CIC= Capacidad de Intercambio catiónico, C.O= carbono orgánico

Todos los lotes reciben un diez en la evaluación (Fig. 10) por superar el estándar de 20 cmol Kg^{-1} . Este alto puntaje se debe a que la CIC es muy importante; ya que las plantas absorben sus nutrientes de la solución del suelo, a medida que van agotando los nutrientes de esta solución, el complejo de cambio (fase sólida o coloidal); va intercambiando cationes con la solución, surtiéndola nuevamente de los nutrientes extraídos. Así se mantienen en equilibrio el complejo de cambio y la solución del suelo asegurando la oferta de nutrientes, mientras existan reservas (López, A. 2005).

Sin el cambio iónico los cationes solubles generados por la mineralización de la materia orgánica y de la meteorización de los minerales del suelo, serían fácilmente lavados o lixiviados. Esto resultaría en suelos poco fértiles, ya que las raíces de las plantas no contarían una buena oferta de nutrientes (Malagon, D. et al 1995; López, A. 2005).

- **Bases Totales y Saturación de Bases:** Con bases totales del suelo nos referimos a la concentración de los iones alcalinos y alcalinoterreos (principalmente Ca, Mg, K, Na), adheridos al complejo coloidal o complejo de cambio de los suelos. Estos iones al ser positivos pueden ser intercambiados por iones de la misma carga de la solución del suelo (López, A. 2005; Ortega, D. 1995).

Naturalmente los suelos de la zona presentan de mediana a alta saturación de bases (IGAC, 2000). Los lotes subsistema agrícola obtuvieron valores muy superiores al 16 cmol Kg^{-1} . Estas bases son importantes, pues representan una reserva permanente de nutrientes para las plantas, (Ansorena, J. 1995). Nuevamente el lote con mayor concentración de bases totales fue el Lote 10 años con $35.9 \text{ cmol Kg}^{-1}$, lo que podría estar relacionado a la concentración de C.O. El Control que no recibe ningún manejo; fue el que presentó menor concentración con $25.3 \text{ cmol Kg}^{-1}$.

La saturación de bases establece la proporción o porcentaje de bases ligadas al complejo de cambio, para conocer su participación en el complejo y mostrar la posible disponibilidad de los nutrientes mencionados anteriormente para las plantas (López, A. 2005).

$$\text{Sat. de Bases} = \frac{\text{Ca} + \text{Mg} + \text{K} + \text{Na} (\text{cmol Kg}^{-1})}{\text{CIC} (\text{cmol Kg}^{-1})} \quad (\text{Ortega, D. 1995})$$

Las concentraciones de bases son tan altas que llevaron a obtener algunos lotes; como el de 20 y 3 años porcentajes de saturación de bases mayores al 100%, lo que se denomina como saturado. Según la fórmula, en algunos casos esto podría indicar una baja CIC, lo cual sería negativo. Ya en este caso en particular, donde la CIC de los lotes es muy alta; el alto porcentaje de saturación de bases implica más bien una gran reserva de nutrientes (Ortega, D. 1995). El lote que presenta la menor concentración de bases totales; es el control con un 74.4%, sin embargo al superar 70% todos los lotes reciben un diez en la evaluación de este indicador (Fig.10).

- **Fósforo:** En los suelos de Madrid naturalmente se encuentran niveles altos de fósforo en el horizonte superficial y bajos en los horizontes inferiores (IGAC, 2000). El fósforo es uno de los elementos esenciales para la supervivencia de las plantas. Aunque de los macronutrientes el fósforo es absorbido en menor cantidad; su presencia en el suelo es indispensable para el crecimiento y producción vegetal (Vandermmmer, J. 2011).

En los lotes estudiados se reportaron niveles de fósforo muy superiores a los 40 mg Kg⁻¹ establecidos para la calidad de los suelos. El Control por ejemplo obtuvo un fósforo de 853 mg Kg⁻¹. Altos valores de fósforo son positivos para la producción, pues pesar del fósforo ser un elemento muy abundante en los horizontes del suelo; es el segundo elemento que más limita su productividad. Esto se debe a que el fósforo suele formar compuestos de alta energía de unión con los coloides, atribuyéndole alta estabilidad en la fase sólida. Por lo tanto a pesar de que en un suelo exista alta concentración de fósforo solo una pequeña porción está disponible para las plantas (Vandermmmer, J. 2011).

A pesar de reportar valores altos; resulta evidente que los lotes de hortalizas obtuvieron valores muy inferiores a los obtenidos en el Control, a diferencia de los otros indicadores donde el Lote 10 años, venía presentando los mejores valores.. Esto podría deberse a que la disponibilidad del fósforo provienen directamente de las reservas del suelo. La producción agrícola va extrayendo esas reservas, hasta volver al fósforo un factor limitante. Al no existir ninguna otra fuente dentro del sistema, el fósforo debe ser repuesto por medio de los fertilizantes. Posiblemente el fertilizante orgánico usado no está reponiendo el fósforo del suelo a la velocidad que

está siendo extraído, lo que lleva a reducción de las reservas, o alguna práctica no considerada esta promoviendo a la fijación de F en la fase sólida. (Vandermmmer, J. 2011). De igual forma en la evaluación (Fig.10), todos los lotes reciben un diez, por los altos valores.

- **Carbono Orgánico:** Como mencionado anteriormente el carbono orgánico representa un elemento fundamental para la calidad del suelo por determinar muchas otras propiedades (Magdoff, F. 1999). Al sistema productivo estudiado se aplican los rangos típicos para clima frío mostrados en el Anexo 2 (Tabla VII). Donde la acumulación de materia orgánica debe ser mayor, cuando comparada a un lugar de clima caliente, esto debido al metabolismo de los descomponedores (Ortega, D. 1995).

De las propiedades químicas el Carbono orgánico fue el único indicador que no sobrepasó los estándares, pero se clasifica como “aceptable” en todos los lotes y no se aleja tanto del 6.59% establecido como “optimo” ya que lo datos obtenidos se encuentran entre 4.2 y 5%. Sin embargo es importante resaltar que los valores de C.O. obtenidos en los lotes de hortalizas, no están por debajo y en algunos casos sobrepasan a los valores del Control; que sería el estado en el que se encontrarían los suelos de no tener cultivos de hortalizas. Esto nos indica que la producción está reponiendo la materia orgánica, al menos dejando a los suelos como en un estado preproducción, o un poco mejor. Sin embargo para que los valores de C.O. sean óptimos es necesario una mayor aplicación o con más frecuencia de materia orgánica.

El porcentaje de carbono orgánico es uno de los indicadores más importantes de la calidad del suelo. La materia orgánica está constituida predominantemente por carbono orgánico, que es la variable medida en el análisis químico (Ortega, D. 1995; Pérez, M.A. 2010). Por lo que este indicador representa de cierta forma la cantidad de materia orgánica del suelo, pues el factor de conversión de Duchaufour citado en (López, A. 2005) es bastante simple:

$$MO (\%) = CO (\%) * 1.72$$

Donde MO= materia orgánica y CO=carbono orgánico.

Se debe tomar en cuenta que un valor mucho mayor al estándar de referencia tampoco es ideal, pues implica una tasa muy baja de descomposición. En este caso el Lote 10 años es el que presenta mayor porcentaje de C.O, con 5%.

- **Potasio:** El K en el suelo es absorbido por las plantas en grandes cantidades, siendo superado únicamente por el nitrógeno. Es un elemento de mucha movilidad dentro de las plantas, a nivel de las células y tejidos. Los lotes presentan concentraciones altas de potasio (mayores a 3.5 cmol Kg^{-1}), resultado de condiciones naturales de sus suelos (IGAC, 2000). Valores que superan por mucho el $0,4 \text{ cmol Kg}^{-1}$ establecido. El potasio por interferir en varios procesos bioquímicos, activando numerosas encimas, es regulador de la presión osmótica y de la apertura de los estomas, es de gran importancia, también participa en la fotosíntesis, en la formación de frutos, en la resistencia al frío y enfermedades de las plantas (López, A. 2005). Por lo cual las altas concentraciones son evaluadas positivamente en la evaluación de este indicador (Fig. 10) con un diez.

El aluminio: en el suelo puede llegar a ser tóxico para las plantas si el suelo alcanza pH menores a 5.6; en este caso los pH de los lotes son muy superiores, por lo que no presentan Aluminio de cambio. Por tratarse de un elemento agrónomicamente negativo, los valores bajos de Aluminio de cambio son los valores más deseados para la calidad del suelo (Ansorena, J. 1995; Ortega, D. 1995) sin embargo, por no presentarse no fue incluido en la evaluación (Fig.10).

De los elementos Na, Mg y Ca se puede decir que se presenta un comportamiento similar en los lotes. Donde el Lote 10 años es el que presenta las mayores concentraciones y el Control las menores.

5.2.1. Evaluación de indicadores Químicos, en función de la calidad del suelo

Tal como se hizo con los indicadores del agroecosistema; en esta sección se realiza la evaluación de los indicadores provenientes de las propiedades químicas, escogidos en la metodología (Tabla 9). Asignándole un valor de 1-10, según los valores de referencia para calidad de suelos definidos en el Anexo 2.

En la Fig. 11 se encuentra representada la evaluación de los indicadores químicos; que debido a los altos valores de nutrientes obtenidos (muy superiores a los estándares) la mayoría de los indicadores obtienen un puntaje igual a diez en la evaluación de calidad. Aunque si hubiese sido posible se le habría asignado un puntaje mas alto por superar por tanto los estándares.

El único indicador que difiere de diez; es el carbono orgánico, ya que en todos los lotes presentaron valores inferiores al 6.56% (establecido como óptimo). Al estar dentro de los porcentajes 4.2 y 5.0% los lotes reciben una puntuación en la evaluación de este indicador, igual a siete, menos el Lote 10 años, el cual recibe un ocho, ya que casi alcanza el optimo por presentar un 5% de C.O. según la Tabla VII del Anexo 2, con los rangos de referencia.

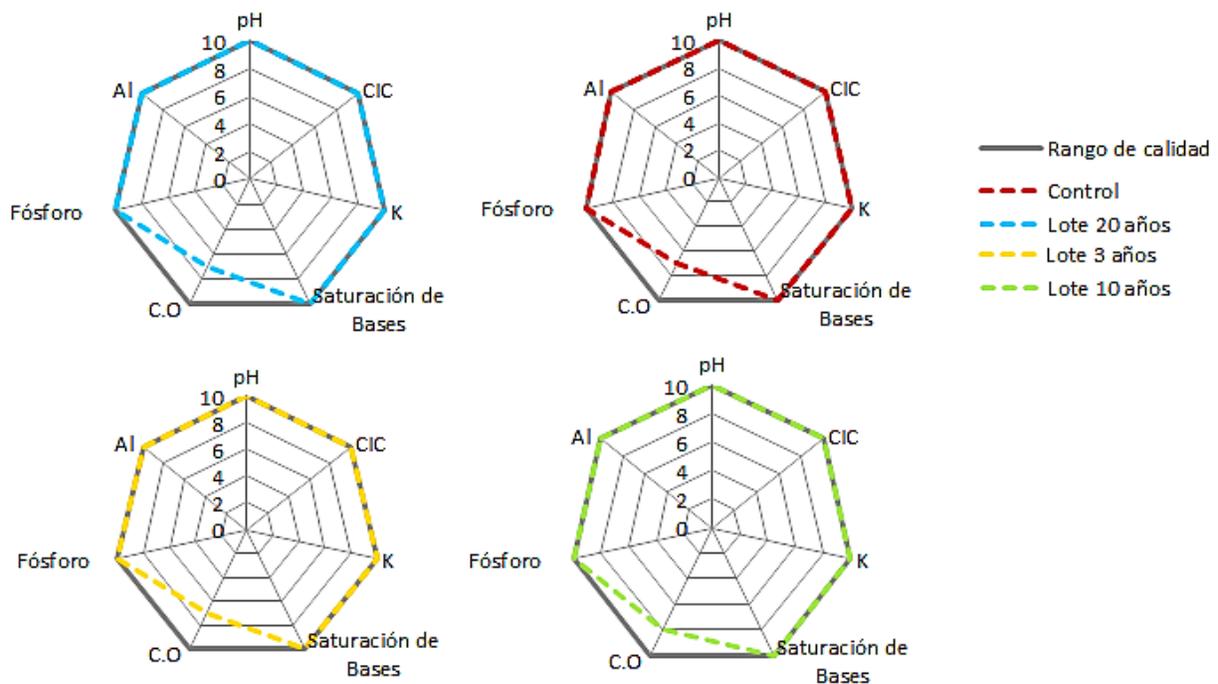


Figura 10. Evaluación de indicadores Químicos, en función de la calidad del suelo. De los cuatro lotes estudiados de la Finca La Estancia 2012.

5.3. Propiedades Físicas del suelo

Los datos sobre las propiedades físicas obtenidas de las mediciones en campo y en laboratorio (textura), se encuentran agrupadas en la (Tabla 15).

A diferencia de las propiedades químicas; en las físicas los suelos del subsistema agrícola presentan varias condiciones fuera de los estándares establecidos para una buena calidad de suelo. En cuatro de siete indicadores el Control es el lote que presenta mejores condiciones físicas. Reflejando que posiblemente prácticas como el laboreo mecanizado; estén generando un efecto negativo sobre el suelo de aquellos lotes que están siendo cultivados.

- Densidad aparente:** Para este estudio se toman como referencia valores de densidad aparente propios de Andisoles. Las cuales deben ser menores a 0.8 g/cm^3 , Esto se debe a que son derivados de cenizas volcánicas y valores superiores a 1.2 g/cm^3 posiblemente reflejan un mal manejo Henríquez, C. y Calbaceta, A. 1999. Las densidades aparentes obtenidas en los lotes: Control (0.8 g/cm^3), 3 años (0.72 g/cm^3) y 20 años (0.79 g/cm^3) son ideales para la producción. El lote 10 años presentó una densidad aparente baja (0.69 g/cm^3), lo que no es tan deseable, por ser susceptibles a perder su estructura. La densidad aparente; varía según la textura, estructura, contenido de materia orgánica y la compactación. Es una medida muy importante para el estudio de suelos, pues nos revela información sobre el espacio poroso necesario para el movimiento del agua-aire, penetración de raíces y la emersión de las plántulas (USDA, 1999; López, A. 2005).

Tabla 15. Propiedades Físicas del suelo. De los cuatro lotes estudiados en la finca la Estancia.

	Clase textural (Cltv)	Densidad (g/cm^3)	Porosidad (%)	Estructura (Cltv)	Infiltración (cm/hora)	Control erosión (Cltv)
Estándares de calidad	F	≈ 0.8	≈ 60	Bloques grandes, fuertes y consistentes	$\approx 15,5$	Control Alto
Apreciación de los estándares	Ideal	Ideal	Ideal	Ideal	Ideal	Ideal
Control	FArA	0,80	69,86	Bloques grandes, fuertes y consistentes	30,48	Control Alto
Lote 20 años	F	0,79	70,18	Bloques finos, moderadamente fuertes y poco resistentes	247	Control Alto
Lote 10 años	F	0,69	74,07	Gránulos finos, moderadamente fuertes y moderadamente consistentes	68,03	Control Alto
Lote 3 años	F	0,72	72,66	Bloques finos, fuertes y moderadamente consistentes.	212,7	Control Alto

Donde F= fraco, FArA= franco arcillo arenosa, Cltv= cualitativo.

El uso de maquinarias pesadas y el arado, son factores que también influyen sobre la densidad aparente. En este caso no se ha evidenciado compactación pues la tecnología usada (motocultor) no es de gran envergadura, pero los valores bajos de densidad si podrían estar influenciados por el volteo y rompimiento del suelo, que promueven mayor espacio poroso. (Ortega, D. 1995; Malagon, D. et al 1995; López, A. 2005).

- **Porosidad:** Los altos porcentajes de porosidad obtenidos (>69%), se justifican con las bajas densidades aparentes y con las texturas apropiadas (francas) presentes en los suelos de los lotes. La porosidad como mencionado anteriormente determina la aireación, almacenamiento y flujo de agua en el suelo. También influye en la penetración de las raíces, permite una mejor circulación de nutrientes y favorece actividad aeróbica microbiana y de fauna edáfica (Malagon, D. et al 1995; López, A. 2005). Por lo que son evaluadas positivamente aquellos suelos con altos porcentajes de porosidad (Fig.12).

La Materia orgánica también contribuye al aumento de la porosidad al igual que los suelos con contenido de arcillas, pues estas partículas favorecen la abundancia de microporos (Gliessman, R. 2002; Malagon, D. et al. 1995).

- **Infiltración:** En los lotes se obtuvieron valores muy superiores al ideal 15.5 cm/hora. El Control es el lote que se aproxima más a valores relativamente normales de infiltración; los otros lotes se consideran de infiltración extremadamente rápida. La infiltración es dependiente de la textura, estructura, contenido de materia orgánica, de la humedad, compactación (densidad aparente), la pendiente y la cobertura del suelo (Pérez, M.A. 2010). En este caso los lotes de hortalizas son planos, muy porosos y con coberturas separadas que promueven una rápida infiltración. El Control; posee una cobertura de pasto más densa, lo que justifica una infiltración más lenta (30,48 cm/hora), adicionalmente no presenta arado y posee mayor contenidos de arcilla. El arado acelera la infiltración al romper la estructura del suelo, mientras el mayor porcentaje de arcilla favorece a la presencia de microporos que retienen el agua (USDA, 1999).

Valores intermedios de infiltración son ideales para la producción, ya que infiltraciones muy rápidas conllevan a una baja capacidad de retención de agua. Tomando en cuenta que Madrid es una zona seca y que las mediciones se realizaron

en verano; las rápidas infiltraciones pueden estar relacionadas a que el suelo se encontraba muy seco a pesar del riego (Malagon, D. et al. 1995; López, A. 2005; USDA, 1999).

- **Estructura:** Ya la estructura fue evaluada de forma cualitativa con las clases descriptivas definidas en la metodología (Tabla 4) y Anexo 2 (Tabla XVII). Recordando que el grado de la estructura implica que el agregado sea evidente tanto in situ como al remover el y puede ser clasificado como: fuerte, moderadamente fuerte o débil y la Consistencia del agregado implica si se rompe bajo poca o mucha presión de los dedos (Tabla 4); se obtuvo una estructura ideal para el Control con bloques grandes, fuertes y consistentes, ya los lotes de hortalizas presentaron estructuras, relativamente buena (Lote 3 años), moderadamente buena (Lote 10 años) y débil (Lote 20 años).

La estructura puede definirse como la disposición espacial de las partículas del suelo o como esas partículas se agrupan en configuraciones estables o agregados (peds) (Pérez, M.A. 2010). Es una de las variables donde mas se evidencian los efectos del arado; debido que el Control (el cual no se ara) presentó la estructura mas apropiada; mientras los lotes de hortalizas que son arados cada 4-5 meses presentaron estructuras menos deseables; a medida que poseían mas años siendo arados. Es decir el lote 20 años presentó peor estructura que el lote 3 años. Esto se debe a que el arado rompe los agregados, volviéndolos menos estables y favoreciendo la erosión. Otros factores que influyen sobre la estructura; son las diferentes condiciones climáticas, la actividad biológica y la materia orgánica, que por su parte favorece la estabilidad de la estructura por el poder polimerizante de sus ácidos húmicos (López, A. 2005). El control puede haber presentado mejor estructura gracias a su mayor contenido de arcillas quienes también poseen un mayor poder de agregación (USDA; 1999).

- **Textura del suelo:** se entiende como la proporción que este posee de las diferentes partículas (arcilla, limo, arena). (López, A. 2005; Malagon, D. et al. 1995). La textura ideal para una buena producción, es aquella típica de suelos francos: arcilla entre el 7% - 27% y limo entre 28% - 50%. Los suelos francos ofrecen una buena retención de agua, favorece la difusión de gases, y con eso el desarrollo de las plantas (SQI. 1996). Por esta razón los suelos francos de los lotes de hortalizas,

fueron evaluados con diez (Fig.12), mientras el suelo del Control; por ser Franco Arcillo arenoso fue evaluado con siete. Sabiendo que fracción predomina (Arcilla, limo o arena), se puede inferir en la fertilidad potencial, evolución del suelo y algunas características químicas (Ortega, D. 1995).

- **Control de la Erosión:** La erosión es la forma más común de degradar los suelos; factores naturales como la lluvia, la gravedad, el viento y la escorrentía promueven la erosión o la pérdida física del suelo. Sin embargo son el manejo y las prácticas en un terreno los que condicionan que estos factores tengan un mayor o menor impacto sobre los suelos (León, T. s. f. (a)). En el estudio no se evidenció grandes pérdidas. No se observaron ni cárcavas ni canales en ninguno de los lotes, y el horizonte A de los Lotes 20, 10 y 3 años presentaron profundidades muy similares al Control. Esto puede deberse posiblemente a varios factores: el primero ligado a que los lotes de hortalizas poseen pendientes casi nulas; el segundo está asociado a que Madrid presenta muy bajas precipitaciones y por último está que los lotes poseen una cobertura relativamente buena del suelo (Gliessman, R. 2002). Estas características conllevan a que sean clasificados cualitativamente con un control alto de la erosión.

La evaluación de los indicadores físicos se realiza junto con los biológicos en Fig. 12.

5.4. Propiedades Biológicas del suelo

- **Actividad biológica de invertebrados y lombrices:** Este indicador no presentó un patrón regular en sus abundancias, como se hubiese esperado. Ya que según la teoría sería lógico obtener mayor presencia en el Control que no presenta laboreo. Sin embargo con relación al tiempo de manejo: el lote con menor tiempo siendo cultivado (Lote 3 años) es el que presenta mayores abundancias, le sigue el Lote 10 años y por último se ubica el Lote 20 años (que posee más años siendo arado) (USDA, 1999; Vandemeer, J. 2011; Magdoff, F.1999). En orden decreciente, el Lote 3 años presentó: 31 invertebrados.- 4 lombrices, El lote 10 años: 21 invertebrados.- 0 lombrices, luego le sigue el Control con; 6 invertebrados.-1 lombriz y por último el Lote 20 años con 3 invertebrados únicamente. Tomando en cuenta que el arado es un factor que condiciona la actividad de la meso y macrofauna, el Control

pudo no haber obtenido la mayor abundancia, debido a que la fauna edáfica, suele encontrarse en distribuciones agregadas donde encuentren las mejores condiciones. Lo que hace muy difícil el muestreo y genera errores experimentales (USDA, 1999; Vandermeer, J. 2011). Sin embargo un factor que si se podría estar relacionado a la distribución de invertebrados y lombrices, es que en teoría, el Lote 3 años posee mayor cantidad de materia orgánica activa (poco descompuesta), que es más nutritiva para los invertebrados y lombrices que la muy descompuesta, por lo que podría estar presentado una mayor abundancia (Magdoff, F.1999).

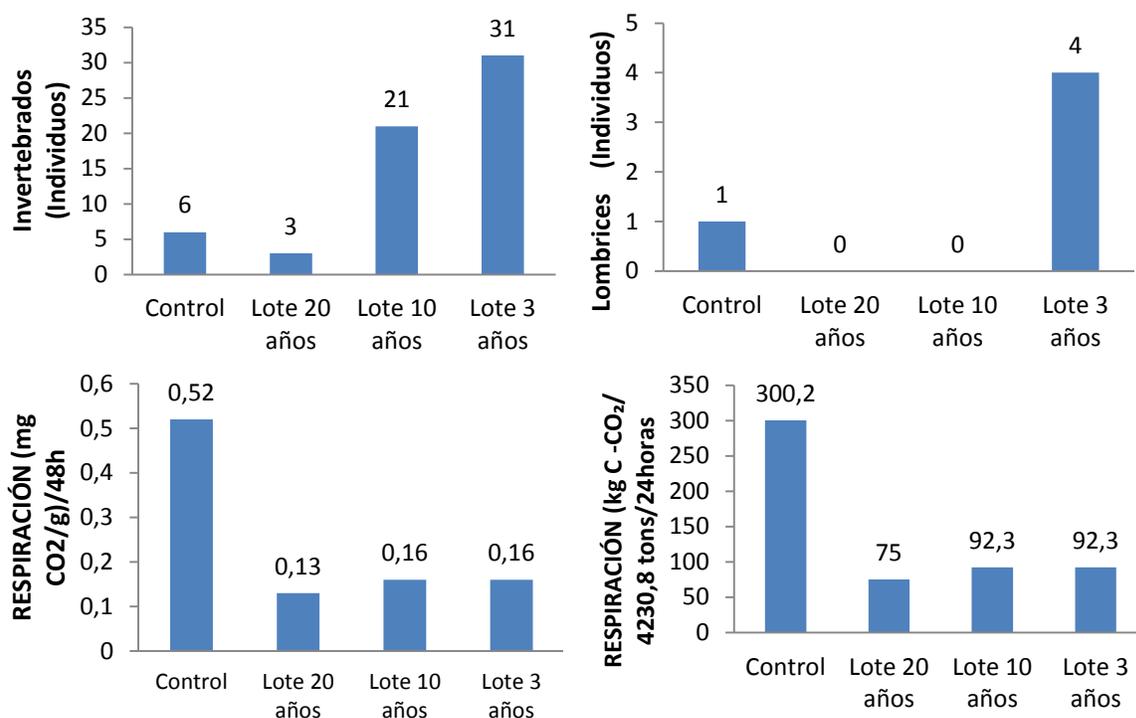


Figura 11. Propiedades biológicas del suelo, de los cuatro lotes estudiados en la Finca La Estancia 2012.

La fauna edáfica (mesofauna y macrofauna) son de gran importancia ya que: 1. consumen materia orgánica y la simplifican o fraccionan. 2. mezclan el suelo y aumentan la porosidad mejorando las condiciones para la mineralización de la materia orgánica. 3. aumentan la disponibilidad de nutrientes con material fecal y controlan poblaciones de microorganismos (López, A. 2005; Pérez, M.A. 2010). Razón por la que las altas abundancias son ideales. En el caso específico de las lombrices

su presencia sirve como indicador de baja aplicación de agroquímicos, debido a que son muy sensibles a estas sustancias (Pérez, M.A. 2010). Sin embargo en el estudio no se evidenció mucha actividad de lombrices, a pesar de ser un sistema orgánico. Esto podría deberse a que condiciones de pH, estructura y humedad del suelo también determinan la distribución de la fauna edáfica, por lo que las poblaciones son altamente variables en espacio y tiempo (USDA, 1999).

- **Producción de CO₂:** La respiración es la producción de CO₂ como resultado de la actividad biológica del suelo, realizada por microorganismos, raíces vivas, y macroorganismos tales como lombrices, nemátodos o insectos (USDA 1999). Según USDA (1999 p:59) “Cuando se obtiene un valor elevado de respiración del suelo es indicativo de una elevada actividad biológica y puede ser buen signo, indicativo de una rápida descomposición de residuos orgánicos hacia nutrientes disponibles para el crecimiento de las plantas”. Actividades que perturben el suelo como la labranza o la adición de materia orgánica pueden elevar las tasas de respiración dramáticamente, debido al aumento de la oferta de alimento y oxígeno a los organismos (Vandermeer, J. 2011). Sin embargo este aumento inmediato a la perturbación acaba decreciendo, ya que los microorganismos suelen ser muy sensibles a variaciones y acaban por reducir su población (USDA, 1999).

De la producción de CO₂ biológico, se obtuvo mucha mayor actividad biológica proveniente de del Control con 0.52 (mgCO₂/g/48h), este valor representa 300.2 en (kg C -CO₂/4230.8 ton/24h), valor que está muy por encima del valor establecido como: actividad inusualmente alta (>72.62 kg C -CO₂/4230.8 ton/24h) véase Anexo 2, tabla XXI. Los Lotes de hortalizas presentaron valores muy similares entre sí: 0.13 (Lote 20 años) 0.16 (Lote 10 años) y 0.16 mgCO₂/g/48h (Lote 3 años). Estos valores en (kg C -CO₂/4230.8 ton/24h) son 75 y 92.3 respectivamente, por lo que también están por encima del estándar.

La respiración del suelo es altamente variable, tanto espacialmente como estacionalmente y es determinadas por condiciones de humedad del suelo, temperatura, oxígeno disuelto, pH, y nutrientes. (USDA, 1999; Vandermeer, J. 2011). Los altos valores obtenidos en el Control posiblemente se deben a que en los

pastizales la cantidad de raíces es muy superior que en los otros cultivos, lo que aumenta la producción de CO₂, adicionalmente está el factor de que el Control presenta laboreo del suelo. Sin embargo los lotes de hortalizas también posee altos valores, esto puede deberse a la adición constante de materia orgánica, una humedad controlada por el riego y aireación proveniente del arado (Vandermeer, J. 2011).

5.4.1. Evaluación de indicadores Físicos y Biológicos en función de la calidad del suelo.

En este segmento se realiza la evaluación de los indicadores provenientes de las propiedades Físicas y biológicas, escogidos en la metodología (Tabla 10 y 11). Asignándole un valor de 1-10, según los valores de referencia para calidad de suelos definidos en el Anexo 2.

La Fig. 12 incluye la evaluación de los indicadores físicos y biológicos. En los indicadores de calidad: clase textural, porosidad y control de la erosión se le asignó puntajes muy similares a diez a todos los lotes. Diferenciándose únicamente el Control, el cual recibe un siete en clase textural por no ser franca y un diez en control a la erosión por poseer cobertura homogénea de pastos sin pérdida del horizonte A. En densidad el lote 10 años no recibe un diez debido a que su densidad aparente es baja.

Ya en la infiltración los lotes no reciben puntajes tan altos, debido a que infiltran muy rápido, lo que conlleva a una baja capacidad de almacenamiento de agua. El Lote 20 años recibe un 3 debido a que posee una infiltración de 247 cm/hora, comparados con los 15.5 cm/hora recomendables para una buena calidad de suelos. El Control obtiene la mejor evaluación en la infiltración, por presentar una infiltración de 30.48 cm/hora. Mientras los Lotes 3 y 10 años reciben cuatro y seis respectivamente por infiltraciones muy rápidas principalmente en el Lote 3 años.

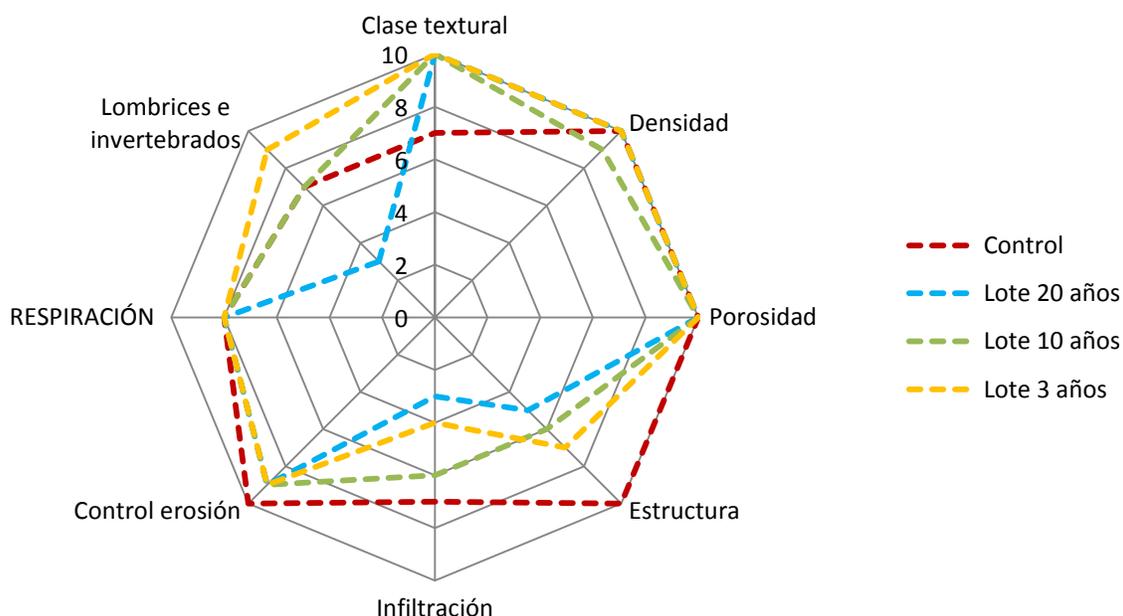


Figura 12. Evaluación de los indicadores físicos y biológicos, en función de la calidad del suelo. De los cuatro lotes estudiados en la Finca La Estancia, 2012.

Estructuralmente en lote que presenta la mejor calidad; es el Control, por las características mencionadas en las propiedades físicas (Tabla 10). Los otros lotes presentan un puntaje de su estructura de siete (Lote 3 años), seis (Lote 10 años) y cinco (Lote 20 años).

Con respecto a la meso y macrofauna el lote que promueve una mejor calidad de suelos; es el Lote 3 años, por presentar una alta abundancia de invertebrados y una moderada presencia de lombrices. Tanto el Lote 10 años como el Control obtuvieron un siete, diferenciado por la presencia de lombrices en el Control y la ausencia de las mismas en el Lote 10 años. El Lote 20 años se evaluó con un tres debido a la baja presencia de invertebrados y a la ausencia de lombrices. Ya para la producción de CO₂ todos los lotes presentan una actividad biológica inusualmente alta por lo que reciben todos un ocho.

5.5. Evaluación de la Calidad de Suelos

En esta sección de los resultados se realiza la evaluación de la calidad del suelo como tal por cada lote estudiado.

Una vez promediados todos los indicadores de calidad de suelo por lote (21 indicadores en total); se obtuvo que todos los lotes poseen una calidad de suelo igual o superior a 8. Siendo el Lote 20 años el que recibió el puntaje mas bajo con 8 y el Control el puntaje más alto con 8.48, le sigue en Lote 10 años con 8.38. En promedio todos los lotes del subsistema agrícola presentan una calidad de suelo igual a 8.3, siendo este un puntaje alto (Fig.13)

El Control es el lote que presenta relativamente la mejor calidad. Sin embargo se debe tomar en cuenta que el Control no posee ningún tipo de producción, mientras los lotes de hortalizas están siendo manejados constantemente, lo que debe generar algún impacto. Como observado el impacto generado, no es del todo negativo y en general la calidad de sus suelos es muy buena pues entran en el mismo rango 8-9 del Control, lo que podría indicar buenas prácticas y sostenibilidad en la producción.

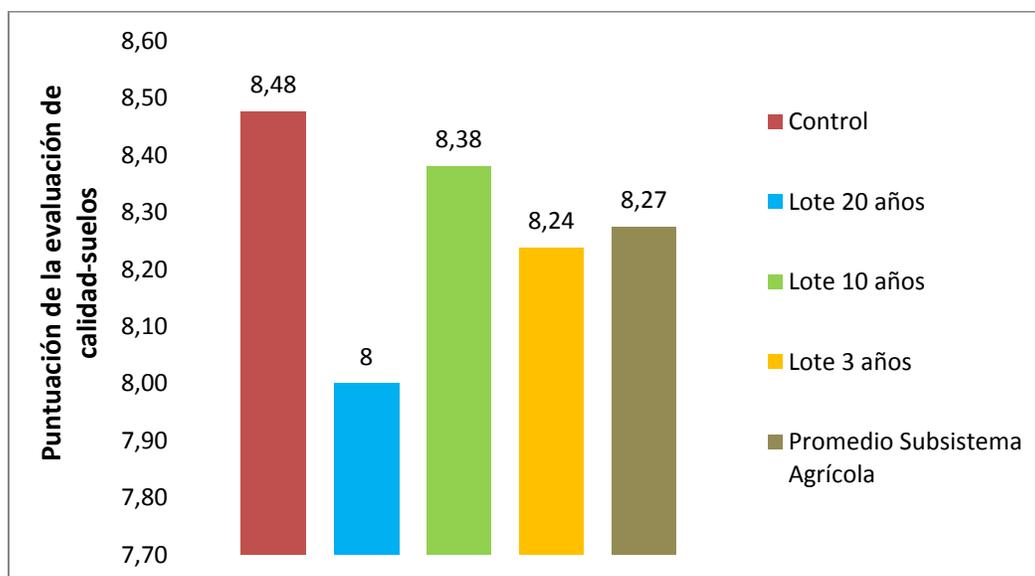


Figura 13. Evaluación de la calidad de suelo promediada por lote. Finca La Estancia 2012.

6. Conclusiones

Todos los lotes presentan una calidad de suelo alta, según los indicadores evaluados. Obteniendo valores entre 8 y 8,48. Estos altos valores reflejan buenas prácticas y sostenibilidad en la producción.

Parte de la calidad del suelo está definida por condiciones naturales de la región como: el clima, material parental, relieve, organismos; complementado con el manejo

agrícola que le es dado a los lotes y a las áreas vecinas que a su vez pueden incidir en la calidad del agua para riego.

El Agroecosistema de la finca la Estancia es complejo, con numerosos elementos (33 sp. cultivadas y 4 especies animales) funciones e interacciones. Lo que resulta en un sistema autorregulado y con poca dependencia de insumos, como observado en la caracterización del agroecosistema para el control de plagas y enfermedades, donde se requieren pocos subsidios. Lo que a su vez genera suelos más saludables.

El uso del suelo (lotes de hortalizas), con el manejo específico del sistema productivo La Estancia; genera mejoras en las propiedades químicas con relación al Control (sin uso), pero por otro lado conlleva a perturbaciones de las propiedades físicas, como la estructura y la infiltración, lo que influye negativamente en la evaluación de la calidad del suelo. Por lo que la posible hipótesis; de que un suelo manejado orgánicamente, podría ser mejor que uno sin uso, no aplica en su totalidad en este estudio ya que se trata básicamente de un sistema productivo orgánico por sustitución de insumos y no uno con enfoque agroecosistémico. Sin embargo como mencionado; la calidad de los suelos usados (lotes de hortalizas) fue de igual forma alta.

Las propiedades químicas, físicas y biológicas de los lotes de hortalizas, son bastantes similares en la mayoría de los casos. Posiblemente asociado a que los lotes son manejados con las mismas prácticas y tecnologías. Mientras que el lote que presenta mayores diferencia en las variables; es el Control, por no poseer manejo alguno.

Principalmente en las propiedades químicas se evidencia una mejor calidad de suelos en los lotes de hortalizas comparados al Control, esto puede deberse a prácticas como la adición de fertilizante orgánico, asociación, rotación de cultivos y al riego.

A su vez dentro de los lotes de hortalizas, es el Lote 10 años, el que presenta las mejores condiciones químicas en la mayoría de los indicadores evaluados. Pudiendo ser asociado; a que la materia orgánica (fuente de nutrientes), se encuentra en un estado intermedio de humificación; ni muy temprano como el lote 3 años. Donde la materia orgánica no ha sido descompuesta, reduciendo la disponibilidad de nutrientes

para las plantas. Ni muy avanzado como el lote 20 años donde la materia adicionada con anterioridad ya fue humificada, aprovechada o lixiviada.

Sin embargo los suelos de la zona en general aportan muy buenas condiciones químicas naturalmente, lo que hace más fácil el buen manejo de los suelos. Razón por la cual todos los lotes (incluyendo el control) superan los estándares establecidos para una buena calidad de suelo, con excepción en el indicador “carbono orgánico total” el cual queda clasificado con un “aceptable”, por presentar en los lotes porcentajes entre 4,2 y 5 mientras el estándar establecido es de 6.59%.

En las propiedades físicas en general, el Control es el que presenta mejores condiciones, como resultado de que los lotes de hortalizas se ven sometidos frecuentemente al laboreo mecanizado. Razón por la cual, se justifica que sea el Lote 20 años (posee mas años siendo arado) el que presenta las condiciones físicas menos favorables para la calidad del suelo, como se puede observar claramente en el indicador “estructura del suelo” donde presentó la condición de agregados menos favorable.

Biológicamente fueron los lotes con menos tiempo de manejo Lote 3 y 10 años, los que presentaron mayor abundancia de lombrices e invertebrados. Tomando en cuenta que el arado es un factor que condiciona la actividad de la meso y macrofauna, el Control pudo no haber obtenido la mayor abundancia, debido a que la fauna edáfica suele encontrarse en distribuciones agregadas, donde se encuentren las mejores condiciones, dificultando el muestreo. Sin embargo el Control si presentó la mayor producción de CO₂ biológico, debido a su cobertura en pasto con gran densidad de raíces y por la ausencia e laboreo.

Recomendaciones

La calidad del suelo también se ve afectada por las decisiones tomadas por el productor. Ya que esto conlleva a realizar un manejo específico u otro, por ejemplo: si la demanda del mercado es de lechugas, el productor busca producir más lechuga; así le corresponda rotar con otra familia el camellón o el lote. O si el productor no ha obtenido ganancias por la última cosecha y debe volver a sembrar; probablemente invierta menos en la fertilización, ya que no posee la posibilidad económica. Esto

hace que la evaluación de la calidad de los suelos varíe en cada ciclo del cultivo, dependiendo de los manejos dados al suelo.

Existen dos prácticas del sistema productivo La Estancia, que podrían ser mejoradas y con ellas probablemente aumentaría la calidad de los suelos en los lotes de hortalizas; estas son: el arado, el cual podría realizarse manualmente o con menos frecuencia y la aplicación de materia orgánica. La cual debería ser en un principio, más abundante o en mayores volúmenes, para alcanzar los estándares del indicador Carbono orgánico. Posteriormente se debería buscar la forma de sustituir este fertilizante orgánico (que no es producido en la finca), por insumos internos y prácticas que reduzcan la necesidad de aplicar constantemente fertilizantes externos, como serían: 1. Un buen sistema de rotación de cultivos incluyendo leguminosas. 2. Cultivos de cobertura o mulchs orgánicos (que cubran el suelo y aporten materia orgánica). 3. Crear un sistema eficiente de compostaje orgánico dentro de la finca.

Se recomienda hacer este tipo de evaluación de la calidad del suelo, comparando diferentes sistemas productivos (dos fincas) o diferentes manejos (ej. Orgánico - tradicional). De esta forma se podrá evidenciar con mayor facilidad las variaciones en las propiedades del suelo en función de las prácticas y manejos. Para hacer este tipo de estudios es totalmente necesario tener un enfoque sistémico, tomando en cuenta todas las partes e interacciones que conforman el agroecosistema y puedan tener algún tipo de impacto sobre los suelos. En cuanto a las propiedades biológicas, especialmente para la meso y macrofauna, se recomienda hacer un muestreo más representativo (mayor número de muestras por parcela de muestreo), para evitar los errores experimentales.

7. Referencias Bibliográficas

- Alcaldía Municipal de Madrid, Cundimarca. 2008. Plan de Desarrollo Municipal de Madrid, Cundinamarca. "Construyendo a Madrid con sentido social" 2008-2012.
- Altieri, M. (s.f.) Agroecología: Principios y estrategias para diseñar una agricultura que conserva recursos naturales y asegura la soberanía alimentaria. Universidad de California, Berkeley.
- Altieri, M. 1999. AGROECOLOGIA Bases científicas para una agricultura sustentable. Editorial Nordan–Comunidad. Montevideo.

- Altieri, M. y Nicholls, C. 2001. Sistema agroecológico rápido de evaluación de calidad de suelo y salud de cultivos en el agroecosistema de café. En <http://www.agroeco.org/doc/SistAgroEvalSuelo2.htm>.
- Altieri, M. y Nicholls, C. 2008. Suelos Saludables, Plantas Saludable. La evidencia agroecológica. LEISA revista de agroecología.
- Ansorena, J. 1995. El Suelo en la Agricultura y el Medio Ambiente. Fertilidad del Suelo: Acidez y Complejo de Cambio. SUSTRAL:36. p40-46.
- Brunett, L. González, C. y García, L. 2005. Evaluación de la sustentabilidad de dos agroecosistemas campesinos de producción de maíz y leche, utilizando indicadores. *Livestock Research for Rural Development*. Volume 17, Article #78.
- Castro, H. 1999. Degradación del Suelo en Zonas de Agricultura Comercial. En Conservación de Suelos y Aguas en la zona Andina. Hacia un desarrollo de un concepto integral. Müller-Sämman, K. y Restrepo, J. (Ed). CIAT. Cali, Colombia. p. 95-107.
- Clavijo, N., Prins, C., Sánchez, V., Soto, G., Staver, C. 2006. Calendarización, uso racional, sustitución y rediseño: una comparación entre horticultores orgánicos y convencionales de Costa Rica. En Manejo Integrado de Plagas y Agroecología. N° 78. P.17-27. Costa Rica.
- Corrales, E. 2002. Sostenibilidad agropecuaria y sistemas de producción campesinos. Cuadernos Tierra y Justicia No. 5 Reino de Noruega - SUIPICOL Suiza; Séjours Catholique Francia ASDI Suecia, IDEA - IER - ILSA - Secretariado Nacional Pastoral. Bogotá.
- Corrales, E. y Forero, J. 2007. La reconstrucción de los sistemas de producción campesinos. El caso de ASPROINCA en Riosucio y Supia. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá.
- Etter, A. & Sarmiento, A. 2008. La reconfiguración del espacio rural en Colombia: entre la expansión de la frontera agropecuaria y la intensificación de la agricultura. Trabajo presentado en el Seminario Internacional "Las Configuraciones de los Territorios Rurales en el Siglo XXI".
- Flórez, J. 2009. Agricultura ecológica. Ed. Mundi Prensa. Madrid. ES.
- Foley, J.A. et al. 2005. Global Consequences of Land Use. *Science*, 309, 570-574.
- Forero, J. s.f. Guía Para La Observación Del Agroecosistema. Notas de Clases. Facultad de Estudios Ambientales y Rurales. Bogotá. Colombia.
- Forero, J. (2002). Sistemas de producción rurales en la región andina colombiana, análisis de su viabilidad económica, ambiental y cultural. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana - Facultad Estudios Ambientales y Rurales.
- Gliessman, R. 2002. Agroecología: procesos ecológicos en agricultura sostenible. Turrialba, C.R: CATIE.
- Hart, R. (1985). Conceptos básicos sobre agroecosistemas. CATIE. Turrialba, Costa Rica.
- Hart, R. 1990. Componentes, subsistemas y propiedades del sistema finca como base para un método de clasificación. En: Tipificación de sistemas de producción agrícola. RIMISP. Santiago de Chile.
- Hecht, S. 1999. La Evolución del Pensamiento Agroecológico. En AGROECOLOGIA Bases científicas para una agricultura sustentable. Editorial Nordan-Comunidad. Montevideo. p.15-30.

- Henríquez, C. y Calbaceta, A. 1999. Guía Práctica para el Estudio Introductorio de los Suelos con un Enfoque Agrícola. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. San José. C.R.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi. 2006. Métodos analíticos de laboratorio de suelos. Imprenta Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi, subdirección de Agrología. 2000. Estudio General de Suelos y Zonificación del Departamento de Cundinamarca. Imprenta Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.
- Jackson, L., Pascual, U., Hodgkin, T. 2007. Utilizing and conserving agrobiodiversity in agricultural landscapes. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. vol. 121 pp196–210.
- Karlen, D., Eash, N., Unger, P. 1992. Soil and Crop Management Effects on Soil Quality Indicators. *En American Journal of Alternative Agriculture*. Vol. 7 p. 48-56.
- León, T. s. f. (a). Relaciones Agricultura – Ambiente en la Degradación de Tierras en Colombia (material de clase). *Agricultura Sostenible*. Universidad Nacional de Colombia. en http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/IDEA/2007223/lecciones/lect8/lect8_1.html
- León, T. s. f. (b). Enseñanzas de la Revolución Verde: Hacia Una Nueva Revolución Verde (material de clase). *Agricultura Sostenible*. Universidad Nacional de Colombia. en http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/IDEA/2007223/lecciones/lect8/lect8_1.html
- López, A. 2005. Manual de Edafología. Notas de Clases. Universidad de Sevilla. En <http://www.scribd.com/doc/51630897/46/Calculo-de-la-porosidad>
- Magdoff, F. Calidad y Manejo de Suelo. En Altieri, M. 1999. *AGROECOLOGIA Bases científicas para una agricultura sustentable*. Editorial Nordan–Comunidad. Montevideo. p.280-304
- Malagon, D., Pulido, C., Llinas, R. D., Chamorro, C. 1995. Suelos de Colombia. Bogotá, D.C.: Instituto Geográfico Agustín Codazzi.
- Ortega, D. 1995. Consideraciones Generales para Interpretar Análisis de Suelos. En: Suelos de Colombia, origen, evolución, clasificación, distribución y uso. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Canal Ramírez Antares Ltda. Bogotá. p. 423.
- Osorio (s.f.). Muestreo de Suelos. Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia.
- Parr, J., Papendick, R., Hornick, S. and Meyer, R. 1992. Soil quality: Attributes and relationship to alternative and sustainable agriculture. *American Journal of Alternative Agriculture*. Vol.7. p.5-11.
- Pérez, M.A. 2010. Sistema Agroecológico Rápido de Evaluación de Calidad de Suelo y Salud de Cultivos. Guía metodológica. Corporación Ambiental Empresarial. Bogotá, Colombia.
- Rivera, J. 1999. Comportamiento de los Suelos Dedicados al Cultivo de la Yuca en dos Localidades del Depto. Del Quindío y Bajo dos Sistemas de Siembra. En *Conservación de Suelos y Aguas en la zona Andina. Hacia un desarrollo de un concepto integral*. Müller-Sämann, K. y Restrepo, J. (Ed). CIAT. Cali, Colombia. p107-115.
- Soil Survey Staff. 2006. Keys to Soil Taxonomy. Tenth Edition. United States Department of Agriculture. Washington, USA. pp.http://soils.usda.gov/technical/classification/tax_keys/
- SQL. 1996. Indicators for soil quality evaluation. USDA, Natural Resources Conservation Service. Soil Quality Institute. Agricultural Research Service. USA.

- Tilman, D. 1999. Global Environmental Impacts of Agricultural Expansion: The need for sustainable and efficient practices. National Academy of Sciences of the United States of America. Vol 96 (11), pp 5995-6000.
- USDA. Departamento de Agricultura de Estados Unidos. 1999. Guía para la Evaluación de la Calidad y Salud del Suelo. Traducción de: Área de Cartografía de Suelos y Evaluación de Tierras, 2000, Argentina.
- Vandermeer, J. 2011. The Ecology of Agroecosystems. by Jones and Barlett Publishers. Massachusetts, USA.
- Zuluaga, X. 2010. Análisis Comparativo de Sistemas Productivos de Cultivo De Papa con Manejo Integrado y Manejo Convencional a Partir de Indicadores de Sostenibilidad en el Municipio de Carmen De Carupa (Cundinamarca). Trabajo de Grado. Facultad de Estudios Ambientales y Rurales. PUJ

8. Anexos

ANEXO 1. GUÍA PARA LA OBSERVACIÓN DEL AGROECOSISTEMA

FACULTAD DE ESTUDIOS AMBIENTALES Y RURALES GUÍA PARA LA OBSERVACIÓN DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN

Finca: _____

Municipio: _____

Fecha: _____

Estudiante: _____

1 Unidades fisionómicas
Número
Denominación
Lote
Tipo (Cultiv, Silv, Semis.)
Tenencia
Dimensiones
Características biofísicas
- Humedad (no riego)
- Pendiente
- Suelo (composición física, indicadores)
Descripción agronómica/tecnológica
- Arreglo - disposición
- Distancia de siembra. Abrir por sp. Cultivada
- Ciclo del cultivo. Abrir por sp. Cultivada
- Ciclo del lote (trayectoria)
Características agroecológicas
Coberturas silvestres (Adicionales para cultivos)
<i>Árboles nativos</i>
<i>Árboles introducidos (agregar tabla anexa)</i>
<i>Arbustos (agregar tabla anexa)</i>
<i>Arvenses / herbáceas</i>
Aprovechamiento de coberturas silvestres
<i>Uso de herbáceas</i>
Conexiones
<i>Conexiones al interior de la unidad fisionómica</i>
<i>Conexiones con otras unidades fisionómicas</i>
<i>Conexiones con componente pecuario</i>
<i>Conexiones con otros espacios</i>
Fugas
Servicios ambientales a la finca
Externalidades positivas y negativas

Manejo de lote
Preparación del suelo
Fecha de la última preparación
Fertilización
Fecha de la última Fertilización
Cobertura vegetal sobre el suelo%
Tiempo que el lote queda desnudo
Control de plagas y enfermedades
Control arvenses
Insidencia de plagas
Control de plagas
Control de enfermedades
Apariencia del cultivo
Riego
Tipo de Riego
Fecha del último riego
Épocas de riego
Fuente de donde proviene el riego
Distancia a la toma de agua
Ventajas del riego
Problemas con el riego

2. Espacio peridomiciliario
Dimensiones
Cultivos
Especies silvestres
Infraestructura
Animales
Otros usos

3. Infraestructura productiva
Tenencia
Denominación
Composición
Descripción (proceso)
Dimensiones
Funciones productivas
Funciones ecosistémicas
Fugas

4. Componentes cultivados
Denominación
Dimensiones
Semilla - variedad
Preparación del suelo
Siembra
Control de plagas
Control de enfermedades
Rendimiento por área
Residuos - disposición
Descripción de los excedentes

5. Componentes pecuarios
Denominación
Tenencia
Dimensiones
Tecnología
Razas
Alimentación
Confinamiento - pastoreo
Control enfermedades
Características ecosistémicas
Conexiones con cultivos
Conexiones con otros comp. Pecuarios
Conexiones con espacios (Semi) silvestre
Fugas vía agua
Fugas vía suelo
Fugas vía atmósfera

Fuente: Forero, J. (s.f.) Guía Para La Observación del Agroecosistema. Notas de Clases. Facultad de Estudios Ambientales y Rurales. Bogotá. Colombia.

Diseñada por el Grupo de estudios de sistemas de producción de la Facultad de Estudios Ambientales y Rurales de la PUJ

ANEXO 2. FORMA DE EVALUAR CADA UNO DE LOS INDICADORES

I. Indicadores del Agroecosistema

Apariencia del Cultivo

Tabla I. Apariencia del Cultivo.

Apariencia del Cultivo Clases descriptivas	Rangos de calidad	Valor en campo
Más del 50% del cultivo presenta clorosis generalizada y/u otro síntoma severo de deficiencia o desbalance nutricional.	1	
Entre un 20 al 50% del cultivo presenta clorosis generalizada y/u otro síntoma severo de deficiencia o desbalance nutricional.	2-5	
Entre un 1 al 20% del cultivo presenta clorosis generalizada y/u otro síntoma severo de deficiencia o desbalance nutricional.	6-8	
El cultivo no presenta ningún signo de clorosis o problema nutricional.	9-10	

Tomado y modificado de (Pérez, M.A. 2010).

Control incidencia de plagas y enfermedades

Tabla II. Control incidencia de plagas y enfermedades.

Control incidencia de plagas y enfermedades Clases descriptivas	Rangos de calidad	Valor en campo
Más del 50% del cultivo muestra síntomas de daño por plagas y/o enfermedades.	1	
Entre un 20 a 50% del cultivo muestra síntomas de daño por plagas y/o enfermedades.	2-5	
Entre un 5 a 20% del cultivo muestra síntomas de daño por plagas y/o enfermedades.	6-8	
Menos de un 5% del cultivo muestra síntomas de daño por plagas y/o enfermedades.	9-10	

Tomado y modificado de (Pérez, M.A. 2010).

Vegetación natural

Tabla III. Vegetación natural.

Vegetación natural Clases descriptivas	Rangos de calidad	Valor en campo
Muy baja, no hay áreas naturales en el agroecosistema.	1	
Baja, < 2 % del área total de la finca es vegetación natural, en forma de corredores y concentrada en una sola parte de la finca.	2-5	
Media, entre un 2 – 4% del área total de la finca es vegetación natural, en forma de corredores, franjas y parches y dispersos en varias partes de la finca.	6-8	
Alta, > 4% del área total de la finca es vegetación natural, en forma de corredores, franjas y parches y dispersos en varias partes de la finca.	9-10	

Tomado y modificado de (Pérez, M.A. 2010).

Diversidad Vegetal Cultivada

Tabla. IV .Diversidad Vegetal Cultivada

Diversidad Vegetal Cultivada Clases descriptivas	Rangos de calidad	Valor en campo
Baja, solo una especie o variedad por cultivada.	1	
Media, dos especie o variedades cultivadas, dominancia > 70% de una sp. o variedad.	2-6	
Alta, más de dos especies o variedades cultivadas, ninguna variedad o sp. domina más del 50% en el cultivo	7-10	

Tomado y modificado de (Pérez, M.A. 2010).

Sistema de Manejo

Tabla V. Sistema de manejo.

Sistema de manejo Clases descriptivas	Rangos de calidad	Valor en campo
El 100% de los insumos no son orgánicos y el 100% se compran.	1	
Entre un 1 – 60% de los insumos son orgánicos y/o se elaboran en finca.	2-5	
Entre un 60 – 90% de los insumos son orgánicos y/o se elaboran en finca.	6-8	
Entre un 90-100% de los insumos son orgánicos y/o se elaboran en finca.	10	

Tomado y modificado de (Pérez, M.A. 2010).

Cobertura del suelo

Tabla VI. Cobertura del suelo.

Cobertura del suelo Clases descriptivas	Rangos de calidad	Valor en campo
La totalidad del suelo está desnudo durante todo el año.	1	
El suelo tiene una cobertura entre el 1 al 40% de su área, durante por lo menos 6 meses del año.	2-5	
El suelo tiene una cobertura entre el 40 al 80% de su área, durante por lo menos 10 meses del año.	6-8	
El suelo tiene una cobertura mayor del 80% de su área, durante más de 10 meses del año.	10	

Tomado y modificado de (Pérez, M.A. 2010).

II. Indicadores Propiedades Químicas

Carbón Orgánico

Debido al área de estudio los valores aplicados a este estudio son los correspondientes al clima frío.

Tabla VII. Carbono orgánico.

Carbono Orgánico %	CLIMA FRIO			CLIMA MEDIO			CLIMA CÁLIDO		
	Valores	Apreciación	Rango de calidad	Valores	Apreciación	Rango	Valores	Apreciación	Rango
	<1.30	Extremadamente bajo	1	<0.50	Extremadamente bajo	1	<0.20	Extremadamente bajo	1-2
	1.30 - 2.60	Muy Bajo	3-4	0.50 - 1.70	Muy Bajo	3-4	0.20 - 0.50	Muy Bajo	3-4
	2.61 - 4.00	Bajo	5-6	1.71 - 2.90	Bajo	5-6	0.51 - 1.70	Bajo	5-6
	4.01 - 5.20	Aceptable	7-8	2.91 - 4.10	Aceptable	7-8	1.71 - 2.90	Aceptable	7-8
	5.21 - 6.59	Óptimo	10	4.11 - 5.39	Óptimo	10	>2.90	Óptimo	9-10
	8.09 - 6.60	Alto	9-8	5.40 - 6.49	Alto	9-8			
	8.10 - 10.00	Muy alto	5-4	6.50 - 7.60	Muy alto	5-4			
	>10.00	Extremadamente alto	2	>7.60	Extremadamente alto	2			

Tomado y modificado de Ortega, D. 1995

Grado de acidez o pH

Tabla VIII. pH del suelo.

pH Agua 1:1	Valores	Apreciación	Rango de calidad
	≤ 4,5	Extremadamente ácido	1-2
	4,6 - 5,5	Muy ácido	3-5
	5,6 - 6,0	Ácido	6-9
	6,1 - 7,3	Neutro (ideal)	10
	7,4 - 7,8	Alcalino	6-9
	7,9 - 8,4	Muy alcalino	3-5
	≥ 8,5	Extremadamente alcalino	1-2

Tomado y modificado de Ortega, D. 1995.

Capacidad de Intercambio Catiónico – CICA

Tabla IX. Capacidad de intercambio catiónico - CICA.

CIC (cmol Kg ⁻¹)	Valores	Apreciación	Rango de calidad
	<5	Muy bajo	1-2
5 - 10	Bajo	3-4	
10 - 15	Moderado	5-6	
15 - 20	Alta	7-8	
>20	Muy alta	9-10	

Tomado y modificado de Ortega, D. 1995.

Bases Totales y Saturación de Bases

El segundo se calcula: $\frac{Ca+Mg+K+Na \text{ (cmol Kg}^{-1}\text{)}}{CIC \text{ (cmol Kg}^{-1}\text{)}}$

Tabla X. Bases Totales y Saturación de Bases.

Bases Totales (cmol Kg ⁻¹)	Valores	Apreciación	Rango de calidad
	<4	Muy baja	1-2
4-8	Baja	3-4	
8 -12	Moderada	5-6	
12-16	Alta	7-8	
>16	Muy alta	9-10	
Saturación de Bases %	Valores	Apreciación	Rango de calidad
	<10	No saturado	1-2
10-35	Desaturado	3-4	
35 - 50	Ligeramente saturado	5-6	
50 - 70	Saturado	7-8	
>70	Altamente saturado	9-10	

Tomado y modificado de Ortega, D. 1995.

Fósforo (P)

Tabla XI. Fósforo.

Fósforo Bray II (mg Kg ⁻¹)	Valores	Apreciación	Rango de calidad
	<10	Muy bajo	1-2
10 - 20	Bajo	3-4	
20 - 30	Moderado	5-6	
30 - 40	Alta	7-8	
>40	Muy alta	9-10	

Tomado y modificado de Ortega, D. 1995.

Potasio (K)

Tabla XII. Potasio.

	Valores	Apreciación	Rango de calidad
Potasio (cmol Kg ⁻¹)	<0.10	Muy bajo	1-2
	0.10 - 0.20	Bajo	3-4
	0.21 - 0.30	Moderado	5-6
	0.31 - 0.40	Alta	7-8
	>0.40	Muy alta	9-10

Tomado y modificado de Ortega, D. 1995.

Aluminio de Cambio (Al)

Tabla XIII. Aluminio de cambio.

	Valores	Apreciación	Rango de calidad
Aluminio intercambiable (cmol Kg ⁻¹)	≤0.10	Muy Bajo	10
	0.10 – 0.25	Bajo	9-8
	0.25 – 0.50	Medio	7-5
	0.50 – 0.80	Alto	4-2
	≥0.80	Muy Alto	1

Tomado y modificado de Ortega, D. 1995.

III. Indicadores de propiedades Físicas

Densidad Aparente

Tabla XIV. Densidad aparente.

	Valores	Apreciación	Rango de calidad
Densidad aparente -da (g/cm ³)	≤0.7	Bajo	9-7
	0.7-0.8	Ideal	10
	0.9-1.2	Alto	6-4
	≥1.2	Muy Alto	3-1

Tomado y modificado de López, A. 2005.

Porosidad

Tabla XV. Porosidad.

	Valores	Apreciación	Rango de calidad
Porosidad %	30-35	Muy bajo	1
	35-40	Bajo	2-3
	40-45	Medio	4-6
	45-55	Alto (ideal)	9-7

	55-60	Muy Alto	10
--	-------	----------	----

Tomado y modificado de López, A. 2005.

Infiltración

Tabla XVI. Velocidad de infiltración

Velocidad de infiltración Clases descriptivas	Rangos de calidad	Valor en campo
Muy Lenta, < 1,5 cm/ hora.	1-2	
Lenta, 1,5 – 5,0 cm/ hora.	2-6	
Moderada, 5,0 – 15,5 cm/hora.	8-10	
Rápida, 15,5 – 50,0 cm/hora.	8-6	
Muy rápida, > 50,0 cm/hora.	6-3	

Tomado y modificado de (Pérez, M.A. 2010).

Estructura del Suelo

Tabla XVII. Estructura del suelo

Estructura del suelo Clases descriptiva	Rangos de calidad	Valor en campo
Sin estructura (masiva o granos sueltos) o cualquier tipo de estructura, con grado débil, tamaño muy fino y poco consistentes.	1	
Sin estructura o granular, bloques, laminar, columnar y prismática, con grado débil a moderado, tamaño fino a medio y poco consistentes.	2-5	
Granos simples, granular, bloques, laminar, columnar y prismática, con grado moderado a fuerte, tamaño medio a grande y moderadamente consistentes.	6-8	
Granular, bloques, laminar, columnar y prismática, con grado fuerte, y tamaño grande, muy grande y consistentes.	9-10	

Tomado y modificado de (Pérez, M.A. 2010).

Textura

Tabla XVIII. Textura.

	Valores	Apreciación	Rango de calidad
Textura (% de arena, limo y arcilla)	Franca	Ideal	10
	Franco arenosa	Buena	8-9
	Aproximándose o dentro de Franco limosa, Franco arcillosa o Arenosa franca	Aceptable	4-7
	Aproximándose o dentro de limosa, arcillosa o Arenosa	Regular	1-3

Control de erosión

Tabla XIX. Control de la erosión.

Control de la erosión Clases descriptivas	Rangos de calidad	Valor en campo
Control muy bajo, más del 40% de la zona de muestreo presenta cárcavas o canales y/o entre 75 al 100% del horizonte A se ha perdido.	1	
Control bajo, entre el 20 y el 40% de la zona de muestreo presenta cárcavas o canales y/o entre 20 al 40 % del horizonte A se ha perdido.	2-5	
Control medio, entre el 5 y el 20% de la zona de muestreo presenta cárcavas o canales y/o entre 5 al 20% del horizonte A se ha perdido.	6-8	
Control alto, no hay muestras de erosión.	9-10	

Tomado y modificado de (Pérez, M.A. 2010).

IV. Indicadores de propiedades Biológicas

Actividad Biológica del Suelo (invertebrados y lombrices)

Tabla XX. Actividad Biológica del Suelo

Actividad Biológica del Suelo Clases descriptivas	Rangos de calidad	Valor en campo
No se observan invertebrados, lombrices ni túneles.	1	
Se ven muy pocos invertebrados, lombrices y túneles.	2-5	
Presencia moderada de invertebrados, lombrices y túneles.	6-8	
Alta presencia de invertebrados, lombrices y túneles.	9-10	

Tomado y modificado de (Pérez, M.A. 2010).

Carbono de la biomasa microbiana

Para poder interpretar los resultados fue necesario pasar de (mgCO₂/g de suelo/48h) a (kg C en CO₂/tons de suelo por ha/24horas). Esto debido a que los únicos valores de referencia encontrados para interpretar los datos poseían dichas unidades en la guía de USDA, (1999) (Anexo 2, Tabla XXI).

Para pasar de (mg de CO₂) a (Kg de C en CO₂) se usó la fórmula:

$$\frac{(x \text{ mg } CO_2 * 1 \text{ g } CO_2 * 12 \text{ g } C * 1 \text{ Kg } C)}{1000 \text{ mg } CO_2 * 44 \text{ g } CO_2 * 1000 \text{ g } CO_2} = x \text{ Kg } C$$

Y para pasar de (100 g de suelo) a (tons de suelo por ha) se usaron los valores promediados de las muestras húmedas de la densidad aparente (660 g) en 624 cm³ (vol. Cilindro). Haciendo una relación de ese peso al volumen de una ha; que es igual a 4000m³ (10.000 m² x 0.4m de profundidad), se usó esta profundidad ya que es donde existe mayor actividad biológica. Con la siguiente fórmula:

$$\frac{660 \text{ g de suelo} * 1 \text{ ton} * 1000000 \text{ cm}^3 * 4000 \text{ m}^3}{624 \text{ cm}^3 * 1000000 \text{ g} * 1 \text{ m}^3} = \frac{4230,8 \text{ ton suelos}}{\text{ha}}$$

Ese valor obtenido (4230,8) representa el peso de una hectárea y debe ser multiplicado al valor de obtenido (Kg de C en CO₂), posteriormente dividido por 0.000001 ton que representa el gramo del laboratorio. Por último se debe dividir en dos ya que la unidad usada es en 24 horas y no en 48 horas.

Tabla XXI. Carbono de la biomasa microbiana

	Apreciación	Valores	Rangos de calidad	Valor en campo
Producción de CO2 biológico (Kg C-CO₂ /ha/24horas)	Sin actividad del suelo	0	1	
	Muy baja actividad	<10.64	2-4	
	Actividad moderadamente baja	10.64-17.92	5-6	
	Mediana Actividad	17.92-35.84	7-8	
	Actividad ideal	35.84-71.68	9-10	
	Actividad inusualmente alta	>71.68	6-8	

Tomado y modificado de USDA, 1999.

ANEXO 3. INFLUENCIA DE CADA INDICADOR ESCOGIDO SOBRE LA CALIDAD DEL SUELO

I. Indicadores del Agroecosistema

Apariencia del Cultivo

La falta de nutrientes en los suelos o si estos se encuentran desbalanceados; puede llevar a que el follaje o la apariencia general del cultivo manifiesten irregularidades, asociadas a su nutrición. Otros factores que podrían influir en la apariencia de las plantas son: condiciones climáticas, falta de drenaje, o toxicidad en los suelos por sustancias aplicadas (Pérez, M.A. 2010).

Control incidencia de plagas y enfermedades

Según Altieri, M. y Nicholls, C. (2008) un suelo sano favorece el control de plagas y enfermedades. El uso de materia orgánica como fertilizante influyen sobre la incidencia de plagas, en primer lugar porque los fertilizantes sintéticos pueden crear desbalance nutricionales en las plantas, con lo que se reduce la resistencia a las plagas. Mientras que cuando usada materia orgánica se favorece a una nutrición balanceada y a el asentamiento de fauna edáfica que puede actuar como control natural de las plagas. Por otro lado los arreglos en policultivo como es el caso de este estudio también favorecen a que no exista una explosión poblacional de las plagas (Gliessman, R. 2002).

Vegetación natural

La presencia de áreas naturales en los agroecosistemas, traen numerosos beneficios a los cultivos entre los cuales están: El refugio y movilidad de insectos, aves, y otros organismos benéficos que pueden actuar como polinizadores o control de plagas; le aporta estabilidad a las dinámicas del sistema bajo condiciones ambientales adversas, contribuye al control de la erosión, al ciclo de nutrientes entre otras (Gliessman, R. 2002; Altieri, M. 1999).

Diversidad Genética

Como mencionado en marco de referencia; los sistemas en monocultivos implican una gran intervención humana, debido a que tal simplificación del agroecosistema, desestabiliza las dinámicas naturales requiriendo numerosos subsidios para funcionar. Por esa razón los sistemas con mayor diversidad genética son más estables y sostenibles.

Sistema de Manejo

Para este indicador se entiende sistema de manejo como las prácticas y especialmente los insumos usados en los cultivos (para fertilización, control de plagas y enfermedades).

Un mal manejo o uso de agroquímicos pueden afectar los cultivos y áreas vecinas.

Como mencionado en la marco de referencia el uso excesivo de plaguicidas o fertilizantes puede generar dependencia, rompiendo con el equilibrio natural de control de poblaciones y ciclo de los nutrientes. Estos insumos también genera grandes gastos económicos para el productor (Gliessman, R. 2002; Pérez, M.A. 2010).

Cobertura del suelo

Según Pérez, M.A. (2010 p.41). “La cantidad y permanencia de las coberturas vivas o muertas (residuos orgánicos), son determinantes en el cuidado de la salud del suelo al contribuir a conservar la humedad, disminuir el impacto de la lluvia, regular la temperatura, ser refugio de organismos, reciclar nutrientes, proteger del viento y la escorrentía superficial”.

II. Indicadores Propiedades Químicas

Carbón Orgánico

Los microorganismos del suelo encuentran en la materia orgánica la mayor fuente de energía. La materia orgánica está constituida predominantemente por carbono orgánico (Ortega, D. 1995; Pérez, M.A. 2010). Por lo que este indicador representa de cierta forma la cantidad de materia orgánica del suelo, pues el factor de conversión de Duchaufour citado en (López, A. 2005) es bastante simple: $MO (\%) = CO (\%) * 1.72$ siendo MO la materia orgánica que es igual al carbono orgánico (CO) multiplicado por 1.72.

Por medio de la descomposición de los restos orgánicos los microorganismos mineralizan la materia orgánica liberando elementos minerales y gaseosos. Este proceso junto al de humificación generan complejos coloidales con nutrientes asimilables por las plantas. La acumulación de la materia orgánica o humus genera mejoras en las propiedades de los suelos (Ortega, D. 1995; Pérez, M.A. 2010; López, A. 2005). Siendo la principal fuente de macronutrientes necesarios para el crecimiento y desarrollo de las plantas (N, P, K) y de muchos otros nutrientes. Sin duda mejora la estructura del suelo, aumentando la porosidad, promoviendo la disponibilidad de agua y la aireación del suelo (Malagon, D. et al 1995; Altieri, M. 1999, López, A. 2005). La materia orgánica representa un factor crítico en los suelos ya que influye sobre casi todas la propiedades (físicas, químicas y biológicas) que definen la calidad del suelo así como en el ciclo de nutrientes (Parr, J et al. 1992; Magdoff, F. 1999; Karlen, D. et al. 1992).

Por estas razones el porcentaje de carbono orgánico es uno de los indicadores más importantes de la calidad del suelo. Y fue evaluado de la siguiente manera; tomando en cuenta que la acumulación del carbono orgánico varía en los diferentes pisos térmicos. Tendiendo a ser mayor dicha acumulación en los pisos fríos donde el metabolismo de los microorganismos es mas lento (López, A. 2005). Es importante resaltar que esta mayor acumulación no necesariamente indica mayor oferta de nutrientes y sí menor tasa de mineralización, por lo que Ortega, D. (1995) propone diferenciar los rangos y apreciaciones entre las zonas de climas fríos, medios y cálidos.

Grado de acidez o pH

La acidez del suelo es la manifestación de un exceso de iones H^+ y es una propiedad de gran importancia pues determina las características químicas, físicas y también genera impactos sobre los microorganismos del suelo (Ansorena, J. 1995).

La disponibilidad de nutrientes para la plantas está estrechamente relacionada con el pH, debido a que este regula la actividad microbiana y el proceso de mineralización. Por otro lado también limita o favorece el intercambio catiónico ya que define el signo de las cargas de iones. Regula la solubilidad y por lo tanto la disponibilidad de nutrientes. Por último indica la presencia de sustancias que podrían ser tóxicas para las plantas como el aluminio y el manganeso (Ansorena, J. 1995; Ortega, D. 1995; López, A. 2005).

El aumento de iones H^+ , que producen acidez reduciendo el pH, puede deberse a dos causas principales: 1. Alta concentración de Aluminio en el complejo de cambio cuya hidrólisis produce iones H^+ , asociado a una pérdida de cationes básicos por lixiviación. 2. El empleo de abono acidificantes o la descomposición de materia orgánica que liberan iones H^+ (Ansorena, J. 1995; López, A. 2005).

Capacidad de Intercambio Catiónico – CICA

Todos los suelos poseen cargas eléctricas. Debido a que sus componentes sólidos o coloidales retienen iones. Estos iones del complejo coloidal o complejo de cambio son intercambiados y neutralizados por iones presentes en la solución del suelo. Este proceso es denominado cambio iónico (Ortega, D. 1995; Malagon, D. et al 1995).

Se denomina Capacidad de intercambio catiónico: la suma entre los cationes retenidos en minerales y en algunos compuestos orgánicos (complejo de cambio) con los cationes de soluciones salinas y ácidas conocida como solución del suelo (estos últimos capaces de intercambiar cationes con los primeros) (Ortega, D. 1995; López, A. 2005).

Las plantas absorben sus nutrientes de la solución del suelo, a medida que van agotando los nutrientes de esta solución, el complejo de cambio (fase sólida o coloidal); va intercambiando cationes con la solución, surtiéndola nuevamente de los nutrientes extraídos. Así se mantienen en equilibrio el complejo de cambio y la solución del suelo asegurando la oferta de nutrientes, mientras existan reservas (López, A. 2005).

Sin el cambio iónico los cationes solubles generados por la mineralización de la materia orgánica y de la meteorización de los minerales del suelo, serían fácilmente lavados o lixiviados. Esto resultaría en suelos poco fértiles, ya que las raíces de las plantas no contarían una buena oferta de nutrientes (Malagon, D. et al 1995; López, A. 2005).

El pH influye en la CICA, debido a que en la mayoría de los suelos predominan las cargas negativas, sin embargo en los suelos ácidos por exceso de iones H^+ predominan las cargas positivas siendo suelos con baja CICA y de fertilidades muy bajas (Ansorena, J. 1995)

Saturación de Bases

Con bases totales del suelo nos referimos a la concentración de los iones alcalinos y alcalinoterreos (principalmente Ca, Mg, K, Na), adheridos al complejo coloidal o complejo de cambio de los suelos. Estos iones al ser positivos pueden ser intercambiados por iones de la misma carga de la solución del suelo (López, A. 2005; Ortega, D. 1995).

Estas bases representan una reserva permanente de nutrientes para las plantas, principalmente si estas se encuentran en el complejo de cambio y no en la solución del suelo, ya que en forma de solución, pueden ser fácilmente lixiviadas, o absorbidas por las plantas (Ansorena, J. 1995).

La saturación de bases establece la proporción o porcentaje de bases ligadas al complejo de cambio, para conocer su participación en el complejo y mostrar la posible disponibilidad los nutrientes mencionados anteriormente para las plantas (López, A. 2005).

$$\text{Su fórmula es: } \frac{\text{Ca} + \text{Mg} + \text{K} + \text{Na meq } 100 \text{ g suelo} * 100}{\text{CICA meq } 100 \text{ g suelo}}$$

Fósforo (P)

El fósforo es uno de los elementos esenciales para la supervivencia de las plantas. Aunque de los macronutrientes el fósforo es absorbido en menor cantidad; su presencia en el suelo es indispensable para el crecimiento y producción vegetal. Se encuentra presente en los componente estructurales de las células como; ácidos nucleicos, fosfolípidos e interfiere en los procesos de fotosíntesis, respiración, almacenamiento y transferencia de energía por encontrarse en el ATP (Vandermeer, J. 2011).

Por interferir en estos procesos vitales para las plantas; debe existir una oferta adecuada de fósforo en el suelo, pero a pesar de que el fósforo es un elemento muy abundante en los horizontes del suelo; es el segundo elemento que más limita su productividad. Esto se debe a que el fósforo suele formar compuestos de alta energía de unión con los coloides, atribuyéndole alta estabilidad en la fase sólida. Por lo tanto a pesar de que en un suelo exista alta concentración de fósforo solo una pequeña porción está disponible para las plantas (Vandermeer, J. 2011).

Potasio (K)

El Potasio en el suelo es absorbido por las plantas en grandes cantidades, siendo superado únicamente por el nitrógeno. Es un elemento de mucha movilidad dentro de las plantas, a nivel de las células y tejidos. No constituye ninguna molécula orgánica vegetal, pero interfiere en varios procesos bioquímicos activando numerosas encimas, es regulador de la presión osmótica y de la apertura de los estomas. Es de gran importancia en la fotosíntesis, en la formación de frutos, en la resistencia al frío y enfermedades de las plantas (López, A. 2005).

En la solución del suelo, el potasio es un elemento móvil y puede presentar pérdidas por lixiviación, manifestándose en suelos ácidos y con baja CICA (Malagon, D. et al 1995).

Aluminio de Cambio (Al)

La concentración de aluminio intercambiable representa la cantidad de aluminio que puede entrar en contacto con las raíces de las plantas. El aluminio en el suelo puede llegar a ser tóxico para las plantas si el suelo alcanza pH menores a 5.6; pues mientras más ácido sea el suelo mayor será la concentración de aluminio. Esto se debe a que la pérdida de bases por lixiviación es relativamente fácil y estos cationes básicos perdidos son remplazados por otros de naturaleza ácida como el H^+ y Al^{3+} . Si la pérdida de cationes básicos conlleva a alcanzar pH inferiores a 5.6, el Al^{3+} puede llegar a ser el catión predominante, hasta volverse un ciclo; pues a medida que va disminuyendo el pH va aumentando la concentración de aluminio en el complejo de cambio y así sucesivamente (Ansorena, J. 1995; Ortega, D. 1995).

Por tratarse de un elemento agrónomicamente negativo, los valores bajos de Aluminio de cambio son los valores más deseados para la calidad del suelo.

III. Indicadores de propiedades Físicas

Densidad Aparente

La densidad aparente es una relación masa/volumen, con la característica especial, que en la densidad aparente se incluye volumen y masa de los poros del suelo. Varía según la textura, estructura, contenido de materia orgánica y la compactación. La densidad aparente es una medida muy importante para el estudio de suelos, pues nos revela información sobre el espacio poroso necesario para el movimiento del agua-aire, penetración de raíces y la emersión de las plántulas (USDA, 1999; López, A. 2005).

Aquellos suelos que son más porosos, poseen una densidad aparente menor, ya que tienen una relación Masa/volumen menor, en comparación de los más compactados, donde el peso por unidad de volumen es mayor debido a que no poseen casi espacio poroso (Ortega, D. 1995).

El aumento en la densidad aparente conlleva a la disminución del espacio poroso, esto puede deberse a la reducción en el contenido de materia orgánica del suelo, la degradación de la estructura, y al uso de maquinarias pesadas. Al aumentar la densidad aparente podría aumentar la conductividad térmica y reducir la capacidad de penetración de las raíces en el suelo (Ortega, D. 1995; Malagon, D. et al 1995; López, A. 2005).

Porosidad

La textura y la estructura del suelo condicionan la porosidad. La porosidad como mencionado anteriormente determina la aireación, almacenamiento y flujo de agua en el suelo. También influye en la penetración de las raíces, permite una mejor circulación de nutrientes y favorece actividad aeróbica microbiana y de fauna edáfica (Malagon, D. et al 1995; López, A. 2005).

Sin embargo las funciones principales de los poros son ofrecer aire necesario para las raíces de las plantas y ser las vías por las cuales pasa o se almacena el agua. Para que un suelo

posea buenas condiciones de aireación, permeabilidad y retención de agua su espacio poroso debe tener en igual proporción macroporos y microporos (Malagon, D. et al. 1995).

La Materia orgánica aumenta la porosidad al igual que los suelos con contenido de arcillas, pues estas partículas favorecen la abundancia de microporos. Los suelos compactados poseen valores bajos de porosidad (Gliessman, R. 2002; Malagon, D. et al. 1995)

Infiltración

Definida por López, A. (2005 p.91) como “la velocidad a la cual el agua penetra en el suelo” y depende de la textura, estructura, contenido de materia orgánica, de la humedad, compactación, la pendiente y la cobertura del suelo (Pérez, M.A. 2010).

La densidad aparente influye en la velocidad de infiltración. A mayor infiltración: disminuye la escorrentía y por lo tanto la erosión del suelo y se aumentan las reservas de agua en el suelo. Mientras que si el agua que penetra muy lentamente genera anegamiento en lugares planos o erosión en zonas de pendiente (Malagon, D. et al. 1995; López, A. 2005; USDA, 1999).

Estructura del Suelo

La estructura, puede definirse como la disposición espacial de las partículas del suelo o como esas partículas se agrupan en configuraciones estables o agregados (peds) (Pérez, M.A. 2010). Las plantas requieren una buena estructura para que sus raíces puedan penetrar lo suficiente en busca de agua, nutrientes y aire. La estructura influye en varios procesos; como en la descomposición de la materia orgánica, flujo de aire y agua y facilita la vida de otros organismos en el suelo (Pérez, M.A. 2010; USDA, 1999).

La estructura del suelo varía bajo diferentes condiciones climáticas, la actividad biológica y las prácticas de manejo, como el arado del suelo que rompen los agregados y favorece a la erosión.

La materia orgánica favorece la estabilidad de la estructura por el poder polimerizante de sus ácidos húmicos (López, A. 2005).

Textura

La textura del suelo se entiende como la proporción que este posee de las diferentes partículas (arcilla, limo, arena). Las tres fracciones suelen estar presentes en mayor o menor proporción (López, A. 2005; Malagon, D. et al. 1995).

Cuando las partículas son de pequeño tamaño, poseen una superficie interna del suelo mayor; es decir es mayor la superficie de contacto de todas las partículas. Por otro lado a menor tamaño de las partículas, los poros también se ven reducidos (Malagon, D. et al. 1995).

La textura ideal para una buena producción, es aquella típica de suelos francos: arcilla entre el 7% - 27% y limo entre 28% - 50%. Los suelos francos ofrecen una buena retención de agua, favorece la difusión de gases, y con eso el desarrollo de las plantas (SQI. 1996).

Sabiendo que fracción predomina (Arcilla, limo o arena), se puede inferir en la fertilidad potencial, evolución del suelo y algunas características químicas (Ortega, D. 1995).

Control de erosión

Factores naturales como la lluvia, la gravedad, el viento y la escorrentía promueven la erosión o la pérdida física del suelo. Sin embargo son el manejo y las prácticas en un terreno los que condicionan que estos factores tengan un mayor o menor impacto sobre los suelos (León, T. s. f. (a)).

Las actividades humanas inciden sobre la erosión del suelo cuando es removida la cobertura vegetal, cuando se cambia la dinámica hídrica o se utiliza el arado cambiando la estructura del suelo (León, T. s. f. (a); Pérez, M.A. 2010).

IV. Indicadores de propiedades Biológicas

Actividad Biológica del Suelo (invertebrados y lombrices)

En el suelo viven una serie de organismos; los animales o fauna edáfica ejercen una función importante con respecto al ciclo de nutrientes. Estos organismos también afectan la evolución de los suelos participando de la mezcla de partículas orgánicas y minerales, en la formación de poros y agregados por materia fecal, por estas razones los organismos son considerados un factor formador del suelo (Gliessman, R. 2002, López, A. 2005).

Con respecto al ciclo de nutrientes la mesofauna y macrofauna edáfica: 1. consumen materia orgánica y la simplifican o fraccionan. 2. mezclan el suelo y aumentan la porosidad mejorando las condiciones para la mineralización de la materia orgánica. 3. aumentan la disponibilidad de nutrientes con material fecal y controlan poblaciones de microorganismos (López, A. 2005; Pérez, M.A. 2010).

En el caso específico de las lombrices su presencia nos sirve como indicador de baja o alta aplicación de agroquímicos, debido a que son muy sensibles a estas sustancias (Pérez, M.A. 2010).

Producción de CO₂ biológico

La microbiota edáfica contribuye a la mineralización de la materia orgánica, cumpliendo una función importante, pues de ella depende parte de la oferta de sales minerales y nutrientes asimilables por la planta. Influyen también en la humificación de la MO y fijación de nitrógeno por Azotobacter, Clostridium y simbiosis entre leguminosas y Rhizobium. f. lo que resulta esencial, pues como mencionado el N puede ser un factor limitante para el crecimiento de las plantas. La microbiota participa de ciclos de nutrientes de varios elementos como: C, N, S, P, Ca, Fe, Mn, entre otros (López, A. 2005; Pérez, M.A. 2010).

