

Universidad Católica del Trópico Seco
Pbro. Francisco Luis Espinoza Pineda



Trabajo de tesis para optar al título profesional de
Ingeniero Agropecuario

Efecto de la cobertura vegetal sobre parámetros
del suelo de parcelas de granos básicos,
en tres comunidades de Estelí y Yalagüina, 2017

Autor

Zamir Esaú Montenegro Benavidez

Tutora

M.Sc. Flavia María Andino Rugama

Estelí, mayo 2018

Este estudio es desarrollado conjuntamente por la Universidad Católica del Trópico Seco (UCATSE) y Catholic Relief Services (CRS – Nicaragua) a través del Proyecto Agricultura, Suelo y Agua (ASA).

Se estimula la citación. Se pueden traducir y/o reproducir extractos cortos del texto sin previo permiso, a condición de que se indique la fuente. Para la traducción o reproducción del texto total se deberá notificar de antemano a los coejecutores. Los autores son los únicos responsables del contenido y de las opiniones expresadas; la publicación no implica la aprobación por parte de CRS-Nicaragua.



INDICE

Contenido	Página
ÍNDICE DE TABLAS	iii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO.....	vi
RESUMEN	vii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	3
Objetivo general.....	3
Objetivos específicos	3
III. MARCO TEÓRICO.....	4
3.1. Agricultura de conservación.....	4
3.2. El suelo	6
3.3. Indicadores físicos de calidad de suelo.....	8
3.4. Indicadores biológicos de calidad de suelo.....	10
IV. MATERIALES Y MÉTODOS.....	15
4.1. Ubicación geográfica de la zona de estudio.....	15
4.2. Variables de estudio	17
4.3. Diseño del estudio.....	18
4.4. Procesamiento de datos	21
V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	22
5.1. Comportamiento de la humedad gravimétrica del suelo y la macrofauna en parcelas de granos básicos.....	22
5.2. Respiración del suelo en parcelas de granos básicos	32

5.3. Relación de la cobertura de rastrojos con los parámetros del suelo estudiados en parcelas de granos básicos.....	34
VI. CONCLUSIONES	36
VII. RECOMENDACIONES	37
VIII. BIBLIOGRAFÍA	38
IX. ANEXOS	41

ÍNDICE DE TABLAS

Contenido	Página
Tabla 1. Información de fincas de productores incluidos en el estudio	16
Tabla 2. Definición de variable con su operacionalización.....	17
Tabla 3. Dimensiones y manejo de las parcelas	18
Tabla 4. Análisis de varianza para humedad gravimétrica por tipo de parcela, por comunidades y profundidad de muestreo.....	24
Tabla 5. Prueba T de la humedad gravimétrica para parcelas ASA y Testigo por comunidad (valores promedio)	25
Tabla 6. Prueba T de la humedad gravimétrica para parcelas ASA y Testigo por comunidad y profundidad de muestreo (valores promedio)	26
Tabla 7 Análisis de la varianza para humedad gravimétrica (%) por comunidad y tipo de parcela	27
Tabla 8. Análisis de varianza de la humedad gravimétrica (%) considerando el manejo de la cobertura de rastrojos (años) por tipo de parcelas.....	28
Tabla 9. Estadístico descriptivo de la macrofauna del suelo, por tipo de parcelas y tiempos de muestreo.	29
Tabla 10. Prueba Wilcoxon para variables de macrofauna entre tipos de parcelas en los dos muestreos realizados (valores promedios)	31
Tabla 11. Valores promedios para respiración del suelo ($\text{mg CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{h}^{-1}$) en dos muestreos	33
Tabla 12. Análisis de varianza de la producción de CO_2 en parcelas ASA en dos muestreos.	34
Tabla 13. Correlaciones de las variables con la cobertura del suelo	35

ÍNDICE DE ANEXOS

Contenido	Página
Anexo 1. Mapa de ubicación de la zona de estudio.....	41
Anexo 2. Diseño de las parcelas por productor	42
Anexo 3. Muestreo de biomasa	42
Anexo 4. Hoja para toma de datos de biomasa y cobertura de suelo	43
Anexo 5. Muestreo de humedad del suelo.....	43
Anexo 6. Hoja para toma de datos de humedad	44
Anexo 7. Muestreo de macrofauna del suelo	44
Anexo 8. Hoja para toma de datos de macrofauna	45
Anexo 9. Toma de muestras de respiración.....	46

DEDICATORIA

Quiero agradecer primeramente a Dios, que me ha dado la vida, sabiduría, voluntad, paciencia y sobre todo la salud para culminar con éxitos mi carrera.

A mi pequeña y muy querida familia la cual son mis padres **Freddy Benito Montenegro Castillo** y **María Jacinta Benavidez Parrilla**, mi hermana **Freydell Judith Montenegro Benavidez**, quienes con mucho esfuerzo han sabido educarme, guiarme y apoyarme en todo momento, siendo esto uno de mis principales motivaciones por esforzarme en el desarrollo de mis actividades cada día.

Zamir Esaú Montenegro Benavidez

AGRADECIMIENTO

Agradezco primeramente a Dios quien es el ser que nos regala la fortaleza para concluir con nuestros sueños y a mis padres por su apoyo incondicional.

A mi tutora **M.Sc. Flavia María Andino Rugama** por haber tenido siempre la voluntad y disponibilidad para atenderme, incluso fuera de sus horas laborales, por su paciencia y sus recomendaciones en todo momento y su apoyo tan importante en toda la investigación.

Al **Ing. Juan Octavio Meneses** Córdoba, quien a través del proyecto Agricultura, Suelo y Agua (ASA) de UCATSE con CRS (Catholic Relief Service) depositó su confianza en mí para llevar a cabo esta investigación, por brindarme sus valiosas sugerencias y aportes a lo largo de la investigación.

Al personal de la Dirección de Investigación, Posgrado y Extensión (DIPE) UCATSE, y cada uno de los docentes y personas que contribuyeron a mi formación profesional a lo largo de la carrera.

RESUMEN

La investigación se realizó en las comunidades de La Libertad, municipio de Estelí, Cerro Grande y Quebrada Arriba del municipio de Yalagüina, para evaluar el uso de cobertura de rastrojos sobre parámetros del suelo en parcelas de granos básicos con tres periodos de manejo de cobertura (ASA), en comparación con parcelas de manejo tradicional (referencia), con un diseño de parcelas pareadas con nueve productores, dos parcelas de 1000 m² cada una por productor. Se midieron cobertura de suelo (%), biomasa de rastrojos, humedad gravimétrica del suelo, macrofauna >2mm y respiración del suelo, en dos muestreos en el año. En cada parcela se delimitaron tres subparcelas generando datos para porcentaje y biomasa de cobertura. La humedad fue medida a tres profundidades (0-10, 10-20 y 20-30) tomando 100g de suelo que fueron secados en horno a 105°C hasta peso constante. Se utilizó un monolito de 30x30x30 cm, contabilizando lombrices y otras especies a tres profundidades. La respiración se cuantificó por el método de la cámara cerrada con hidróxido de sodio (NaOH) por 24 horas. Se utilizó el InfoStat 2017, determinando estadísticos descriptivos, prueba T y Wilcoxon para tipos de parcelas, análisis de varianza considerando la comunidad como tratamiento y correlación de Spearman. En las parcelas ASA el porcentaje de humedad fue mayor que en las de referencia siendo estadísticamente diferentes las parcelas de Quebrada Arriba, el efecto de la cobertura sobre la humedad fue mayor a los 20 cm de suelo. El peso de la cobertura no afecta la macrofauna, pero si se correlaciona estadísticamente con la humedad. Respecto de respiración, parcelas con tres años de manejo de cobertura (8.5 ton/mz) son estadísticamente diferentes en verano, también se evidencia una correlación estadística y negativa con los años de manejo, lo que indica que, a mayor tiempo, menor será la tasa de respiración.

Palabras claves: humedad gravimétrica, respiración del suelo, macrofauna, agricultura de conservación, residuos de cosecha.

I. INTRODUCCIÓN

Con el inicio de la agricultura el hombre empezó a considerar los suelos como un medio para el desarrollo de las plantas. Esos primeros productores reconocieron las diferencias en los suelos basándose en la capacidad para producir alimentos y desarrollaron prácticas de manejo del mismo. Actualmente, los suelos son los principales medios en los cuales los cultivos crecen y producen alimentos.

En Nicaragua, existen dos grandes tipos de tierra involucradas en la producción agropecuaria. Los valles o planicies y las zonas de ladera. Hace 50 años las planicies eran muy productivas pero esta productividad se ha reducido fuertemente, al punto que muchos productores las han tenido abandonadas. Por esta y otras razones han tenido que emigrar a áreas de ladera que son más susceptibles a la erosión, provocándose considerable efectos negativos en lo ambiental, económico y social (German, 2004).

El manejo de los suelos constituye una de las prácticas más importantes en la agricultura moderna. Existen diferentes tipos de suelos con distintas propiedades físicas, cada una de ellas requiere su propia preparación, uso y conservación; estas prácticas pueden variar de acuerdo con el cultivo seleccionado para la siembra y condiciones ambientales de la zona.

La Agricultura de Conservación (AC) es una práctica importante de manejo sostenible de tierras, a condición de que los tres principios básicos, perturbación mínima del suelo (sin labranza), cobertura permanente del suelo y, una rotación de cultivos diversos o intercalados siempre se respeten. La agricultura de conservación tiene ventajas particulares en la lucha contra la erosión y mejora la infiltración y almacenamiento de agua en el suelo. Por lo tanto, es un medio de adaptación al cambio climático, en particular a la evolución de los patrones de lluvia (Bot, Benites , Jump, & Alexandra , 2015).

La zona norte del país no es la excepción de los cambios en los patrones de lluvia es por esto que los productores donde se realizó el estudio presentan diversas problemáticas en cuanto a pérdida de fertilidad y poca retención de humedad en sus parcelas por prácticas mal

implementadas obteniendo rendimientos muy bajos en sus cosechas, de manera que al establecer la utilización de rastrojo se pretende mejorar la disponibilidad de humedad en el terreno por ende mayor disponibilidad de nutrientes al momento de adoptarla.

Por eso, en la presente investigación, dentro del marco del proyecto Agricultura, Suelo y Agua (ASA) de UCATSE con CRS (Catholic Relief Service) se evaluó el efecto del uso de cobertura vegetal sobre los parámetros físicos y biológicos del suelo con tres periodos de manejo de la cobertura en parcelas de Agricultura de conservación, en comparación con parcelas de manejo tradicional de granos básicos.

La información generada es importante para que se aporte a la comprensión del papel de los rastrojos en el suelo, lo que contribuye a que los productores en las diferentes tipologías y rubros productivos implementen las prácticas y técnicas para el manejo y conservación de suelos y el agua como una alternativa para reducir la amenaza de los riesgos de desastres naturales y sequías. Así como contribuir a mejorar la rentabilidad y la sostenibilidad de sus parcelas de producción, la seguridad alimentaria de sus familias y la conservación de sus recursos naturales.

II. OBJETIVOS

Objetivo general

Analizar el efecto del uso de cobertura de rastrojos sobre parámetros del suelo (humedad gravimétrica, macrofauna y respiración) en parcelas de granos básicos con tres periodos de manejo de cobertura, en comparación con parcelas de manejo tradicional, en tres comunidades de Estelí y Yalagüina, 2017.

Objetivos específicos

Determinar el comportamiento de la humedad gravimétrica y la macrofauna en suelos de parcelas con tres periodos de manejo de cobertura de rastrojos y manejo tradicional, 2017.

Estimar la tasa de respiración del suelo en parcelas con tres periodos de manejo de cobertura de rastrojos.

Relacionar la cobertura vegetal con los parámetros del suelo estudiados en las parcelas de granos básicos.

III. MARCO TEÓRICO

3.1. Agricultura de conservación

La Agricultura de Conservación es la combinación del uso de medidas agronómicas, biológicas y mecánicas que mejoran la calidad del suelo a través de cobertura permanente del suelo; especialmente con el uso de rastrojos y cultivos de cobertura; selección juiciosa para las rotaciones de los cultivos y cultivos múltiples, agroforestería e integración pecuaria. Estos sistemas muestran que cuando la calidad del suelo mejora, aumenta la producción agrícola y disminuye la erosión del suelo.

La cubierta permanente proporcionada por los sistemas agroforestales y cultivos sembrados en suelos protegidos con rastrojos o cultivos de cobertura no sólo protege al suelo del impacto físico de la lluvia y del viento, sino que también conserva la humedad del suelo y disminuye la temperatura en las capas superficiales. Así, el suelo se convierte en un hábitat favorable para una cantidad de microorganismos, incluyendo raíces de plantas, lombrices, insectos y microorganismos, por ejemplo, hongos y bacterias.

Esta vida del suelo usa la materia orgánica de la cubierta y la recicla en humus y en nutrientes, y contribuye a estabilizar físicamente la estructura del suelo, permitiendo que el aire y el agua se filtren y se almacenen. Este proceso, que puede ser llamado «labranza biológica», incrementa fuertemente la conservación del suelo, del agua, la fertilidad y reduce la escorrentía y arrastres de tierra que son frecuentes en áreas de ladera (Lara Hernández, y otros, 2010).

3.1.1. Principios básicos de la Agricultura de conservación

La agricultura de Conservación se basa en tres principios que están estrechamente correlacionados entre si y que no deben violarse a la hora de su aplicación, no labranza del suelo, suelo permanentemente cubierto y rotación de cultivos.

3.1.2. No labranza del suelo

Para lograr el éxito de la agricultura de conservación cuando se comienza por primera vez, lo primero que debemos de hacer es corregir los factores negativos de la degradación del suelo, como compactación, drenaje, fertilidad, salinidad, hacer una buena preparación y nivelación del terreno sin surcar para que las maquinas puedan trabajar con éxitos. Existen maquinarias e implementos específicos para hacer la siembra directa o a voleo sobre la cobertura, sin hacer surcos al suelo. Estas pueden ser manuales, de tracción animal o mecanizado.

Otro aspecto a considerar de suma importancia es el control de maleza al inicio del proceso, para esto debe utilizarse un desecante u otro herbicida de rápida descomposición solo donde sea necesario utilizar (FAO, 2018).

3.1.3. Suelo permanentemente cubierto

Uno de los aspectos fundamentales de la AC, es mantener siempre el suelo cubierto, para esto debe asegurarse suficiente producción de biomasa para cubrir el suelo y satisfacer las necesidades alimentarias de humanos y animales. Es importante la utilización de cultivos comerciales con el doble propósitos, para producción de alimento y como cobertura, así como cultivos de cobertura de múltiples propósitos para lograr una buena cobertura al suelo. Es posible que se necesiten cultivos de cobertura si el periodo entre la cosecha de un cultivo y la siembra del próximo cultivo es demasiado largo. Los cultivos de cobertura mejoran la estabilidad del sistema de AC, no solo en la mejora de las propiedades del suelo, sino también por su capacidad de promover una biodiversidad aumentada en el agro-ecosistema.

Los residuos de rastrojo actúan como una cubierta protectora que atenúa la presión ejercida sobre la superficie del suelo por los tractores y los equipos de cosecha, evitando así problemas de compactación. La cobertura, tanto por residuos como por cultivos protege el suelo contra radiación solar, lluvias y vientos y temperaturas extremas. Además, alimenta a la vida del suelo y contribuye el carbono para el secuestro del mismo en el suelo. Para la parte protectora

es importante que los residuos de cultivos permanezcan en la superficie y que no se descompongan demasiado rápido. Por lo tanto, muchas veces no es recomendado picar rastrojos, sino dejarlos en forma entera (FAO, 2018).

3.1.4. Rotación de cultivos

La rotación de cultivos es necesaria en la AC con el fin de evitar el aumento de plagas, malezas o enfermedades y para asegurar un sistema de raíces que penetren en el suelo a diferentes profundidades. Esto también conduce a una extracción más equilibrada de los nutrientes del suelo.

La rotación es un sistema que consiste en alternar, en la misma época del año cultivos de coberturas o abonos verdes y cultivos comerciales en una secuencia que debe ser planificada teniendo el escenario de mercado, los precios de los productos, el capital disponible, la mano de obra entre otros. Para hacer un uso eficiente de esta práctica, ordenarla y sistematizarla en una rotación de cultivos es necesario conocer las especies idóneas para cada cultivo en la región y cuanto aporta en biomasa y nutriente al suelo.

Las plantas utilizadas como abonos verdes generalmente pertenecen a la familia de las leguminosas, por la posibilidad que tienen estas de fijar nitrógeno atmosférico en asociación con bacterias del género *Rhizobium*, aunque en los últimos tiempos se cultivan otras especies de crecimiento rápido y de buena producción de masa verde, como es el caso de algunas gramíneas, crucíferas o compuestas. En casos aún más recientes, se está recomendando usar las combinaciones de algunas de ellas o de todas juntas formando un gran cóctel (Lara Hernández, y otros, 2010).

3.2. El suelo

El suelo constituye el fundamento más importante de la producción agropecuaria y la alimentación humana, en la agricultura moderna se ha impuesto el concepto del suelo como un simple medio de producción, cuya función, en el caso más extremo, se limita a sostener

las raíces de la planta, mientras todo lo demás se añade en forma de sustancias minerales o sintéticas. Lastimosamente, hasta hoy en día se reproducen estas simplificaciones en algunos textos científicos sobre el suelo.

La ciencia del suelo o edafología define su objeto de estudio como una delgada capa superior de la corteza terrestre, donde la litosfera, es decir el material mineral original, ha sido transformada sustancialmente y se mezcla con la atmósfera, la hidrosfera y la biosfera. Eso significa que se puede hablar de suelo solamente donde estén presentes estas cuatro esferas. No existe suelo, p.ej., en un desierto donde nunca llueve, porque falta la hidrosfera y la biosfera, ni tampoco al fondo del mar, donde falta la atmósfera (Ochoa Morales y Urroz Gutiérrez, 2011).

3.2.1. Los suelos de Nicaragua

Los suelos del Pacífico de Nicaragua son de origen volcánico reciente, y localmente han sido afectados por erupciones durante los últimos 10,000 años. Como los volcanes activos están más cercanos a la costa Pacífica, donde las cenizas son llevadas por los vientos dominantes, la renovación de la fertilidad de los suelos por esta acción ha sido menor en la vertiente caribeña.

Se cree que los suelos volcánicos son todos fértiles, aunque en realidad son muy variables en calidad. Su fertilidad depende tanto de la naturaleza del material volcánico original como de su susceptibilidad hacia los procesos principales de la formación de suelos; clima (temperatura, humedad, vientos), flora, fauna, relieve y drenaje, tiempo, y el impacto humano. Su buena porosidad permite cultivar en laderas con fuertes pendientes, aunque muchos muestran deficiencias de fósforo, azufre y del micronutriente boro.

En Nicaragua, algunos suelos profundos de cenizas tienen la desventaja de drenar y secarse rápidamente, pero los suelos de las costas de los lagos de Nicaragua y Managua, con contenidos más altos de arcilla, mantienen mejor la humedad y así han sido más favorables para el cultivo. Sin embargo, hay áreas extensas del llamado talpetate en el sur de Nicaragua,

que son considerados antiguos flujos de lava. El talpetate forma una capa relativamente impermeable cuya profundidad puede variar desde muy cerca de la superficie a dos metros en un área muy pequeña. El talpetate puede impedir el crecimiento de raíces, limitando la capacidad de cultivos y árboles de aguantar periodos secos. Los vientos también pueden causar erosión en suelos al descubierto, en particular en topografías planas o de pendiente moderada. En el noroeste de Nicaragua (zona de León y Chinandega) se han presentado problemas graves con erosión por viento, rompe vientos para reducirla. (Boshier, 2004).

3.2.2. Calidad de suelos

El comité de la sociedad de la ciencia del suelo americana define la calidad del suelo como la capacidad funcional de un tipo específico de suelo para sustentar la productividad animal o vegetal, mantener o manejar la calidad del agua y el aire y sostener el asentamiento y salud de los humanos con límites naturales o determinados por el manejo la calidad del suelo incluye los conceptos de capacidad productiva del suelo y la protección ambiental las funciones específicas representadas por la calidad del suelo incluyen:

1. Captar, mantener y liberar nutrientes y otros compuestos químicos.
2. Captar, mantener y liberar agua a las plantas y recargar las capas subterráneas.
3. Mantener un hábitat edáfico adecuado para la actividad biológica del suelo.

La calidad del suelo es dinámica puede cambiar en el corto plazo de acuerdo al uso y a las prácticas de manejo, para conservarla es necesario implementar prácticas sustentables en el tiempo que se aproveche el suelo (Karlen, Mausbach, Cline y Harris, 2000).

3.3. Indicadores de calidad de suelo

En el estudio de las características del suelo, es importante entender su calidad y cómo ésta determina su manejo hacia la sostenibilidad del recurso, lo que implica la aplicación de una agricultura sostenible y la toma de decisiones de políticas de uso del suelo.

3.3.1. Indicadores físicos de la calidad del suelo

Están conformadas por agua, temperatura, porosidad, densidad. Las propiedades físicas suelos, determinan en gran medida, la capacidad de muchos de los usos a los que el hombre los sujeta. La condición física de un suelo, determina, la rigidez y la fuerza de sostenimiento, la facilidad para la penetración de las raíces, la aireación, la capacidad de drenaje y de almacenamiento de agua, la plasticidad, y la retención de nutrientes.

Se considera necesario para las personas involucradas en el uso de la tierra, conocer las propiedades físicas del suelo, para entender en qué medida y cómo influyen en el crecimiento de las plantas, en qué medida y cómo la actividad humana puede llegar a modificarlas, y comprender la importancia de mantener las mejores condiciones físicas del suelo posibles (Fertilab, 2014).

Una causa importante de la baja producción y del fracaso de los cultivos en la agricultura de secano en los trópicos es la lluvia escasa y errática. Sin embargo, en muchas áreas el manejo de tierras y cultivos no favorece el flujo del agua en la zona radical del cultivo. Por ello, los rendimientos pobres están relacionados con una insuficiencia de la humedad del suelo más que con una insuficiencia de la lluvia.

La agricultura de secano, tropical y subtropical, dependen de un adecuado suministro de agua en la zona radical del suelo. Se ha estimado que el agua del suelo limita la producción de los cultivos en aproximadamente tres cuartas partes de los suelos cultivables del mundo y es el principal factor responsable de los bajos rendimientos en las temporadas secas y en los trópicos y subtrópicos semiáridos.

La agricultura de secano, tropical y subtropical, dependen de un adecuado suministro de agua en la zona radical del suelo. Se ha estimado que el agua del suelo limita la producción de los cultivos en aproximadamente tres cuartas partes de los suelos cultivables del mundo y es el principal factor responsable de los bajos rendimientos en las temporadas secas y en los trópicos y subtrópicos semiáridos.

Uno de los indicadores físicos de la calidad d suelos que se suele utilizar es la humedad gravimétrica; Se refiere al contenido de agua en una cantidad determinada de suelo, se representa como un porcentaje en peso, se refiere a la masa de agua contenida por unidad de masa de sólidos del suelo (como se cita en Dominguez, 2011 p.10 y 11) . La fórmula es

$$\%HG = \frac{PSH - PSS}{PSH} * 100$$

Donde

%HG: Humedad gravimétrica

PSH: Peso húmedo

PSS: Peso seco

3.3.2. Indicadores biológicos de calidad de suelo

Las propiedades biológicas del suelo son muy importantes, ya que está constituida por la micro fauna del suelo, como hongos, bacterias, nematodos, insectos y lombrices, los cuales mejoran las condiciones del suelo acelerando la descomposición y mineralización de la materia orgánica, además que entre ellos ocurren procesos de antagonismo o sinergia que permite un balance entre poblaciones dañinas y benéficas que disminuyen los ataques de plagas a las plantas (Micheli y Díaz, 2007).

La importancia de la evaluación de las propiedades biológicas del suelo, se relaciona estrechamente con la descomposición de la materia orgánica derivada de los residuos vegetales y animales, así como del reciclaje de la misma, ya que los subproductos de su acción influyen de forma directa en las propiedades físicas y químicas de los suelos Astier Calderon , Maass Moreno y Etchvers Barra (2002) Generalmente se refieren a la abundancia y subproductos de los organismos, incluidos bacterias, hongos, nematodos, lombrices, anélidos y artrópodos.

Las propiedades biológicas del suelo son muy dinámicas por lo que tienen la ventaja de servir de señales tempranas de degradación o de mejoría del suelo, Doran, Sarrantonio y Liebig,

(1996.) Seleccionaron como indicadores biológicos al carbono y nitrógeno de la biomasa microbiana, el nitrógeno potencialmente mineralizable y la respiración del suelo. Además, consideran como indicadores biológicos a la población de lombrices y el rendimiento de los cultivos. Las propiedades biológicas y bioquímicas (respiración del suelo, biomasa microbiana, microorganismos y otros) son más sensibles y son parámetros valiosos en la interpretación de la dinámica de la materia orgánica y los procesos de transformación de los residuos orgánicos. Además, dan rápida respuesta a los cambios en el manejo del suelo, son sensibles al estrés ambiental y fácil de medir.

Otro indicador del balance de la actividad metabólica de los microorganismos en los suelos es la actividad enzimática; la estimación de las enzimas implicadas en los ciclos del C, N y P permite el cálculo de la diversidad funcional de las comunidades microbianas en el suelo. Esto debido a que la biomasa microbiana expresa la cantidad de organismos que viven en el suelo generalmente más pequeño a 10µm, principalmente hongos y bacterias que tienen una relación con el flujo de energía y transferencia de nutrientes en los ecosistemas terrestres.

A pesar de sus limitaciones, la respiración continúa siendo el parámetro más utilizado como indicador de la actividad microbiana y de la descomposición de sustratos específicos del suelo. Estos parámetros indican de manera fehaciente la mineralización que ocurre en el sustrato orgánico del suelo y son indicadores de la calidad de la materia orgánica y salud del suelo. Así, los parámetros biológicos aportan información relacionada con la actividad metabólica que existe en el suelo, pues son los que mantienen una mayor sensibilidad frente a los procesos no deseables como la contaminación o el manejo inadecuado del mismo (Navarrete Segueda, Vela Correa, López Blanco y Rodríguez Gamiño, 2011).

1) Respiración del suelo

La respiración del suelo se define como la producción total de CO₂, por unidad de área y de tiempo y se debe a la respiración de organismos edáficos, raíces y micorrizas y en menor extensión, a la oxidación bioquímica de los compuestos de carbono. Esta actividad

metabólica se mantiene debido al equilibrio dinámico que existe entre las entradas de materia orgánica, procedente de la biomasa y del sistema radicular de la vegetación las salidas por descomposición de la hojarasca y su eventual acumulación en el suelo (Murcía Rodríguez y Ochoa Ryes, 2008).

Ochoa Morales & Urroz Gutiérrez (2011). Determinaron la actividad microbiana como indicador biológico del suelo, los resultados muestran que en el departamento de León tiene una mayor tasa de respiración basal con 180 μg de CO_2 /gr de suelo/día, en comparación al departamento de Chinandega que obtuvo un máximo de 70 μg de CO_2 /gr de suelo/día. La actividad microbiana relacionada con el tipo de manejo de los suelos, demuestra que la menor actividad se presenta en suelo bajo sistemas convencionales.

Por otra parte, Erenstein, Sayre, Wall y Hellin (2012) compararon tres casos contrastantes de la adopción de Agricultura de conservación (AC) por pequeños agricultores en el subtrópico en Asia meridional, sur de África y centro de México. Los sistemas de AC se desarrollan mejor *in situ* a través de un proceso de aprendizaje adaptable de múltiples partes interesadas para crear opciones viables basadas en CA que sean técnicamente sólidas, económicamente atractivas y socialmente aceptables, no obstante, resaltan los desafíos para su adaptación por lo que necesita ajustes a las condiciones de los pequeños agricultores.

La respiración edáfica juega un papel crítico en la determinación de un amplio rango de fenómenos ecológicos que van desde el funcionamiento individual de las plantas hasta la concentración global del CO_2 atmosférico. La respiración del suelo está regulada por una serie de factores bióticos y abióticos tales como la temperatura, el contenido hídrico, el inventario de nutrientes, la estructura de la vegetación, la actividad fotosintética o el desarrollo fenológico de la planta (Reyes, Murcia y Ochoa, 2008).

La respiración del suelo se define como la producción de CO_2 , debido a dos procesos, la ruptura u oxidación de la materia orgánica, rica en carbono por medio de los microorganismos del suelo, y la respiración de las células de las raíces de las plantas. La tasa de producción de CO_2 es científicamente importante porque nos da una indicación de la tasa de descomposición de la materia orgánica y por tanto de la cantidad que se pierde de carbono

del suelo. Las medidas de la respiración del suelo ayudan a determinar la contribución del suelo al balance del CO₂ en la atmósfera.

La tasa de producción de CO₂ es científicamente importante ya que nos da una indicación de la tasa de descomposición de la materia orgánica y por tanto de la cantidad que se pierde de carbono del suelo. Las medidas de la respiración del suelo ayudan a determinar la contribución del suelo al balance del CO₂ en la atmósfera. El carbono, un elemento esencial para el crecimiento de las plantas, se obtiene de la atmósfera por medio de la fotosíntesis; Sin embargo, cuando las plantas mueren, sus tejidos ricos en carbono vuelven al suelo y son descompuestos por los organismos vivos (Lessard L., Gignac y Rochette, 2010).

Las propiedades biológicas del suelo son muy importantes, ya que está constituida por la macrofauna del suelo, como hongos, bacterias, nematodos, insectos y lombrices, los cuales mejoran las condiciones del suelo acelerando la descomposición y mineralización de la materia orgánica, además que entre ellos ocurren procesos de antagonismo o sinergia que permite un balance entre poblaciones dañinas y benéficas que disminuyen los ataques de plagas a las plantas (Martínez, 2014).

2) La macrofauna del suelo

Nuestros sistemas agrícolas tienen gran influencia sobre los organismos del suelo, incluyendo sus actividades y su biodiversidad. El aclareo de terrenos forestales o pastizales para el cultivo afecta al entorno del suelo y reduce drásticamente la cantidad y número de especies de organismos del mismo. Una disminución del número de especies vegetales con diferentes sistemas de raíces, de la cantidad y calidad de sus residuos, o del contenido de materia orgánica del suelo, limita la variedad de hábitats y alimentos para los organismos del suelo. Si bien la utilización de insumos externos especialmente fertilizantes inorgánicos y plaguicidas puede mitigar algunas de las limitaciones de los suelos para la producción de cultivos, el uso excesivo o abusivo de productos agroquímicos ha degradado el medio ambiente, especialmente los recursos hídricos y el suelo.

La calidad y la salud de los suelos condicionan en gran medida la producción y sostenibilidad agrícolas, la calidad medioambiental y, como consecuencia de ambas, afectan a la salud vegetal, animal y humana. Mejorar la biodiversidad de los suelos es vital para garantizar la salud de los mismos y la seguridad alimentaria y nutricional futuras.

Los sistemas agrícolas y las prácticas agroecológicas que prestan gran atención a nutrir la biodiversidad del suelo como la agricultura orgánica, la labranza cero, la rotación de cultivos y la agricultura de conservación, pueden aumentar de manera sostenible la productividad agrícola sin degradar los recursos hídricos y del suelo. (FAO, 2015)

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Ubicación geográfica de la zona de estudio

El estudio investigativo se realizó en las comunidades de La Libertad del municipio de Estelí y Cerro Grande y Quebrada Arriba de Yalagüina. La comunidad La Libertad está ubicada a 6.45 km de la carretera panamericana norte con las coordenadas 13°, 16', 02.43" N y 86°, 23'30.43" E. Las comunidades de Quebrada arriba y Cerro grande se localizan en el municipio de Yalagüina ubicado a 204 km de la ciudad capital Managua en las coordenadas 13°29'8.64"N, 86°29'39.75"O.

En estas comunidades se tiene como principal actividad económica la agricultura de granos básicos en rotación, maíz de primera más frijol de relevo en postrera (anexo 1), están ubicadas en el corredor seco con dos ciclos de cultivos en el año. Sus suelos son de reciente formación, muy superficiales; Molisoles o Entisoles, identificados como suelos de formación intermedia de buena fertilidad. En su mayoría son suelos sobreutilizados, de uso potencial forestal, agroforestal, o de conservación en zona seca.

Todos los productores tienen de uno a tres años de estar implementado Agricultura de Conservación (AC) en parcelas de granos básicos, bajo el proyecto de Agricultura, Suelo y Agua (Proyecto ASA) que se ejecuta en alianza de CRS con UCATSE y FIDER. Las fincas de estos productores seleccionados y su información se detallan en la tabla 1.

Tabla 1. Información de fincas de productores incluidos en el estudio

Municipio	Comunidad	nombre del productor	Coordenadas	
			Latitud	Longitud
Estelí	La Libertad	1 Erlinda Peralta Rizo	565591	1468169
		2 Julio Peralta Olivas	565532	1468065
		3 Santos Gustavo Olivas Peralta	565430	1467362
Yalagüina	Quebrada arriba	4 Álvaro Cruz	133032	863106
		5 Federico Cruz	133032	863105
		6 Santos Inestroza	133012	863103
		7 William Aguirre	133007	863104
	Cerro grande	8 Santos Jorge Vargas	133007	863113
		9 Justo Casco	132959	863109

4.2. Variables de estudio

Tabla 2. Definición de variable con su operacionalización

Variable	Definición	Medida de expresión	Fuente	Instrumento
Cobertura de suelo	Comprende todos los aspectos que hacen parte del recubrimiento de la superficie terrestre, de origen natural o cultural, que sean observados y permitan ser medidos	$\% \text{ cobertura suelo} = N^{\circ} \text{ nudos} \frac{* 100}{10}$	Parcela	Hoja de campo
Biomasa de rastrojos	Material orgánico que se encuentra en un área viva o muerta	Toneladas por hectárea	Parcela	Hoja de campo
Humedad gravimétrica del suelo	Es la relación entre la masa de la fracción líquida y la masa de fracción sólida generalmente se expresa en porcentaje, medida en tres estratos 0-10, 10-20 y 20-30	$\%HG = \frac{PSH - PSS}{PSH} * 100$ Donde PSH: peso húmedo PSS: peso seco	Parcelas	Hoja de cálculo
Macrofauna >2mm	Se refiere a las formas de vida animal de ancho menor a 2 mm	Peso en gramos por unidad volumétrico de suelo	Parcelas	Hoja de Campo
Respiración de Suelo	Se define como la producción de CO ₂ debido a dos procesos: la ruptura, u oxidación, de la materia orgánica rica en carbono por medio de los microorganismos del suelo.	MgCO ₂ / m ² /h	Parcela	Hoja de campo

4.3. Diseño del estudio

El estudio es de tipo descriptivo, utilizando un método mixto cuanti-cuali, porque se ha realizado un detalle de las principales características de los procesos estudiados con relación a lo que está sucediendo en el suelo bajo el manejo de cobertura con rastrojos de cosecha, con respecto a humedad gravimétrica, macrofauna y respiración del suelo. El diseño que se utilizó para el establecimiento del estudio es el de parcelas pareadas, con los tratamientos:

- parcela de referencia (testigo - manejo tradicional).
- parcela ASA (aplicación de prácticas de agricultura de conservación).

Son dos parcelas por productor para un total de 18 parcelas. En cada parcela se desarrollan actividades con el establecimiento del cultivo de maíz y frijol, tal como se indica en la tabla 3. Se definieron dos parcelas por productor para un total de 18 parcelas; por lo que una de las primeras actividades fue la de delimitar cada una de las parcelas tanto testigo como de estudio tomando en cuenta que se trabajó con 1,000m² por cada parcela (anexo 2).

En la parcela de estudio de cada productor se implementaron actividades y prácticas para la conservación de suelos y agua, mientras que en la parcela testigo el productor realizó el manejo tradicional que ha hecho durante su vida.

Tabla 3. Dimensiones y manejo de las parcelas

Tamaño parcela (m²)	Prácticas que se implementaron en la parcela de estudio (parcela ASA)	Prácticas que se implementaron en la parcela con manejo tradicional (parcela testigo)
1000	Labranza cero, rotación de cultivos (maíz y frijol), abonos verdes (como asocio para aumentar biomasa) Fertilización química con plan de fertilización (macro y micronutrientes) Manejo de la cobertura de 1.8, 5.3 y 8.5 tn/mz	El productor realiza el manejo tradicional que ha hecho todo el tiempo.

Se usó la técnica de observación, utilizando hoja de campo como instrumento para el registro de la información según las funciones y alcances de las variables en estudio. Se monitorearon de forma permanente el comportamiento de las variables de ambas parcelas en estudio. La toma de datos se realizó de la manera como se explica a continuación.

4.3.1. Muestreo del peso de biomasa de cobertura depositada

Para la toma de biomasa en las parcelas, las muestras se tomaron de tres puntos, uno en la parte alta, otro en la parte media y por último en la parte baja. Para esta toma de muestra se seleccionó un punto al azar donde se marcó un metro cuadrado, dentro de este metro se recogió toda la biomasa seca del suelo que estaba dentro del metro cuadrado y se procedió a pesar la muestra, expresando el dato en kg/ha (anexo 3 y 4).

Si había vegetación verde dentro del metro cuadrado, se procedió a cortarlo. Luego fue llevado al laboratorio, para secarlo en horno a 75°C por 24 horas y se pesó para obtener el peso seco, los datos se registraron en una hoja de campo (Espinoza, 2014).

4.3.2. Muestreo de cobertura vegetal

Para la toma de datos de cobertura vegetal del suelo se procedió a utilizar una cuerda de 5 m de largo, que consta de 10 puntos marcados cada 50 centímetros. Se procedió a tirar la cuerda contando los puntos que contengan cobertura vegetal para sacar el porcentaje total de cobertura presente (anexo 3 y 4). Esto se realizó en las tres áreas identificadas en cada parcela los datos se tomaron en una hoja de campo como lo propone (Pulido Fernandez, Lavado Contador y Schnabel, 2011).

4.3.3. Muestreo de humedad gravimétrica del suelo

Se definieron tres puntos de muestreo por cada parcela, tanto experimental como testigo en las partes alta, media y baja. En estas, se tomaron las muestras de suelo de aproximadamente 100 g considerando tres profundidades de 0-10, 10-20 y 20-30 cm, para totalizar nueve muestras de suelo por cada parcela, 18 muestras por productor (anexo 5 y 6).

Se tomaron las muestras en dos estaciones del año invierno y verano en los meses de julio y noviembre, estas fueron llevadas al laboratorio y posteriormente se secaron en el horno a una temperatura de 105°C por un periodo de 24 horas o hasta que la tierra presentó un peso constante, los datos se registraron en una hoja de campo Espinoza (2014). Luego se pesó y se utilizó la fórmula descrita para determinar la humedad.

4.3.4. Muestreo de macrofauna del suelo

Para la recolecta, conteo de especies existentes en suelo de las parcelas, se realizaron tres monolitos con dimensiones de 30x30x30 cm por cada parcela en las partes alta, media y baja siguiendo lo propuesto por CIAT (2011). Se contaron las especies presentes a diferentes profundidades de 0-10, 10-20 y 20-30, para agruparlas por estrato de suelo diferenciando al grupo de lombrices y al de otras especies. Se tomó el peso vivo de cada grupo (en gramos), los datos obtenidos se detallaron en una hoja de campo en dos estaciones del año invierno y verano en los meses de julio y noviembre (anexo 7 y 8).

4.3.5. Toma de información sobre la respiración

La respiración de suelo se midió en dos momentos, a finales de julio de 2017 y a inicios de noviembre 2017. La prueba se realizó por 24 horas. Se utilizó hidróxido de sodio (NaOH, 1N) ya que presenta baja solubilidad en agua, lo que dificulta que en la solución se disponga de la masa estequiométrica requerida para la captura del CO₂, el NaOH, después de reaccionar produce carbonato de sodio (Na₂CO₃). El éxito de esta operación depende en gran medida de la eficiencia del contacto entre el CO₂ y el hidróxido de sodio. Para esto, se utilizó la metodología propuesta por (Lessard L., Gignac y Rochette, 2010).

Se necesitaron cámaras de aire, una por muestra: tomando cubos de plástico de 1.5 litros con aproximadamente 14 cm de diámetro y 14 cm de altura, en donde se colocaron recipientes con una solución de hidróxido de sodio (NaOH, 1N), uno por muestra (pequeños recipientes de aproximadamente 4 cm de diámetro y una altura de 5 cm aproximadamente). Se puede usar cualquier recipiente pequeño de plástico; sin embargo, para maximizar la absorción del CO₂, la boca del recipiente del NaOH debe ser mayor que el 26% de la abertura de la cámara de aire, un frasco con tapón para cada muestra (anexo 9). Seguido de la recolección, las muestras

se trasladaron al laboratorio, en donde se estimó la cantidad de CO₂ por colorimetría con BaCl₂, fenolftaleína y HCl. Se cuantificó la cantidad de CO₂ absorbido por el NaOH. Con este dato se calculó la respiración del suelo como la tasa de producción de CO₂ por superficie durante un período de tiempo dado.

4.4. Procesamiento de datos

Para el procesamiento de los datos se diseñaron bases en Microsoft Excel, luego se procedió al análisis en el Software estadístico InfoStat 2017 versión estudiantil. Se realizó prueba de Shapiro-Wilks determinando normalidad para humedad gravimétrica y respiración, mientras que macrofauna no presentó normalidad.

Se obtuvieron estadísticos descriptivos para macrofauna y respiración. Se consideró el tipo de parcela y la comunidad como tratamiento para realizar comparaciones con la prueba T y análisis de varianza respectivamente para las variables de humedad gravimétrica y respiración. En respiración se consideró, además, los años de manejo de rastrojos como tratamiento.

En macrofauna se utilizó la prueba de Wilcoxon para la comparación de los dos tipos de parcelas. Los resultados se describen considerando los dos tipos de parcelas, los tres estratos y los dos muestreos en dependencia de la variable. Por último, se estableció la relación de las variables estudiadas con el periodo de manejo de los rastrojos y el peso de la biomasa de cobertura, utilizando el coeficiente de correlación de Spearman, mostrando los resultados para aquellas variables con una correlación estadísticamente significativa.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Agricultura de Conservación (AC) se basa en el concepto fundamental del manejo integrado del suelo, del agua y de todos los recursos agrícolas. Su característica principal es que, bajo formas específicas y continuadas de cultivo, la regeneración del suelo es más rápida que su degradación, de modo que la intensificación de la producción agrícola es económica, ecológica y socialmente sostenible.

5.1. Comportamiento de la humedad gravimétrica del suelo y la macrofauna en parcelas de granos básicos

5.1.1. Humedad gravimétrica del suelo en parcelas de granos básicos

Con respecto a la humedad gravimétrica, se analizaron los valores para las parcelas ASA y testigo de manera separada por comunidad. Las parcelas con manejo de cobertura (ASA) presentan por lo general, mayores valores en las tres comunidades. Entre ambos tipos de parcela se observa una diferencia entre las medias para humedad del 0.05% al 8.17%, en los tres estratos estudiados (0-10, 10-20, 20-30 cm).

Los valores de la humedad gravimétrica en el primer estrato (0-10cm) para las parcelas ASA de la comunidad Quebrada Arriba son mayores al resto con un 30.39% y los valores más bajos están en la comunidad Cerro Grande con un 21.99% Tabla 4. De acuerdo al análisis de varianza las parcelas experimentales (ASA) de (0-10cm) son estadísticamente diferentes con una $p\text{-valor} < 0.05$ ($p\text{-valor} = 0.0192$) y dos grupos estadísticos.

En la segunda profundidad muestreada (10-20cm), estas mismas parcelas reflejan que las comunidades de La Libertad y Quebrada Arriba presentan los valores más altos con un 27.86% y 29.71% respectivamente, existiendo diferencias estadísticas significativas con una $p\text{-valor} < 0.05$ ($p\text{-valor} = 0.00187$), con dos grupos estadísticos, diferenciándose la comunidad de Cerro grande con el valor más bajo Tabla 4. Mientras que en la última profundidad muestreada

(20-30cm), según el análisis de varianza no se presentan diferencias estadísticas entre las parcelas ASA con una p-valor > 0.05 (p-valor = 0.0727).

Comportamiento diferente muestran las parcelas testigo, ya que en los estratos de 0-10cm y 10-20cm, la humedad gravimétrica del suelo no presenta diferencias estadísticas significativas con una p-valor > 0.05 (p-valor = 0.9656 y 0.0727 respectivamente). Pero, de acuerdo al análisis de varianza en el estrato 20-30 cm, la comunidad La Libertad presenta 29.86% de humedad gravimétrica, valor que es estadísticamente diferente al de las otras dos comunidades con una p-valor= 0.0041 Tabla 4.

Esto indica que, el uso de la cobertura vegetal aumenta la humedad gravimétrica del suelo en las tres profundidades estudiadas para las parcelas ASA con relación a las parcelas de manejo tradicional, lo que puede estar determinado por el tiempo de manejo de cobertura vegetal, ya que las parcelas de Quebrada arriba son las que tienen más años de manejo y son las que estadísticamente se diferencian en las dos primeras profundidades, lo que no sucede con las parcelas testigo. Esto se sustenta en el hecho de que, es a los 30cm que la humedad es mayor en las parcelas testigo de la comunidad La Libertad, debido a que las condiciones edafoclimáticas de esta zona son mejores.

Esto lo explica Martínez González, Sosa Pérez y Ortiz Medel (2010) quienes plantean que existen correlaciones significativas entre el incremento de humedad y el grosor del horizonte “A” ($r = 0.48$), lo cual puede indicar que a mayor grosor del horizonte “A”, mayor incremento de humedad. Esto corrobora el comportamiento de la humedad en las parcelas testigo; pero efecto que es modificado por el uso de cobertura, observándose las diferencias en las parcelas ASA en las tres profundidades estudiadas.

Tabla 4. Análisis de varianza para humedad gravimétrica por tipo de parcela, por comunidades y profundidad de muestreo

Municipio	Comunidad	Parcela ASA			Parcela testigo		
		Medias	E.E	p-valor	Medias	E.E	p-valor
Profundidad de muestreo 0 -10 cm							
Yalagüina	Quebrada Arriba	30.39 b	2.13	0.0192	22.22	1.94	0.9656
	Cerro Grande	21.99 a	2.13		22.05	1.94	
Estelí	La Libertad	22.90 a	2.13		22.75	1.94	
Profundidad de muestreo 10 -20 cm							
Yalagüina	Cerro Grande	21.55 a	1.97	0.0187	20.43	1.97	0.0727
	Quebrada Arriba	29.71 b	1.97		22.21	1.97	
Estelí	La Libertad	27.86 b	1.97		26.97	1.97	
Profundidad de muestreo 20 -30 cm							
Yalagüina	Cerro Grande	23.42	2.22	0.0531	20.50 a	1.90	0.0041
	Quebrada Arriba	28.11	2.22		22.06 a	1.90	
Estelí	La Libertad	31.48	2.22		29.86 b	1.90	

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

También se realizó una prueba T para comparar el comportamiento de la humedad en las parcelas ASA y testigo por comunidad, observándose de la tabla 5, que las parcelas ASA tienen valores más altos; pero, además, en Quebrada Arriba las parcelas ASA son estadísticamente diferentes al testigo con una $p\text{-valor} < 0.05$ ($p\text{-valor} = 0.0001$). Al contrario de las parcelas de Cerro Grande y La Libertad que presentan un comportamiento estadísticamente similar con una $p\text{-valor} > 0.05$ ($p\text{-valor} = 0.0604$ y 0.4314 respectivamente).

La diferencia entre las parcelas de la comunidad de Quebrada Arriba puede estar asociada al manejo que se le ha dado a la cobertura durante los últimos tres años y a la cantidad de biomasa que se ha incorporado a las parcelas experimentales (ASA) ya que los testigos se han trabajado con un manejo tradicional.

Se ha indicado que la cubierta permanente proporcionada por cultivos sembrados en suelos protegidos con rastrojos o cultivos de cobertura no sólo protege al suelo del impacto físico de la lluvia y del viento, sino que también conserva la humedad del suelo y disminuye la temperatura en las capas superficiales (Lara Hernández, y otros, 2010).

Tabla 5. Prueba T de la humedad gravimétrica para parcelas ASA y Testigo por comunidad (valores promedio)

Municipio	Comunidad	Humedad gravimétrica (%)		Diferencia de medias	Valor T	p-valor bilateral
		ASA	Testigo			
Yalagüina	Cerro Grande	24.79	20.91	3.88	1.91	0.0604
	Quebrada arriba	28.01	22.92	5.10	4.56	0.0001
Estelí	La Libertad	27.41	26.53	0.89	0.79	0.4314

Comparando el comportamiento de la humedad a diferentes profundidades entre parcelas ASA y testigo, se determinó que la humedad gravimétrica aumenta o es estable conforme la profundidad en ambos tipos de parcelas Tabla 6. Las diferencias entre las medias tienen un comportamiento creciente en las parcelas de Cerro grande y La Libertad, caso contrario sucede con las parcelas de Quebrada arriba, lo que implica que, a mayor biomasa y mayor tiempo de manejo de la cobertura, se favorece un incremento de la humedad gravimétrica en las capas superficiales del suelo (0-20cm).

Esto contrarresta los efectos de la sequía durante la etapa de establecimiento del cultivo el cual puede matar las plantas jóvenes y reducir la densidad de población. El principal efecto de la sequía en el período vegetativo es reducir el crecimiento de las hojas, de tal modo que el cultivo intercepta menos radiación solar. El maíz es muy sensible al estrés hídrico, y el rendimiento de grano puede ser seriamente afectado. Durante el llenado de granos, el principal efecto de la sequía es reducir el tamaño de éstos, por lo cual el uso de la cobertura vegetal se podría tomar como una medida de adaptación al cambio climático además contribuye con la salud del suelo. (Lafitte, 1994)

No obstante, se observa de la tabla 6, que solamente las parcelas ASA y testigo son estadísticamente diferentes en la comunidad de Quebrada arriba, tanto en los 0-10cm como en los 10-20 cm (p-valor = 0.0014 y 0.0302 respectivamente). Como anteriormente se ha mencionado, la cobertura vegetal tiene mayor efecto sobre la humedad en los primeros 20 cm de profundidad muestreado, lo que concuerda con los resultados presentados en la Tabla 4 y se confirma el efecto de la cobertura vegetal sobre la humedad en los primeros 20 cm de suelo. Estas prácticas dan respuesta a la demanda de agua del suelo en áreas de pequeños productores del trópico seco, de igual manera responde a los requerimientos del cultivo de granos básicos, ya que las raíces de las plantas no son muy profundas y necesitan de humedad lo más cercana a la superficie.

Tabla 6. Prueba T de la humedad gravimétrica para parcelas ASA y Testigo por comunidad y profundidad de muestreo (valores promedio)

Municipio	Comunidad	Media de la Humedad gravimétrica (%)		Diferencia de medias	Valor T	p-valor bilateral
		ASA	Testigo			
Profundidad de muestreo 0 -10 cm						
Yalagüina	Cerro Grande	24.79	21.97	2.82	0.75	0.4618
	Quebrada arriba	28.98	22.47	6.52	4.35	0.0014
Estelí	La Libertad	22.90	22.75	0.15	0.13	0.8963
Profundidad de muestreo 10 -20 cm						
Yalagüina	Cerro Grande	24.02	20.36	3.66	1.06	0.3019
	Quebrada arriba	28.86	23.25	5.62	2.52	0.0302
Estelí	La Libertad	27.86	26.97	0.89	0.64	0.5298
Profundidad de muestreo 20 -30 cm						
Yalagüina	Cerro Grande	25.55	20.40	5.15	1.43	0.1664
	Quebrada arriba	26.20	23.04	3.16	1.49	0.1672
Estelí	La Libertad	31.48	29.86	1.62	1.54	0.1439

De manera global, al considerar los valores promedios para humedad gravimétrica por comunidad para ambos tipos de parcela, se puede afirmar de la Tabla 7, que las parcelas experimentales (ASA) de la comunidad Quebrada arriba presentan un mayor porcentaje de humedad, mientras que los valores más bajos están identificados en Cerro Grande con 28.91% y 24.79% respectivamente. De acuerdo al análisis de varianza, las parcelas son similares estadísticamente con una $p\text{-valor} > 0.05$ ($p\text{-valor} = 0.1853$). Hay un comportamiento similar respecto de las parcelas testigo, pero, según el análisis de varianza las parcelas se diferencian estadísticamente con una $p\text{-valor} < 0.05$ ($p\text{-valor} = 0.0013$), siendo las parcelas de La Libertad significativamente diferentes a las parcelas testigo de las otras comunidades; agrupándose según el test de Duncan en dos grupos estadísticos Tabla 7.

El hecho de que las parcelas ASA no se diferencien estadísticamente, se puede explicar porque las parcelas de Yalagüina llevan más tiempo usando cobertura vegetal de los residuos de las cosechas de granos básicos; planteamiento que se puede sustentar en el hecho de que las parcelas testigo de La Libertad son estadísticamente mejores que las de Yalagüina. También, Sánchez, Menezes de Souza, Eiji Matsura, y Salomão (2010) explica que la adición de residuos vegetales aumenta la capacidad de retención de agua, lo que favorece la humedad del suelo y explica la similitud entre las parcelas ASA.

Tabla 7 Análisis de la varianza para humedad gravimétrica (%) por comunidad y tipo de parcela

Municipio	Comunidad	Parcela ASA			Parcela testigo		
		Medias	E.E	p-valor	Medias	E.E	p-valor
Yalagüina	Cerro Grande	24.79	1.17	0.1853	20.91a	0.97	0.0013
	Quebrada arriba	28.01	1.65		22.92a	1.37	
Estelí	La Libertad	27.41	1.35		26.53 b	1.12	

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Esas diferencias encontradas respecto de las parcelas ASA y testigo, se corrobora cuando se analizan los datos de humedad gravimétrica, teniendo en cuenta los años en que se ha manejado la cobertura de rastrojos en esas parcelas. De la tabla 8, se observa según el análisis

de varianza que el porcentaje de humedad en las parcelas experimentales (ASA) con tres años de manejo de la cobertura son similares estadísticamente con las parcelas experimentales (ASA) de un año. Mientras que las parcelas testigo de un año, son significativamente diferentes al resto, presentando mayores valores, esto debido a la zona donde se encuentran ubicadas ya que cuentan con mejores condiciones edafoclimáticas que las parcelas de Yalagüina. Esto demuestra que, el manejo de la cobertura del suelo puede ser una medida de adaptación al cambio climático, ya que permite crear condiciones, en este caso de humedad, similares a otras zonas con condiciones edafoclimáticas más favorables.

Esto es similar a lo encontrado en estudio con la adición de residuos del arroz, en donde se concluye que se aumenta la capacidad de retención de agua del suelo y decrece la temperatura máxima con la profundidad, en cultivos de maíz con cobertura vegetal, en comparación con el suelo descubierto (como se cita en Sánchez, Menezes de Souza, Eiji Matsura y Salomão, 2010 p. 42).

Tabla 8. Análisis de varianza de la humedad gravimétrica (%) considerando el manejo de la cobertura de rastrojos (años) por tipo de parcelas

Cobertura de rastrojos (años)	Parcela ASA			Parcela testigo		
	Medias	E.E	p-valor	Medias	E.E	p-valor
2	22.32a	1.24	0.0004	20.99a	1.13	0.0021
1	27.41 b	1.24		26.53b	1.13	
3	29.40 b	1.24		22.16a	1.13	

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

5.1.2. Macrofauna del suelo en parcelas de granos básicos

Con el uso de cobertura el suelo se convierte en un hábitat favorable para una cantidad de organismos, incluyendo raíces de plantas, lombrices, insectos y microorganismos, como, por ejemplo, hongos y bacterias. Esta vida del suelo usa la materia orgánica de la cubierta y la recicla en humus y en nutrientes, y contribuye a estabilizar físicamente la estructura del suelo, permitiendo que el aire y el agua se filtren y se almacenen (Lara Hernández, y otros, 2010).

Al respecto, se consideró estudiar dentro de la macrofauna del suelo, al grupo de las lombrices para ambos tipos de parcelas, encontrándose según análisis estadístico descriptivo que el número de individuos y la biomasa de lombrices y otras especies, son mayores en las parcelas ASA con respecto a las testigos, valores que son mayores en el primer muestreo realizado Tabla 9.

Se ha determinado que los cambios en las condiciones de temperatura y humedad del suelo como consecuencia de la menor cantidad de residuos, afecta a algunas especies como es el caso de la lombriz de tierra; que normalmente requieren de la humedad permanente, y que en la capa superficial del suelo es donde se encuentra una cantidad mayor de individuos y se produce la mayor actividad de la macrofauna (como se cita en Morán Mendoza y Alfaro Gutiérrez, 2015 p.12), lo que puede determinar una disminución en las poblaciones de estos organismos durante la etapa más seca del año (segundo muestreo).

Tabla 9. Estadístico descriptivo de la macrofauna del suelo, por tipo de parcelas y tiempos de muestreo.

Muestreo	Variable	Parcela ASA		Parcela testigo	
		Medias	E.E	Medias	E.E
Lombrices del suelo					
Primero	Número de individuos	0.32	0.07	0.21	0.06
	Biomasa (g)	0.19	0.07	0.17	0.08
Segundo	Número de individuos	0.19	0.04	0.00	0.00
	Biomasa (g)	0.15	0.05	0.00	0.00
Otras especies de macrofauna del suelo					
Primero	Número de individuos	0.21	0.05	0.14	0.04
	Biomasa (g)	0.12	0.04	0.06	0.02
Segundo	Número de individuos	0.07	0.03	0.01	0.01
	Biomasa (g)	0.01	0.01	0.0	0.0

En el análisis de los datos se determinó de manera general que, en el primer muestreo, hay número de individuos y biomasa de lombrices y otras especies, más que en el segundo, siendo las parcelas de dos años las que tienen las medias más altas de número de individuos y biomasa de lombrices. En cuanto a otras especies (escarabajos, termitas, tijeretas, babosas, gallina ciega), las parcelas de un año presentan mayores valores que las demás, seguido de las parcelas de tres años.

En el segundo muestreo, las parcelas de un año presentan las medias más altas de número de individuos y biomasa de lombrices, seguido de las parcelas de tres años y para otras especies, las parcelas de tres años son las que presentan mayores valores (Figura1). Las diferencias de número de individuos y biomasa de lombrices y otras especies en los muestreos realizados están relacionadas con el tiempo que se hizo el muestreo, ya que el primero fue durante el mes de mayo y junio (invierno) del 2017 y el segundo se realizó en los meses de noviembre y diciembre (verano) del mismo año.

Se ha determinado que, en el suelo se llevan a cabo dos procesos vitales: la descomposición y el flujo de nutrientes, que son controlados principalmente por la actividad biológica de la fauna edáfica que depende en última instancia de la temperatura y la humedad como se cita en Franco (2010) p.18 es por esa razón que la presencia de individuos aumenta en el invierno y disminuye en el verano, época cuando se reduce el alimento y la protección que brinda la cobertura de rastrojos.

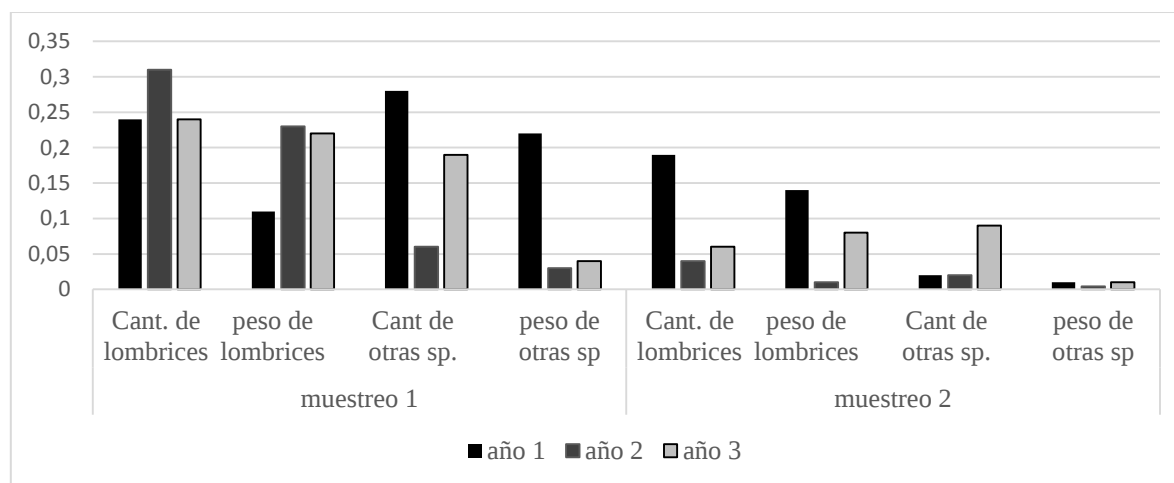


Figura 1. Comportamiento de la macrofauna en los dos tiempos de muestreo

La comparación de los valores del número de individuos y biomasa de organismos entre sistema de manejo y tiempo de muestreo se realizó a través de una prueba T student para datos no paramétricos (Wilcoxon para muestras independientes). Se encontró que, las parcelas ASA y testigo son similares estadísticamente para el primer muestreo.

Mientras que, el segundo muestreo indica diferencias estadísticas significativas entre las parcelas ASA y testigo en las variables número de individuos y biomasa de lombrices, con una p-valor < 0.05 (p-valor= 0.0001 para ambas variables). En cuanto al número de individuos y biomasa de las otras especies no presentaron diferencias estadísticas Tabla 10. Se puede considerar como factor importante que favoreció las poblaciones de macro invertebrados durante el primer muestreo, a la presencia de cobertura vegetal que hace un aporte de biomasa, disminuye la intensidad lumínica, el impacto de las gotas de lluvia y además, regula la temperatura del suelo ofreciendo un medio estable para la vida de la macro fauna. (Como se cita en Morán Mendoza y Alfaro Gutiérrez, 2015 p.12).

Los cambios estacionales entre el primer y segundo muestreo los explica este mismo autor quien indica que cambios en la humedad del suelo como consecuencia de la menor cantidad de residuos, afecta a algunas unidades taxonómicas, como es el caso de Oligochaeta o lombriz de tierra; que normalmente requieren de la humedad permanente. Así mismo, la capa superficial del suelo es donde se encuentra una significativa cantidad de individuos y se produce la mayor actividad de la macrofauna.

Tabla 10. Prueba Wilcoxon para variables de macrofauna entre tipos de parcelas en los dos muestreos realizados (valores promedios)

Variable	Primer muestreo			Segundo muestreo		
	ASA	Testigo	p-valor	ASA	Testigo	p-valor
Lombrices del suelo						
No. individuos	0.32	0.21	0.2157	0.19	0.0	0.0001
Biomasa (g)	0.19	0.17	0.2770	0.15	0.0	0.0001

Variable	Primer muestreo			Segundo muestreo		
	ASA	Testigo	p-valor	ASA	Testigo	p-valor
Otras especies de macrofauna del suelo						
No. individuos	0.21	0.14	0.3556	0.07	0.01	0.0961
Biomasa (g)	0.12	0.06	0.3401	0.01	0.004	0.0931

5.2. Respiración del suelo en parcelas de granos básicos

Entre los procesos que pueden explicar lo que sucede en el suelo bajo determinadas condiciones está la respiración, que se entiende como la producción de CO₂ debido a la ruptura u oxidación de la materia orgánica rica en carbono por medio de los microorganismos del suelo, y la respiración de las células de las raíces de las plantas. Puede ser muy útil establecer la tasa de producción de CO₂ para explicar la tasa de descomposición de la materia orgánica, que ayuda a determinar la contribución del suelo al balance del CO₂ en la atmósfera (Lessard L., Gignac y Rochette, 2010).

Como se puede observar en la tabla 11 las parcelas de un año de manejo que están el municipio de Estelí, tienen los valores más altos en relación a las parcelas de dos y tres años de manejo de cobertura, se observa que las parcelas estudiadas muestran valores promedios de liberación de CO₂ de 458.68 a 1003.60 mg CO₂ m⁻²h⁻¹, presentándose valores más altos en el segundo muestreo, con respecto al primer muestreo, con excepción de las parcelas de dos años de manejo.

La respiración del suelo es altamente variable, tanto espacialmente como estacionalmente USDA (1999), lo que explicaría las diferencias entre el primer y segundo muestreo, debido a que las muestras se tomaron en verano e invierno por este motivo es que en el segundo muestreo (invierno) aumenta la liberación de CO₂ por la mayor humedad y mayor biomasa disponible para la descomposición también es un ambiente óptimo para la reproducción de micro organismos que descomponen la materia orgánica y los residuos vegetales.

Se puede observar que el tiempo de manejo de cobertura tiene un efecto negativo sobre la liberación de CO₂, es decir que a medida que el tiempo de manejo de cobertura aumenta, la producción de CO₂, disminuye.

Tabla 11. Valores promedios para respiración del suelo (mg CO₂ m⁻²h⁻¹) en dos muestreos

Municipio	Años de manejo	Muestreo	Media CO₂
Estelí	1	Primer	910.45
		Segundo	1003.60
Yalagüina	2	Primer	764.64
		Segundo	633.85
	3	Primer	458.68
		Segundo	862.12

Los valores de la tasa de respiración del suelo demuestran que en el primer muestreo las parcelas (ASA) con tres años de manejo de Yalagüina presentan los valores más bajos con un valor de 458.68 mg CO₂ m⁻²h⁻¹ al contrario de las parcelas de 1 y 2 años las cuales presentan valores de 764.64 y 910.45 mg CO₂ m⁻²h⁻¹ respectivamente Tabla 12. De acuerdo con el análisis de varianza, las parcelas tienen diferencias estadísticas significativas con una p-valor < 0.05 (p-valor= 0.0007), con dos grupos estadísticos siendo diferentes las parcelas con tres años. El establecimiento de una cubierta vegetal permanente contribuye a mantener el carbono en el suelo, lo que implicaría en una disminución del carbono liberado a la atmósfera Lessard, et al. (2010), por lo que parcelas con mayor cobertura como las de tres años, presentarán una menor tasa de respiración durante el primer muestreo.

Con respecto al segundo muestreo, las parcelas de un año tienen los valores más altos con un 1003.60 mg CO₂ m⁻²h⁻¹ al contrario de las parcelas de 2 y 3 años con valores de 633.85 y 862.12 mg CO₂ m⁻²h⁻¹ respectivamente. De acuerdo al análisis de varianza las parcelas son estadísticamente diferentes con una p-valor < 0.05 (p-valor= 0.0059) siendo diferentes las parcelas con dos años.

Según Murcia Rodríguez y Ochoa Ryes (2008) el factor que más influye sobre la variación temporal de las tasas de respiración del suelo no es tanto la temperatura edáfica sino el contenido de agua o la precipitación, debido a que la temperatura del suelo es relativamente constante. A escala global, las tasas anuales de la respiración edáfica están correlacionadas positivamente con las medias anuales de la temperatura del aire, la precipitación y la productividad primaria neta en diferentes tipos de vegetación, esto puede explicar porque las parcelas de tres años en el primer muestreo y las parcela de dos años en el segundo muestreo presentan los valores más bajos ya que están en una zona donde las condiciones climáticas son más adversas que la zona donde se encuentran las parcelas de un año.

Tabla 12. Análisis de varianza de la producción de CO₂ en parcelas ASA en dos muestreos.

Muestreo	Tiempo de manejo de rastrojo	Medias	p-valor	Categoría estadística
Primer	1	764.64	0.0007	b
	2	910.45		b
	3	458.68		a
Segundo	1	1003.60	0.0059	b
	2	633.85		a
	3	862.12		b

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

5.3. Relación de la cobertura de rastrojos con los parámetros del suelo estudiados en parcelas de granos básicos

Respecto de las variables que están relacionadas con la cobertura del suelo, la correlación de Spearman muestra que en las parcelas ASA las variables de humedad del suelo y el peso de la cobertura se relacionan en un 0.41 y una $p\text{-valor} < 0.05$ ($p\text{-valor} = 0.0347$) de igual manera se relaciona los años de manejo de cobertura con la humedad es decir que mayor sea el tiempo

en que se maneja la cobertura o más peso cobertura se aplique mayor será el % de humedad que retendrá el suelo , mientras que los años de manejo evidencia una relación negativa con la respiración , es decir a un incremento de la biomasa o el tiempo de manejo, se presentará una disminución de la cantidad de CO₂ mg m⁻²h⁻¹. Esta relación es baja, pero estadísticamente significativa Tabla 13.

Esto se explica porque el establecimiento de una cubierta vegetal permanente contribuye a mantener el carbono en el suelo Lessard, et al. (2010), lo que implicaría en una disminución del carbono liberado a la atmósfera. El uso de coberturas de rastrojos de cosechas puede permitir la disminución del agotamiento sistemático de la capacidad productiva de los suelos; esperando con esto mejoras en las características del suelo, entre las que se puede evaluar la biomasa microbiana, que constituye una indicación de la respuesta a la gestión, el cambio ambiental, la perturbación del sitio y la contaminación del suelo (Paul, 2007).

De igual manera, los años de manejo y el peso de la cobertura presentan una relación alta de 0.85 con una p-valor < 0.05 (p-valor= 0.0001), lo que indica que entre más años se hace uso de cobertura, mayor será el peso de esta.

Tabla 13. Correlaciones de las variables con la cobertura del suelo

Variable 1	Variable 2	Spearman	P-Valor
Peso de cobertura	Humedad	0.41	0.0347
	Años de Manejo	0.85	0.0001
Años de Manejo	Humedad	0.41	0.0329
	Respiración	-0.44	0.0227

VI. CONCLUSIONES

Las parcelas de granos básicos en zonas secas con tres años de manejo de cobertura y 8.5 tn/mz igualan o mejoran las condiciones de humedad gravimétrica del suelo en comparación con parcelas con un año de manejo y con 1.8 tn/mz, las cuales presentan mayores precipitaciones anuales; el uso de cobertura tiene un mayor efecto de 0-10 y 10-20 cm de profundidad muestreada, esto se evidencia ya que las parcelas ASA estadísticamente son diferentes a las testigos en la comunidad Quebrada Arriba en donde se ha manejado la cobertura por tres años.

En cuanto a la macrofauna del suelo en las parcelas ASA existe un número mayor de individuos y peso de lombrices y otras especies con respecto a las parcelas de manejo tradicional pero las variaciones de las poblaciones no están determinadas por el uso de la cobertura vegetal, sino que a los cambios estacionales del año y el ecosistema que rodea las parcelas, por lo que no resultó ser un buen indicador del uso de la cobertura vegetal.

La tasa de respiración aumenta en la época de invierno debido a la humedad y la disponibilidad de cobertura del año anterior, también la liberación de CO₂ es menor en las parcelas que tienen tres años de manejo de cobertura.

El peso de la cobertura y los años de manejo están relacionados con el porcentaje de humedad gravimétrica del suelo en un 41%. Mientras que, los años de manejo de la cobertura están relacionados en un 85% con el peso de la cobertura vegetal.

En cuanto a la tasa respiración del suelo, la cobertura vegetal tuvo un efecto negativo en un 44%, es decir que, entre más años de manejo de la cobertura, se reducirá la tasa de respiración y menor será el CO₂ liberado a la atmósfera. Pero no se encontró una relación significativa entre el uso de la cobertura vegetal y la macrofauna del suelo.

VII. RECOMENDACIONES

Es suficiente realizar los muestreos de humedad gravimétrica a los primeros 10 cm de profundidad ya que se logran evidenciar las diferencias estadísticas entre los tipos de parcelas.

Realizar un mayor número de monitoreo y evaluaciones en los meses de invierno y verano para determinar diferencias o cambios de poblaciones de la macrofauna y tasa de la respiración del suelo; y así poder determinar la dinámica del suelo en el tiempo ya que por su sensibilidad al ambiente son muy variables, lo que permitirá determinar el periodo óptimo para realizar el monitoreo.

Considerar el registro de precipitaciones de las zonas donde se está realizando la investigación.

Analizar el efecto de la cantidad y el tipo de biomasa de cobertura sobre la humedad gravimétrica y la respiración del suelo.

VIII. BIBLIOGRAFÍA

- Anderson, J. M. (1994). *Functional attributes of biodiversity in land use systems*. In Greenland, D.J.; Szabolcs, I. (Eds.). . Obtenido de Proceedings of a Symposium held in Budapest, including the Second Workshop on the Ecological Foundations of Sustainable Agriculture. (.
- Astier Calderon , M., Maass Moreno, M., & Etchvers Barra, J. (2002). Derivacion de indicadores de calidad de suelos en el contexto de la agricultura sustentable. *Agrociencia*, 36, 605-620.
- Boshier, D., & al, e. (2004). *La diversidad de América Central enriquece -clima y suelos de la región*. Tegucigalpa, MDC, Honduras C.A.; edición no2. Tegucigalpa, MDC, Honduras C.A, 2004.20p.
- Bot, Benites , J. R., Jump, & Alexandra . (2015). Agricultura de Conservación Una Práctica Innovadora con Beneficios Económicos y Medioambientales. *Agrobanco*.
- CIAT. (2011). *Protocolo de muestreo para la macrofauna del suelo*. Centro Internacional de Agricultura Tropical.
- Doran, J., Sarrantonio, M., & Liebig, M. (1996.). Soil health and sustainability. . *Advances in Agronomy*, 56-71.
- ECAP. (13 de Abril de 2005). *Porosidad del suelo*. Obtenido de <http://www.eweb.unex.es/eweb/edafo/ECAP/ECAL5PFPorosidad.htm>
- Erenstein, O., Sayre, K., Wall, P., & Hellin, J. &. (2012). Conservation Agriculture in Maize- and Wheat-Based Systems in the (Sub)tropics: Lessons from Adaptation Initiatives in South Asia, Mexico, and Southern Africa. *Journal of Sustainable Agriculture*, 36(2), 180-206. doi:<http://dx.doi.org/10.1080/10440046.2011.620230>
- Espinoza, A. (2014). *Indicadores de Suelo- Biologicos* . Nicaragua.
- FAO. (26 de Julio de 2018). *Agricultura de conservación*. Recuperado el 26 de Julio de 2018, de En la práctica: <http://www.fao.org/conservation-agriculture/in-practice/soil-organic-cover/es/>
- Fertilab. (2014). *El Color del Suelo como Indicador de su Fertilidad-Fertilab*. Obtenido de <https://www.fertilab.com.mx/Sitio/Vista/El-Color-del-Suelo-como-Indicador-de-su-Fertilidad.php>

- German, W. D. (2004). *Evaluación del estado de los suelos de la planicie de Nandaime através de la identificación y uso de los indicadores técnicos y locales de calidad de suelo*. Managua : UNA.
- Gonzales, R. D. (2004). Propiedades físicas del suelo. Obtenido de <http://bibliofagro.pbworks.com/f/propiedades+fisicas+del+suelo.pdf>
- Karlen, D. L., Mausbach, D., Cline, J. W., & Harris, R. F. (2000). Calidad de suelo. Definiciones y conceptos.
- Lafitte, H. R. (1994). *identificación de problemas en la producción de maíz tropical: Guia de campo*. (CIMMYT, Ed.) D.F, México. Recuperado el 26 de 07 de 2018, de <https://repository.cimmyt.org/xmlui/handle/10883/727>
- Lara Hernández, O., Arencibia, M. C., Alfonso, C. A., Arce Sánchez, I., Aguilar Rodríguez, Y., Collazo Oiva, R., . . . Dionel San Lois Velásquez, C. (2010). *Manual de Agricultura de Conservación*. cuba.
- Lessard L., R., Gignac, D., & Rochette, P. (2010). El ciclo del carbono:. 1-3.
- Martínez González, F., Sosa Pérez, F., & Ortiz Medel, J. (diciembre de 2010). Comportamiento de la humedad del suelo con diferente cobertura vegetal en la Cuenca La Esperanza. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 1(4), 89-103. Recuperado el 05 de 05 de 2018
- Martínez, E. (2014). *Propiedades biológicas del suelo*.
- Melo Franco, M. C. (2010). *Evaluación de la macrofauna edáfica en parcelas experimentales enmendadas con biosolidos en diferente proporción en el aula ambiental soratama loc. Usaquéen Bogotá d.c*. Bogotá D.C.
- Micheli, H. F., & Díaz, S. d. (2007). SUELO. Argentina. Recuperado el 22 de Octubre de 2016, de http://www.buscagro.com/biblioteca/HugoFerlini/SUELO_III
- Morán Mendoza, J. E., & Alfaro Gutiérrez, F. R. (2015). *Diversidad de macrofauna edáfica en dos sistemas de manejo de Moringa oleifera Lam. (Marango) en la finca Santa Rosa, UNA*. Managua: UNA.
- Murcia Rodríguez, M. A., & Ochoa Ryes, M. P. (2008). Respiración del suelo en una comunidad sucesional de pastizal del bosque altoandino en la cuenca del río pamplonita, colombia. *Caldasia*, 30(2), 337-353.

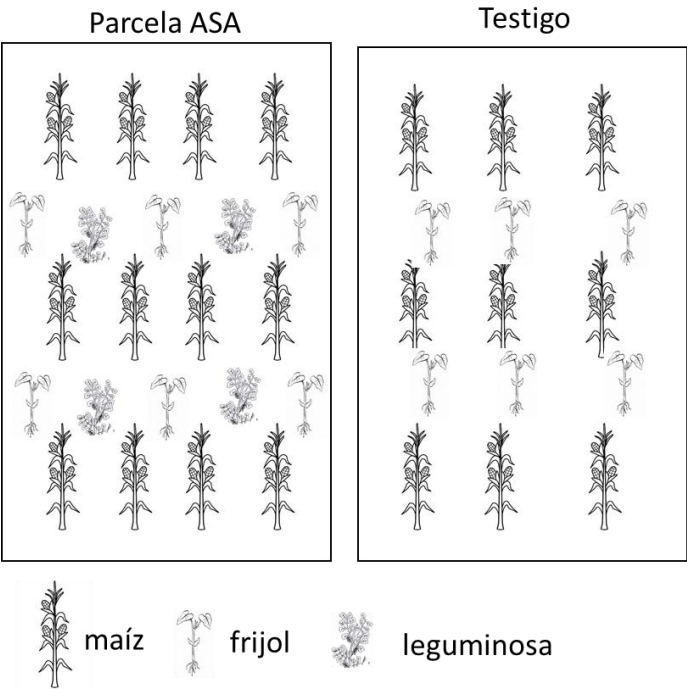
- Navarrete Segueda, A., Vela Correa, G., López Blanco, J., & Rodríguez Gamiño, M. d. (2011). Naturaleza y utilidad de los indicadores de calidad del suelo. *contacto S 80*, 29-37.
- Ochoa Morales , C. N., & Urroz Gutiérrez, F. A. (2011). *Determinación de la actividad microbiana como indicador biológico en suelos*. Leon: UNAM.
- Paul, E. A. (Ed.). (2007). *Soil microbiology, ecology, and biochemistry* (Tercera ed.). Recuperado el 15 de enero de 2018, de <http://csmi.issas.ac.cn/uploadfiles/Soil%20Microbiology,%20Ecology%20&%20Biochemistry.pdf>
- Pulido Fernandez, M., Lavado Contador, J., & Schnabel, S. (2011). Estimación de la cobertura del suelo Pahora. Estudios de degradación. Influencia de la escala espacial y técnica de muestreo. *Universidad de Extremadura*, 169-181.
- Reyes, Murcia, M., & Ochoa, M. (23 de 10 de 2008). *Respiración Del Suelo En Una Comunidad Sucesional de Pastizal del Bosque Altoandino en la Cuenca del Río Pamplonita, Colombia*. Obtenido de ECOLOGÍA: www.unal.edu.co/icn/publicaciones/caldasias.htm
- Sánchez, M. C., Menezes de Souza, Z., Eiji Matsura, E., & Salomão, N. (2010). Efecto de la cobertura en las propiedades del suelo y en la producción de frijol irrigado. *U.D.C.A Actualidad Divulgación E Científica*, 13(2), 41-50. Recuperado el 3 de Mayo de 2018, de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-42262010000200006&lng=es&tlng=es
- USDA. (1999). *Guia para la evaluación de la calidad y salud del suelo*. (A. Luters, & J. C. Salazar, Trads.) Argentina: Instituto de Suelos CRN-CNIA-INTA. Recuperado el 27 de Julio de 2018, de https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/stelprdb1044786.pdf

IX. ANEXOS

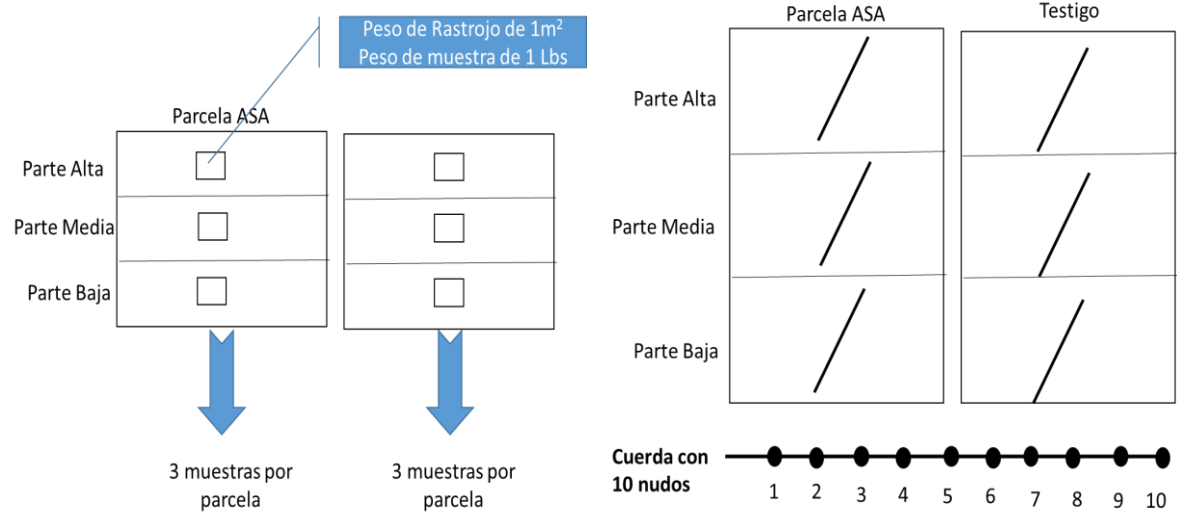
Anexo 1. Mapa de ubicación de la zona de estudio



Anexo 2. Diseño de las parcelas por productor



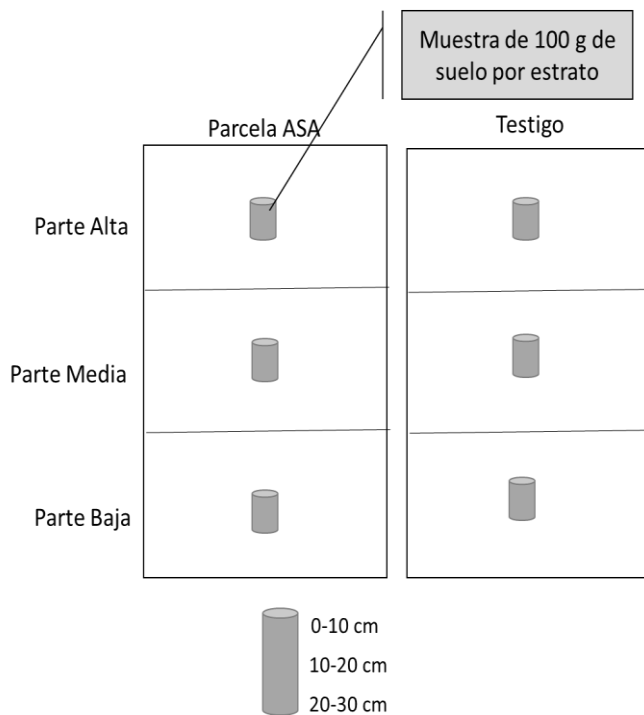
Anexo 3. Muestreo de biomasa



Anexo 4. Hoja para toma de datos de biomasa y cobertura de suelo

GRAMA AGRICULTURA, SUELO Y AGUA (//																			Tax(Ha = kg PS muestra/ha * 10000 m ² /Ha * Tax/1000 kg																								
PRODUCTORES PARCELAS CON 4 INDIC																			Datos seso de Biomasa de Rastrojo (Ton/Ha), 75 °C durante 24 horas. *										3. Materia Seca (Ton/Ha)					Datos de Cobertura de Suelo con Rastrojo					4. Cobertura de Suelo con Rastrojo (%)				
No.	Nombre completo	Comunidad	Tipo de Parcela	Fecha	Muestra húmeda va al horno de secado										Materia Seca				Numero de Nudos en contacto con					Numero de Nudos en contacto con el					% Cobertura suelo (prom)														
					eso Humedo (kg) en 1 m ² eso Humedo (kg) muesPeso Seco (kg) mues																																						
					1. Parte Alta	2. Parte Media	3. Parte Baja	1. Parte Alta	2. Parte Media	3. Parte Baja	1. Parte Alta	2. Parte Media	3. Parte Baja	1. Parte Alta	2. Parte Media	3. Parte Baja	Promedio	Mues treo 1	Mues treo 2	Mues treo 3	Mues treo 4	Mues treo 5	% Cobertura	% Cobertura	% Cobertura	% Cobertura	% Cobertura																
1															0,00	0,00	0,00	0,00							0	0	0	0	0	0													
2															0,00	0,00	0,00	0,00							0	0	0	0	0	0													
3															0,00	0,00	0,00	0,00							0	0	0	0	0	0													
4															0,00	0,00	0,00	0,00							0	0	0	0	0	0													
5															0,00	0,00	0,00	0,00							0	0	0	0	0	0													

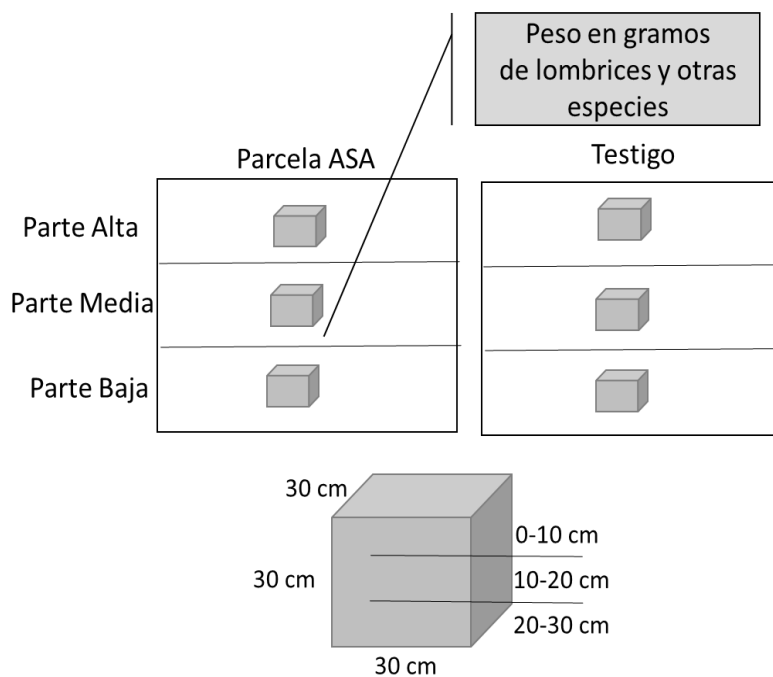
Anexo 5. Muestreo de humedad del suelo



Anexo 6. Hoja para toma de datos de humedad

PROGRAMA AGRICULTURA, SUELO Y AGUA (ASA)					Vol. Cilin: $3.1416 \cdot r^2 \cdot h$		Datos para Humedad								
LISTA DE PRODUCTORES PARCELAS CON 4 INDICADORES.					Tara o Peso Cilindro (gr)	Vol. Cilindro (cm ³)	Peso Suelo Humedo (PSH), en gr			Peso Suelo Seco (PSS), en gr					
No.	Nombre completo	Comunidad	Tipo de Parcela	Fecha			PSH+Tara			PSS+Tara			PSS-Tara		
							1. Parte Alta	2. Parte Media	3. Parte Baja	1. Parte Alta	2. Parte Media	3. Parte Baja	1. Parte Alta	2. Parte Media	3. Parte Baja
1													0	0	0
2													0	0	0
3													0	0	0
4													0	0	0
5													0	0	0

Anexo 7. Muestreo de macrofauna del suelo





Monolito para muestreo de macrofauna

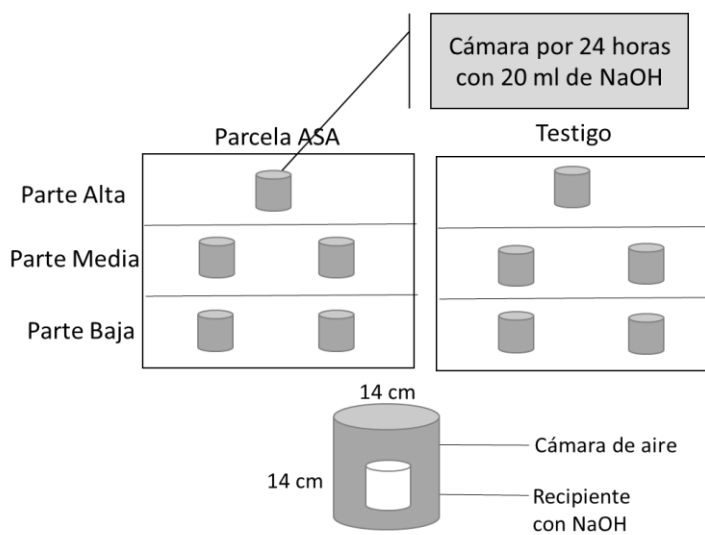


Toma del peso en gramos de la macrofauna

Anexo 8. Hoja para toma de datos de macrofauna

PROGRAMA AGRICULTURA, SUELO Y AGUA (ASA)																	
LISTA DE PRODUCTORES PARCELAS CON 4 INDICADORES.																	
No.	Nombre completo	Comunidad	Tipo de Parcela	Fecha	7. Macrofauna mayor de 2 mm												
					1. Parte Alta					2. Parte Media					3. Parte Baja		
					Sp 1: Lombrices			Sp2:		Sp 1: Lombrices			Sp2:		Sp 1: Lombrices		
					Cant.	Peso (gr)	Peso (kg/m ³)	Cant.	Peso (gr)	Cant.	Peso (gr)	Peso (kg/m ³)	Cant.	Peso (gr)	Cant.	Peso (gr)	Peso (kg/m ³)
1						0,00	0,00	0,00			0,00	0,00			0,00		0,00
2						0,00	0,00	0,00			0,00	0,00			0,00		0,00
3						0,00	0,00	0,00			0,00	0,00			0,00		0,00
4						0,00	0,00	0,00			0,00	0,00			0,00		0,00
5						0,00	0,00	0,00			0,00	0,00			0,00		0,00

Anexo 9. Toma de muestras de respiración



Preparación del terreno para la instalación de cámaras



Incorporación del Hidróxido de sodio (NaOH)



Sellado de la cámara