



UNIVERSIDAD
NACIONAL
AUTÓNOMA DE
NICARAGUA,
MANAGUA
UNAN-MANAGUA

Facultad Regional Multidisciplinaria, FAREM–Estelí

Catholic Relief Services (CRS)

**Efecto de la agricultura de conservación en las propiedades
físicas del suelo**

Trabajo de seminario de graduación para optar

al grado de

Ingeniero Ambiental

Autores

Zeily Guadalupe Aráuz Acevedo.

Jaredmary Mendoza Blandón.

Ana Sofía Zuniga Castillo.

Tutores

M.Sc. Kenny López Benavides

M.Sc. Josué Tomás Urrutia.

Estelí, enero 2018

Tabla de contenido

I.	INTRODUCCIÓN.....	8
II.	OBJETIVOS	10
2.1.	General.....	10
2.2.	Específicos	10
III.	MARCO TEÓRICO.....	11
3.1.	Agua	11
3.1.1	Importancia del agua.....	11
3.2.	Suelo.....	12
3.2.1.	El agua en el suelo.....	12
3.2.3.	Uso del suelo en Nicaragua.....	13
3.2.4.	Propiedades físicas.....	14
3.3.	Agricultura.....	15
3.3.1.	Agricultura y medio ambiente	15
3.3.2.	Tipos de agricultura.....	16
IV.	HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN.....	18
V.	Etapas generales del proceso de investigación	19
5.1.	Etapa de gabinete:	19
5.2.	Etapa de Campo:.....	19
VI.	MATERIALES Y MÉTODOS	20
6.1.	Área de Estudio	20
6.2.	Tipo de Estudio	21
6.3.	Población o Universo	21
6.4.	Muestra	21
6.5.	Unidad de análisis	22
6.6.	Tipo de muestreo.....	22
6.7.	Descripción de los tratamientos	22
6.8.	Determinación del efecto de la humedad del suelo	23
6.8.1.	Densidad aparente (g/cm ³)	23
6.8.2.	Humedad Gravimétrica.....	25
6.8.3.	Humedad Volumétrica	26

6.8.4.	Tasa de infiltración	27
6.8.5.	Agua disponible	28
6.9.	Reserva útil de agua en el suelo.....	29
6.9.1.	Determinación de la capacidad de campo	29
6.9.2.	Punto de marchitez permanente	31
6.10.	Necesidades de los cultivos.....	32
6.10.1.	Coeficientes de cultivo	32
6.11.	Rendimiento del cultivo.....	33
6.11.2.	Cálculo del peso del grano de las muestras de campo en kg	33
6.11.3.	Ajuste del peso del grano de campo al 15% de humedad.....	33
6.11.4.	Calculo del área de muestreado en hectáreas	34
6.11.5.	Calculo del Rendimiento en kg/ha	34
6.11.6.	Fórmula de Cálculo Completo	34
VII.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	35
VIII.	CONCLUSIONES.....	47
IX.	RECOMENDACIONES.....	50
XX.	ANEXOS	51
10.2.	Presupuesto.....	51
10.3.	Datos obtenidos de rendimiento del cultivo de Zea Mays	51
10.4	Cronograma de actividades	54
10.5	Base de datos.....	55
XXI.	BIBLIOGRAFÍA	56

DEDICATORIA

A Dios todo poderoso, que gracias a la sabiduría que nos ha regalado en el transcurso de esta investigación hemos podido culminarla con éxito.

A nuestras queridas madres:

Patricia Acevedo Matus, Maryciela Blandón Moreno, Aurora Ortiz, el mejor regalo de amor que hemos recibido del buen papá Dios, pilares fundamentales en nuestra formación humana y profesional quienes son nuestra razón para volver al hogar.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por bendecirnos y darnos la paciencia y sabiduría para poder culminar nuestra investigación.

A nuestras madres por todo el apoyo brindado y la confianza depositada en nosotras para culminar esta etapa con felicidad.

De igual forma a nuestros tutores:

Master Kenny López Benavides y Master Josué Tomás Urrutia, por habernos apoyado en el proceso de toma y evaluación de datos y compartir con nosotras sus conocimientos adquiridos en su vida profesional.

A nuestros asesores:

Master Ariel Espinoza, Master Oscar Rafael Lanuza y Master Edgardo Javier Palacios, por ser nuestros mentores desde el comienzo de nuestra etapa investigativa. A nuestros docentes a lo largo de la carrera que en estos últimos cinco años nos han brindado conocimientos para que lo pongamos en práctica en nuestra vida profesional.

Al proyecto regional Agua, suelo y agricultura (ASA) por las enseñanzas impartidas y el apoyo brindado tanto técnica, logística como económicamente para realizar la investigación.

A la **FAREM - Estelí, UNAN - Managua**; ya que fue el centro educativo que nos permitió formarnos como profesionales y nos brindó los estudios superiores en la Ingeniería Ambientales. Gratitud y respeto.

A nuestras amistades y compañeros de clase por estar con nosotras a lo largo de nuestra carrera y apoyarnos y motivarnos a seguir adelante.

Resumen

El presente estudio consiste en evaluar la contribución y/o el aporte de la agricultura de conservación sobre la dinámica del agua en el suelo, según las propiedades físicas de densidad, porosidad e infiltración. Para ello se llevó a cabo un muestreo de suelos en el Municipio de Estelí, en la Estación Experimental “El Limón” en tres sistemas de agricultura, convencional y conservación y un sistema de referencia bosque. En cada sistema se determinó la capacidad de campo a profundidades de 30 cm y 50 cm, punto de marchitez permanente, densidad aparente, tasa de infiltración se llevó a cabo con el infiltrometro de doble cilindro, porosidad total, humedad gravimétrica, profundidad radicular por abatimiento de humedad y agua disponible. A través de las pruebas realizadas se obtuvo que las propiedades físicas del suelo, densidad y humedad gravimétrica tienen un efecto significativo sobre la agricultura de conservación y convencional a los 30 cm de profundidad. De igual forma se obtuvo que la velocidad con la que se infiltra el agua en el suelo es mayor en el sistema de agricultura de conservación que en el sistema convencional. Los rendimientos del cultivo *Zea mays* fueron más altos en el sistema de conservación ya que la dinámica del agua en el suelo tiene influencia directa en las etapas fenológicas y la producción del cultivo.

Palabras claves: Sistemas de agricultura y bosque, dinámica de la humedad, propiedades físicas del suelo.

Abstract

The present study consists on evaluating the contribution of conservation agriculture in the dynamics of water in the soil, according to the physical properties of density, porosity and infiltration. A soil sampling was carried out in the Municipality of Estelí, in the Experimental Station "El Limón" in three agriculture systems; conventional and conservation, and a forest reference system. In each system the field capacity was determined at depths of 30 cm and 50 cm; the permanent wilting point, bulk density; the infiltration rate, which was carried out with the double cylinder infiltrometer, total porosity, gravimetric humidity, root depth by humidity abatement, and available water were determinate as well . Through the tests that were done it was obtained that the physical properties of the soil, such as: density and gravimetric humidity have a significant effect on conservational and conventional agriculture at 30 cm depth. Similarly, it was found that the speed with which water infiltrates the soil is greater in the conservation agriculture system compared with the conventional system. The performance of the Zea mays crop was higher in the conservation system because the dynamics of water in the soil has a direct influence on the phenological stages and the crop production.

Key words: Agriculture and forest systems, soil water dynamics, soil physical properties.

I. INTRODUCCIÓN

En sus orígenes, cuando el hombre comenzó la vida sedentaria modificó el ambiente para desarrollar los cultivos y aumentar la producción de los mismos para su alimentación. Comienza así la agricultura en el suelo desde la utilización de labranza rudimentaria hasta llegar al arado en los tiempos más recientes, donde los avances tecnológicos han concluido en una modificación ambiental más intensa (Reganold, 2008).

En la actualidad debido al cambio climático y los diversos problemas ambientales a los que nos enfrentamos, se han desarrollado diversos sistemas de agricultura en pro de contribuir a la recuperación de los suelos y a disminuir el impacto ambiental negativo en los ecosistemas.

De esta manera el suelo se vuelve vulnerable a la compactación reduciendo la tasa de infiltración de agua y su capacidad de almacenamiento. Uno de los resultados es un mayor flujo de agua a través del suelo desnudo induciendo la escorrentía y la pérdida de agua depositada en el suelo y, en definitiva, una posterior pérdida del potencial productivo.

La continua degradación del suelo está poniendo en peligro la seguridad alimentaria y el bienestar de millones de familias de agricultores en todo el mundo. Las principales causas no incluyen solo la preparación intensiva del suelo con azadas o arados sino también la deforestación, la remoción o la quema de los residuos, un manejo inadecuado de las tierras de pastoreo y rotaciones incorrectas que no mantienen la cobertura vegetativa y que no permiten la restitución adecuada de la materia orgánica y los nutrientes de las plantas. Estas prácticas dejan el suelo expuesto a los peligros climáticos como el viento, la lluvia y el sol (FAO B. d., 2007).

La agricultura de conservación contempla las cubiertas vegetales, la rotación de cultivos y el manejo integrado de los nutrientes, sin embargo, la agricultura intensiva y por el uso de productos químicos en los suelos, se ven gravemente

afectados, causando así problemas en sus propiedades físicas: infiltración y temperatura, estas se ven afectadas cuando los suelos poseen baja cobertura vegetal. Mientras que la densidad aparente y la porosidad, se ve afectada cuando los suelos están muy compactados (Restrepo, 2000).

Por lo tanto, se promueven diversos sistemas de agricultura, principalmente el de conservación, que es esencial en zonas áridas y semi áridas donde el contenido de carbono de los suelos es bajo y el agua es el principal factor limitante para el desarrollo de los cultivos. Esta técnica forma parte de lo que actualmente se denomina agricultura de conservación que resulta útil para evitar la erosión de los suelos y las pérdidas de agua por evaporación y escorrentía, al dejar cubierta la superficie del suelo con los restos del cultivo anterior.

La dinámica del agua en el suelo, juega un papel fundamental en la disponibilidad de agua en el suelo y la distribución de los nutrientes, define la tasa de ocurrencia de procesos microbiológicos y de crecimiento vegetal, gobierna la transpiración, afecta la recarga de acuíferos subterráneos y controla la escorrentía superficial, de allí que su estudio debe integrarse al balance hídrico dentro de los balances hídricos y flujos de energía en los ecosistemas. El flujo de agua en suelos no saturado es el proceso que ocurre en el suelo cuando este está sujeto a cualquier condición de humedad menor que la de saturación (Tobón et al., 2001).

El conocimiento de la dinámica del agua en el suelo, tanto a escala global como regional y del perfil del suelo, permite entender y abordar problemas relacionados con la disponibilidad de agua en cuencas hidrográficas, la disminución y contaminación de las fuentes de agua, la dinámica de nutrientes dentro del suelo y su disponibilidad para las plantas y la degradación de los suelos. Sumado a esto, la creciente demanda de agua de calidad para consumo humano y uso agrícola, resaltan la importancia de estudios relacionados con la caracterización de la dinámica del agua en el suelo (Gómez, 2012).

II. OBJETIVOS

2.1. General

- Evaluar la contribución de la agricultura de conservación sobre la dinámica del agua en el suelo, según las propiedades físicas de densidad, humedad, textura, porosidad e infiltración.

2.2. Específicos

- Analizar la relación de las propiedades físicas del suelo con la retención de la humedad en el suelo en los sistemas de agricultura de conservación y agricultura convencional.
- Relacionar el efecto de la humedad del suelo en las etapas fenológicas del cultivo de maíz (*Zea mays L.*).
- Determinar la incidencia de las propiedades físicas del suelo en la productividad del cultivo *Zea mays* en la parcela ASA y convencional de la Estación experimental el Limón.

III. MARCO TEÓRICO

3.1. Agua

Según la Real Academia Española, el agua (del latín *aqua*) es la “sustancia formada por la combinación de un volumen de oxígeno y dos de hidrógeno, líquida, inodora, insípida, en pequeña cantidad incolora y verdosa o azulada en grandes masas. Es el componente más abundante en la superficie terrestre y más o menos puro, forma la lluvia, las fuentes, los ríos y los mares; es parte constituyente de todos los organismos vivos y aparece en compuestos naturales, y como agua de cristalización en muchos cristales” (Santafé, 2006).

El agua es considerada como uno de los recursos naturales más fundamentales para el desarrollo de la vida, y junto con el aire, la tierra y la energía, constituye los cuatro recursos básicos en que se apoya el desarrollo.

3.1.1 Importancia del agua

Es el factor abiótico más importante de la tierra y uno de los principales constituyentes del medio en el que vivimos y de la materia viva. Aproximadamente el 71% de la superficie terrestre está cubierta por agua en estado líquido, que se distribuye por cuencas saladas y dulces, formando los océanos, mares, lagos y lagunas. El 97% del agua está en los océanos. Se la encuentra además como gas constituyendo la humedad atmosférica, las nubes y también en forma sólida como agua o hielo (Hernández, 2010); la vida depende de agua tanto para los organismos que viven en ambientes acuáticos, como para aquellos que viven en ecosistemas aeroterrestres.

Las aguas continentales (ríos, lagunas, aguas subterráneas y humedales) están entre los más importantes recursos del planeta. Hoy se encuentran amenazadas por la urbanización descontrolada, el desarrollo industrial, la deforestación, la conversión de ecosistemas para uso agrícola y ganadero, por el uso excesivo y por contaminación.

Procesos globales como el cambio climático afectan directamente a la disponibilidad del recurso en decenas de millones de personas en la región, por el impacto en los glaciares, inundaciones y sequías. Los recursos de aguas continentales no constituyen solamente una riqueza en biodiversidad, sino que conforman un recurso esencial para la sustentabilidad de las sociedades humanas (Hernández, 2010).

Sin embargo, una parte importante de las fuentes de agua superficiales y subterráneas ya no provee agua de calidad suficiente para el consumo humano, y las consecuencias para la salud y la calidad de la vida que tiene esta degradación de las fuentes de agua dulce son tremendas.

3.2. Suelo

Los diferentes conceptos existentes sobre el suelo lo caracterizan como un recurso y/o medio, en el cual las plantas encuentran condiciones para desarrollar sus procesos fisiológicos. Por consiguiente, el suelo es uno de los principales recursos naturales que presenta las condiciones físicas, biológicas y químicas para que los cultivos desarrollen sus etapas fisiológicas y la respectiva producción (Vivas-Viachica, 2008).

El suelo en las diferentes esferas de la actividad productiva tiene diferentes significados. Por ejemplo, en la industria solamente sirve como un lugar de distribución, mientras que en la agricultura es objeto de trabajo, medio de trabajo y por ende medio de producción. Por eso siempre tiene un rol que jugar, sabiendo que no podemos producir más suelo del que se tiene.

3.2.1. El agua en el suelo

El agua es esencial para el funcionamiento adecuado de los procesos del suelo, la vegetación y la vida sobre el planeta. Es disolvente y medio de transporte para los nutrimentos de las plantas, fuente de hidrógeno, moderador de la temperatura del suelo y de la aireación, así como un agente de disolución de sustancias tóxicas de los suelos. Finalmente, el golpe del agua de lluvia sobre la superficie del suelo

determina en alto grado la incidencia de la erosión, amenaza devastadora que pone en peligro la fertilidad del suelo, induce al sellado y encostramiento de los suelos (Guillén, 2010).

3.2.2. Dinámica del agua en el suelo

El agua del suelo está sometida a dos tipos de fuerzas de acciones opuestas. Por un lado, las fuerzas de succión tienden a retener el agua en los poros mientras que la fuerza de la gravedad tiende a desplazarla a capas cada vez más profundas. De esta manera si predominan las fuerzas de succión el agua queda retenida mientras que si la fuerza de la gravedad es más intensa el agua se mueve hacia abajo.

Pero también el agua asciende en el suelo. Esto se debe a la capilaridad (efecto especialmente intenso en los climas áridos) y por diferencia de humedad (los horizontes más profundos permanecen más húmedos al estar protegidos, por su lejanía de la superficie del suelo, a las pérdidas de agua debidas a la evaporación y a la absorción de las plantas (Castañón, 2007).

Por otra parte, el agua no sólo se mueve en sentido vertical en el suelo, sino que también lo hace en dirección lateral, presentándose un movimiento generalizado en todos los relieves colinados y montañosos.

3.2.3. Uso del suelo en Nicaragua

Nicaragua tiene grandes recursos en extensiones de tierra, ya que posee un territorio de 13, 037,347 hectáreas. Con una superficie de tierra firme de 12, 034,000 hectáreas y 1, 003,347 hectáreas de lagos y lagunas. Podemos decir que la densidad poblacional de Nicaragua es baja en relación a los países de la región.

En Nicaragua el 82.16% del suelo es agropecuario, pero la estructura de uso del área agropecuaria, se encuentra un uso extensivo del suelo. El 39.94% es de pasto natural y el 23.12% de suelo en descanso y tacotales. Este es un ángulo de importancia, debido a la creciente necesidad de alimentos y conservación de los recursos naturales (CENAGRO, 2013).

3.2.4. Propiedades físicas

3.2.4.1. Densidad

En el suelo se consideran dos tipos de densidad: densidad aparente y densidad real (Castañón, 2007).

Densidad aparente (d_a): es la masa contenida en una unidad de volumen de una muestra de suelo tal y como es, incluyendo el volumen ocupado por los poros. Para determinarla, se divide el peso de un determinado volumen de tierra secada a estufa por ese volumen de suelo, y se expresa el resultado en kg/m^3 . La densidad aparente de los suelos varía según la textura y estructura, entre los $1.100\text{-}1.900 \text{ kg/m}^3$.

Densidad real (d_r): es la densidad de las partículas sólidas del suelo. Se determina dividiendo el peso del suelo secado a estufa por el volumen que ocupan los sólidos. La densidad real de los suelos minerales más comunes varía de 2.500 y 2.700 kg/m^3 .

3.2.4.2. Porosidad

Es la relación entre el volumen de huecos de cualquier tipo y el volumen total del suelo. Se expresa en tanto por ciento (%), y está condicionada por la textura y la estructura del suelo. Los suelos de textura fina tienen mayor porosidad, que los de textura gruesa. Los suelos arcillosos tienen gran número de poros pequeños (microporos); mientras que los arenosos tienen un número escaso de poros grandes (macroporos) comunicados entre sí (Templates, 2014)

Los huecos que dejan entre sí las partículas sólidas del suelo pueden ser:

- Poros. Huecos que dejan las partículas y los agregados. Tienen contornos irregulares y están conectados entre ellos, lo que favorece la circulación de agua y aire.
- Canales. Huecos comunicantes que se forman por la actividad de la fauna del suelo.

- Fisuras o grietas. Huecos intercomunicados que se forman como consecuencia de la retracción del suelo.

3.2.4.3. Infiltración

La infiltración es el proceso por el cual el agua penetra desde la superficie del terreno hacia el suelo. En una primera etapa satisface la deficiencia de humedad del suelo en una zona cercana a la superficie, y posteriormente superado cierto nivel de humedad, pasa a formar parte del agua subterránea, saturando los espacios vacíos (Heras, 2009).

La capacidad de infiltración en el suelo es la cantidad máxima de agua que puede absorber un suelo en determinadas condiciones, valor que es variable en el tiempo en función de la humedad del suelo, el material que conforma al suelo, y la mayor o menor compactación que tiene el mismo.

3.3. Agricultura

La agricultura es la actividad agraria que comprende todo un conjunto de acciones humanas que transforma el medio ambiente, con el fin de hacerlo más apto para el crecimiento de las siembras. Es el arte de cultivar la tierra, refiriéndose a los diferentes trabajos de tratamiento del suelo y cultivo de vegetales, normalmente con fines alimenticios, o a los trabajos de explotación del suelo o de los recursos que este origina en forma natural o por la acción del hombre: cereales, frutas, hortalizas, pastos, forraje, granos básicos y otros variados alimentos vegetales.

Es una actividad de gran importancia estratégica como base fundamental para el desarrollo autosuficiente y de las riquezas de las naciones.

3.3.1. Agricultura y medio ambiente

La agricultura tiene un gran impacto en el medio ambiente. En los últimos años, algunos aspectos de la agricultura intensiva a nivel industrial han sido cada vez más polémicos. La creciente influencia de las grandes compañías productoras de semillas y productos químicos y las procesadoras de comida preocupan cada vez más tanto a los agricultores como al público en general.

El efecto desastroso sobre el entorno de la agricultura intensiva ha causado que vastas áreas anteriormente fértiles hayan dejado de serlo por completo, como ocurrió en los tiempos de oriente medio, antaño la tierra de cultivos más fuertes del mundo y ahora un desierto.

Algunos de los problemas actuales son:

- Contaminación por nitrógeno, fosforo y magnesio en ríos, lagos y aguas subterráneas.
- Erosión del terreno
- Agotamiento de minerales del suelo
- Salinización de los suelos en zonas secas

Muchos de estos problemas van agotando y desertificando el suelo, obligando a abandonar unos terrenos para arar otros que, a su vez, se agotan, creando un círculo vicioso que va destruyendo el entorno.

3.3.2. Tipos de agricultura

3.3.2.1. Agricultura de Conservación

La Agricultura de Conservación (AC) consiste en conservar, mejorar, y hacer un uso más eficiente de los recursos naturales a través del manejo integrado del suelo, el agua, y los recursos biológicos disponibles, a los que se suman insumos externos. Esto contribuye a la conservación del ambiente, así como también a una producción agrícola mejorada y sostenible. También es una agricultura que hace un uso eficiente y efectivo de los recursos (FAO, 2007).

La AC mantiene el suelo cubierto con materiales orgánicos en forma permanente o semipermanente. Esto puede ser hecho con materiales orgánicos vivos o muertos. Su función es proteger físicamente el suelo del sol, la lluvia y el viento, y alimentar la biota del suelo. Los microorganismos y la fauna del suelo reemplazan la función de la labranza y equilibran los nutrientes del suelo. La labranza mecánica perturba este proceso. Por consiguiente, la labranza cero, la labranza mínima y la siembra directa son elementos importantes de la AC.

La rotación de cultivos es también importante para evitar problemas de enfermedades y plagas. En lugar de incorporar al suelo la biomasa, como abonos verdes, cultivos de cobertura o residuos vegetales, en la AC estos se dejan en la superficie del suelo. La biomasa muerta sirve como protección física de la superficie del suelo y como sustrato para la fauna del suelo. De esta forma se reduce la mineralización y se construyen y mantienen niveles apropiados de materias orgánicas en el suelo (FAO, 2007).

3.3.2.2. Agricultura Convencional

Sistema de producción agropecuaria basado en el alto consumo de insumos externos al sistema productivo natural, como energía fósil, abonos químicos sintéticos y pesticidas. La agricultura convencional no toma en cuenta el medio ambiente, sus ciclos naturales, ni el uso racional y sostenible de los recursos naturales. Basada sobre todo en sistemas intensivos, está enfocada a producir grandes cantidades de alimentos en menos tiempo y espacio, pero con mayor desgaste ecológico, dirigida a mover grandes beneficios comerciales (Perdomo, 2015).

La agricultura convencional, basada en las labranzas de los suelos, fue el modelo agrícola que la humanidad aplicó desde sus inicios, hace más de diez mil años. Bajo esta concepción de la agricultura, la labranza era vista como una pieza clave e ineludible a la hora de producir granos y forrajes.

IV. HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN

H_i: El sistema de agricultura de conservación tiene mayor disponibilidad y dinámica del agua en relación al sistema convencional.

H_i: La dinámica de la humedad del suelo influye en las etapas fenológicas del cultivo.

H_i: El sistema d agricultura de conservación tiene más rendimiento del cultivo en relación al sistema convencional.

V. Etapas generales del proceso de investigación

El proyecto de investigación se desarrolló en el marco del convenio de colaboración interinstitucional entre la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (UNAN-Managua / FAREM-Estelí) y La organización Catholic Relief Services (CRS).

La etapa de planificación consistió en la elaboración del protocolo a partir de un proyecto de investigación sobre Agua, Suelo y Agricultura (ASA) desarrollado en el marco de un programa dirigido por CRS en cooperación con la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, UNAN Managua, FAREM- Estelí.

5.1. Etapa de gabinete: Búsqueda de información y elaboración del protocolo de investigación.

Se consultaron fuentes de información, relacionadas al fenómeno objeto de estudio tales como: libros, revistas científicas impresas y digitales. También trabajos monográficos existentes en la web. Estas fuentes permitieron la familiarización con el fenómeno de objeto de estudio (tema) la disponibilidad de diferentes recursos metodológicos, para la elaboración del marco teórico y la discusión de los resultados encontrados en el proceso de investigación. En esta fase se diseñaron los instrumentos (matrices) de recolección de datos en campo.

5.2. Etapa de Campo: Esta etapa se describe según el orden de los objetivos específicos.

Inicialmente se realizó la ubicación de las parcelas donde se iba a llevar a cabo la investigación y posteriormente la toma de muestras.

Se determinó la fecha en la que se empezaría la toma de muestras y seguido a eso se procedió a recolectar las muestras de densidad aparente. Se recolectaron veinte y siete muestras de densidad aparente a diferentes profundidades de 0-10 cm, 11-20 cm y 21-30 cm, en cada uno de los sistemas de agricultura, en la Estación Experimental el Limón; estas muestras eran tomadas cada quince días.

Seguido de la extracción de las muestras estas fueron llevadas al laboratorio las cuales se secaron a una temperatura de 105°C, hasta que las muestra alcanzaran

un peso constante (24 horas aproximadamente). Esto permitió la absorción de la humedad de las muestras y obtener un peso seco más exacto.

De igual forma, se procedió a tomar las muestras de capacidad de campo, una por cada parcela, cada quince días, a profundidades de 0-30 cm y 30-50 cm y al igual que las muestras de densidad se llevaron al laboratorio y se secaron a la misma temperatura de 105°C durante 24 horas.

Con los datos de pesos frescos y secos por cada muestra recolectada, se procedió a realizar los análisis establecidos para así obtener los datos que nos permitirán cumplir con los objetivos establecidos en la investigación.

5.3. Etapa de gabinete: Análisis estadísticos y elaboración del informe de investigación.

La investigación se fundamentó en una estrategia de muestreo, en donde se seleccionaron las diferentes propiedades físicas de los sitios de estudio. El análisis estadístico se realizó en el software InfoStat versión 2015 (Di Rienzo *et al.* 2015) and R® versión 3.2.1 (R Core Development Team).

El supuesto de normalidad de los datos fue evaluado usando QQ-plot y la prueba de Shapiro-Wilks. Posteriormente se realizó un análisis de varianza usando modelos lineales generales mixtos. En todos los casos se reportan las medias \pm 1 error estándar y las medias se compararon usando la prueba LSD Fisher ($p < 0,05$).

VI. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1. Área de Estudio

El estudio se realizó en el primer semestre del año 2017, en la Estación Experimental para el Estudio del Trópico Seco “El Limón”. Adscrita a la UNAN – Managua / FAREM – Estelí, Nicaragua (13°05'31" N, 86°21'14" O), a 890m s.n.m. La temperatura media anual es de 22,3°C (16 \pm 33°C) y la precipitación media anual es de 804 mm, concentrada en la época lluviosa (mayo-octubre). El suelo es franco – arenoso con abundantes rocas blandas (López *et al.*, 2017).

6.2. Tipo de Estudio

Según su enfoque filosófico es de tipo cuantitativo, porque el fenómeno objeto de estudio (dinámica de la humedad del suelo) se analizó a través de mediciones de las variables de interés: densidad, porosidad, infiltración, temperatura. Según el método es deductivo porque parte de lo general (hipótesis), a lo específico. Además, es observacional no experimental porque únicamente se midieron las variables según las condiciones de manejo agrícola, por lo que no se manipula ninguna variable para medir su efecto.

Según el nivel de profundidad o alcance de la investigación es de tipo explicativo, porque determina la causa y efecto del fenómeno objeto de estudio, en función de los factores controlados o manipulados según el interés del investigador. De acuerdo al tiempo en que se realizó la investigación, esta se clasifica de corte longitudinal porque las variables de objeto de estudio se midieron en períodos sucesivos de tiempo, relacionadas a las etapas fenológicas del cultivo de maíz.

Esta investigación responde a la estrategia de la Protección de la Madre Tierra, Adaptación ante el Cambio Climático y Gestión Integral de Riesgo ante Desastre, contenida en el Plan Nacional de Desarrollo Humano de Nicaragua (PNDH, 2012-2016). Asimismo, se responde a la línea de investigación de “Agroecología” de la Estación Experimental para el estudio del trópico seco “El Limón” de la UNAN-Managua/FAREM-Estelí.

6.3. Población o Universo

Corresponde a 20 parcelas incluidas en el Programa de Agua, Suelo y Agricultura dirigido por CRS, ubicadas en el municipio de Estelí, en las comunidades de Mirafior, Quebracho, Zacatón, Cebollal, La Montañita y El Limón.

6.4. Muestra

Corresponde a una parcela de agricultura de conservación, una parcela de agricultura convencional y un sistema de referencia bosque. Estas parcelas están

ubicadas en la Estación Experimental para el estudio del trópico seco “El limón”, departamento de Estelí.

6.5. Unidad de análisis

Se recolectaron 162 muestras, las que se midieron en periodos sucesivos de tiempo, relacionadas a las etapas fenológicas de cultivo de maíz, en los diferentes sistemas de agricultura seleccionados para el estudio (conservación y convencional), en los cuales se tomaron 3 muestras en cada parcela a tres diferentes profundidades de 0-10 cm, 11-20 cm y 21-30 cm.

6.6. Tipo de muestreo

El tipo de muestreo es no probabilístico, ya que las parcelas se seleccionaron por conveniencia, debido a que cada parcela tiene una línea base y se desarrolla bajo un sistema de agricultura diferente.

6.7. Descripción de los tratamientos

Tabla 1. Tratamientos experimentales.

Tratamientos	Descripción
To. Bosques	Según la FAO año, el bosque se define bosques como la superficie de tierra que se extienden por más de 0,5 hectáreas dotadas de árboles de una altura superior a 5m y una cubierta de copas superior al 10 por ciento, o de árboles capaces de alcanzar esta altura in situ. No incluye la tierra sometida a un uso predominantemente agrícola o urbano.
T1: AC	AC + 4R (fuente, dosis, momento y lugar).
T2: Convencional	Agricultura convencional: Sistema de producción extremadamente artificial, basado en el alto consumo de insumos externos (energía fósil, agroquímicos, etc.) sin considerar los ciclos naturales.

6.8. Determinación del efecto de la humedad del suelo

6.8.1. Densidad aparente (g/cm³)

La **Da** del suelo es la relación entre la masa (secada al horno) de las partículas del suelo y el volumen total, incluyendo el espacio poroso que ocupan. Este indicador tiene los siguientes usos:

- Transformar la humedad gravimétrica en volumétrica
- Cálculo de la lámina de riego
- Porosidad total
- Índice de compactación
- Estima la masa de la capa arable

6.8.1.1. Método de Medición

Las muestras se recolectaron con cilindro de volumen conocido de 4.7 cm de diámetro y 5 cm de largo. Las muestras se llevaron al laboratorio donde se determinó el peso del suelo seco a 105 °C durante 24 horas y el volumen del suelo.

$$Da = \frac{\text{Masa de suelo seco}}{\text{Volumen total de suelo}} = \frac{M \text{ (gr)}}{V \text{ (cm}^3\text{)}}$$

6.8.1.2. Recolección de campo

- Se recolectaron las tres muestras en cada sistema de agricultura, y en el sistema de bosque, (parte alta, parte media y parte baja); a tres diferentes profundidades de 0-10 cm, 11-20 cm y 21-30 cm. Estas fueron tomadas cada 15 días, en un periodo de 3 meses.

- Se seleccionó y limpió el sitio donde se recolecto la muestra de manera que no se encontrara con cobertura vegetal.
- Colocamos el cilindro sobre el suelo, ubicando un trozo de madera sobre el cilindro y golpeando suavemente con el martillo.
- Extrajimos el cilindro con barreno, o haciendo un hoyo a los lados con cuchillos y retirando el anillo con cuidado sin turbar el suelo.
- Etiquetamos los cilindros.
- Pesamos el cilindro con peso húmedo del suelo (PSH) eng.
- Llevamos la muestra al laboratorio la colocamos en el horno a 105°C por 24 horas.
- Pesamos el cilindro con peso seco del suelo (PSS) eng.
- Por ultimo realizamos los cálculos de densidad aparente (g/cm³).

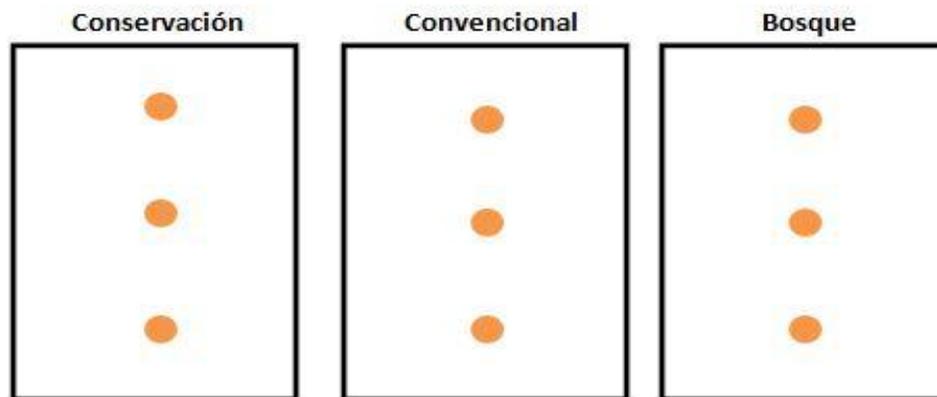


Ilustración 1. Representación muestreo de densidad aparente

6.8.1.3. Materiales y equipos

- Cilindros de 4.7 cm de diámetro y 5 cm de largo.
- Barreno
- Mazo
- Pala

- Machete
- Bolsas plásticas
- Libretas y lapiceros
- Balanza de precisión Scout-pro de 4000g.
- Horno para secar muestras (105°C)
- Masking Tape
- Marcadores

6.8.2. Humedad Gravimétrica

6.8.2.1. Método de medición

Las muestras se recolectaron en dos sistemas de agricultura (conservación y convencional) y en un sistema de referencia (bosque) a tres profundidades, de 0-10 cm, de 11-20 cm y 21-30 cm, utilizamos cilindros de 4.7 cm de diámetro y 5 cm de largo. La muestra fue llevada a laboratorio (horno a una temperatura de 105 °C por 24 horas).

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

6.8.2.2. Recolección en campo

- Se recolectaron las tres muestras en cada sistema de agricultura, y en el sistema de referencia, (parte alta, parte media y parte baja).
- Luego se seleccionó y limpio el sitio donde se recolecto la muestra, quitando toda la cobertura vegetal.
- Con Tara: Se hizo una rebanada de suelo de 100 a 200 gr se depositó en la tara, la muestra no se debe turbar.

- Con cilindro: Se colocó el cilindro directamente sobre la superficie del suelo, poniendo un trozo de madera sobre este) luego se retiró con cuidado, y se hicieron rebanadas en los extremos.

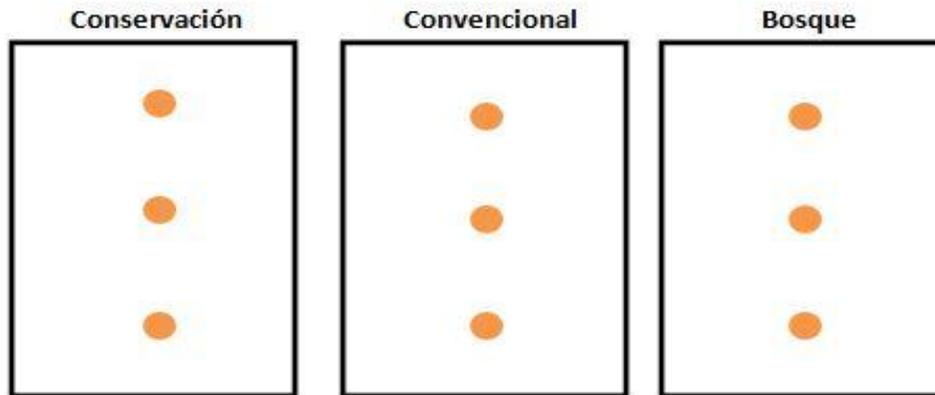


Ilustración 2. Representación muestreo de humedad gravimétrica

6.8.3. Humedad Volumétrica

La humedad volumétrica se puede considerar como la lámina de agua contenida en una unidad de profundidad de suelo. Es una forma práctica de medir la humedad, y además es independiente de la densidad aparente, razón por la que es una buena base para comparar contenidos de humedad en suelos, en forma de volumen, no de succión de agua en el suelo. (FAO, 2007)

Se estima de la siguiente forma:

$$\%HV = \%HG \frac{Da}{DH_2O}$$

Donde;

%HV = Por ciento de agua por volumen = mm/10 cm de profundidad de suelos

%HG = Por ciento de humedad por peso.

Da = Densidad aparente [g suelo seco] / [Volumen total que ocupa el suelo]

Densidad del agua = (1 g/cm³)

El peso suelo húmedo se refiere al peso del suelo al momento del muestreo expresado en gramos y el peso de suelo seco al horno se refiere cuando ya el suelo ha sido secado al horno. El porcentaje de humedad se determina mediante el secado de las muestras en una estufa a una temperatura de 105 °C por 24 horas.

6.8.4. Tasa de infiltración

Es la rapidez con la que el agua penetra en el suelo, se suele medir por la profundidad en mm de la capa de agua que puede penetrar en el suelo en una hora. (Heras, 2009).

6.8.4.1. Método de medición

Se llevo a cabo con el infiltrómetro de doble cilindro. Donde la tasa de infiltración se calculó a partir del cociente entre la cantidad de agua infiltrada y el intervalo de tiempo: $f = \text{variación de altura} / \text{variación de tiempo}$.

6.8.4.2. Recolección en campo

- Se recolectaron las tres muestras en cada sistema de agricultura. Estas fueron tomadas una vez durante la investigación.
- Seleccionamos y limpiamos bien el sitio donde se ubicó el infiltrómetro (libre de material vegetal sin descomponer).
- Luego colocamos un plástico en el cilindro inferior.
- Posteriormente llenamos de agua ambos cilindros, retirando el plástico, iniciando la medición, manteniendo los cilindros al nivel del agua.

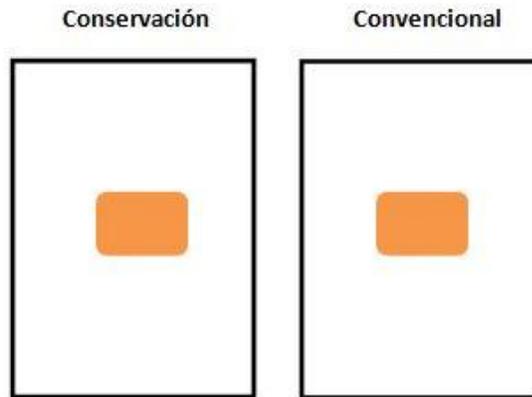


Ilustración 3. Representación muestreo de infiltración

6.8.4.3. Lectura del nivel de agua

- Después de haber retirado el plástico del cilindro se procedió a las lecturas del cilindro interior con una regla graduada.
- Las mediciones no continuarán en intervalo de tiempo determinado, a inicio serán 30 segundos, seguirán de 2, 5 minutos posteriormente 10, 15, 20, 25 y 30 minutos. Esta prueba dura aproximadamente dos horas.
- Cuando en los cilindros ya se ha infiltrado una lámina alrededor de 5 cm, se procedió a llenar nuevamente procurando alcanzar el mismo nivel inicial. Esta operación debe hacerse rápidamente, para lo cual debe efectuarse antes e inmediatamente después del llenado al fin de que el tiempo transcurrido en esta operación sea considerado cero.

6.8.5. Agua disponible

La disponibilidad de agua en el suelo se refiere a la capacidad de un suelo de retener el agua disponible para las plantas. Después de una lluvia importante o riego, el suelo comenzará a drenar agua hasta alcanzar la capacidad de campo. (Castañón, 2007).

Debido a que contenidos de humedad por encima de capacidad de campo no pueden ser retenidos en contra de las fuerzas de gravedad y son drenados y debido a que contenidos de humedad por debajo del punto de marchitez permanente no pueden ser extraídos por las raíces de las plantas.

$$AD = HV\%CC - HV\%PMP * \%HG * Profundidad$$

HV%CC: Capacidad de campo

HV%PMP: Punto de marchitez permanente

%HG: Porcentaje de humedad

Profundidad de la lámina de suelo.

6.9. Reserva útil de agua en el suelo

6.9.1. Determinación de la capacidad de campo

El efecto de las propiedades físicas del suelo en la dinámica del agua en los sistemas de agricultura de conservación, convencional y un sistema de referencia, bosque, se realizó a través de la determinación de la capacidad del campo por el método de campo.

Se denomina Capacidad de Campo a la cantidad de agua humedad que es capaz de retener el suelo luego de saturación o de haber sido mojado abundantemente y después dejado drenar libremente, evitando pérdida por evapotranspiración hasta que el potencial hídrico del suelo se estabilice (alrededor de 24 a 48 horas luego de la lluvia o riego).

Este contenido de agua está en condiciones para ser utilizada por el cultivo y se define gráficamente como la diferencia entre el Punto de Capacidad de Campo y el Punto de Marchitez Permanente, expresado porcentualmente o en milímetros de agua disponible. (Castañón, 2007).

6.9.1.1. Procedimiento

- Preparamos el área de terreno de 1 m², bordeado, humedecemos el perfil a profundidades de 0-30 cm y de 30-50 cm, dos veces al mes cada 15 días. Una vez aplicada el agua se deja que se infiltre y se cubre con plástico para evitar la evaporación y crecimiento de arvenses.
- A partir de que el agua termine de infiltrarse, iniciamos la toma de muestras de suelo en el espesor humedeciendo a intervalos de 24 horas, para determinar los porcentajes de humedad que presenta el suelo durante el proceso de secado.
- Los porcentajes de humedad se determinaron mediante el secado en estufa a una temperatura de 105°C por un periodo de 24 horas.
- La diferencia de peso entre la muestra húmeda y seca determino el contenido de agua, el cual se calculó como porcentaje de humedad con respecto al suelo seco.

$$Pw = (PSH - PSS / PSS) * 100$$

Dónde:

Pw: % de humedad

PSH: Peso de suelo húmedo

PSS: Peso de suelo seco

Los valores de los porcentos de humedad que se obtienen en la serie de pesadas de muestras, se utilizaron para construir la curva de humedad en función del tiempo, cuando la curva tiende a la horizontal (valores de Pw casi constantes) se tendrá el valor de Pw correspondiente a la capacidad de campo.

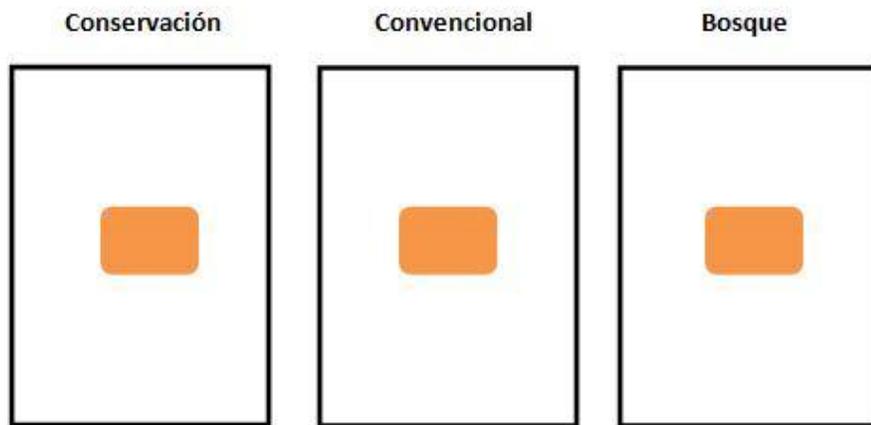


Ilustración 4. Representación de puntos de muestreo capacidad de campo

6.9.1.2. Materiales a Utilizar

- Cubeta
- Pala
- Agua
- Plástico negro
- Barreno tipo Veihmeyer (preferible de ranura tipo California)
- Taras con tapa hermética (una vez obtenida muestra, sellar tapa con masking tape)
- Estufa
- Balanza de precisión Scout-pro de 4000g.

6.9.2. Punto de marchitez permanente

Es el contenido de agua que tiene un suelo cuando el cultivo ha extraído toda el agua utilizada. En el suelo queda un cierto contenido de agua, pero tan fuertemente es retenida que no puede ser extraída por el cultivo.

6.9.2.1. Método de medición

Se estima con la ecuación de (Silva et al., 1988).

$$\text{HP\% PMP} = \text{HP\% CC} * 0.74 - 5$$

6.10. Necesidades de los cultivos

6.10.1. Coeficientes de cultivo

Es la relación que existe entre la Evapotranspiración real (ET_c) de cada cultivo específico y la evapotranspiración de referencia ET_0 en esas mismas condiciones, y en ese mismo microclima. Es por tanto un número adimensional (normalmente entre 0,1 y 1,2) que multiplicado por el valor de ET_0 da como resultado evapotranspiración para cada cultivo (ET_c). Los coeficientes de cultivo (K_c) se usan, junto con ET_0 , para calcular las tasas de evapotranspiración de cada cultivo. Los agricultores pueden utilizar el valor resultante de ET_c para decidir con qué frecuencia y cuánta agua se debe aplicar en cada riego (SIAR, 2016).

Necesidades hídricas:

Evapotranspiración potencial de la zona: Balance hídrico

Coeficiente de cultivos de Maíz (k_c):

La necesidad hídrica de un cultivo se determina a través de: $ET_c = ETP * K_c$ (por cada 10 días).

Tabla 2. Tabla de medición

	Junio			Julio			Agosto			Septiembre			Octubre		
	10	20	30	10	20	30	10	20	30	10	20	30	10	20	30
ETP (mm/10 días)															
Kc															
Hídrica (mm)															
A disponible (mm)															
Déficit (mm)															
Exceso (mm)															

6.11. Rendimiento del cultivo

6.11.1. Muestreo en campo

Se delimitaron 5 m lineales en la parte alta, media y baja de cada parcela de investigación y se extrajeron todas las mazorcas de maíz en el área delimitada, se procedió posteriormente a pesar cada muestra obtenida por parcela.

De todas las mazorcas extraídas en cada parcela, se tomó una submuestra de 5 mazorcas de manera intencional, seleccionando las mazorcas con mejores características por submuestra, en cada parcela, tales como longitud, grosor y dispersión de los granos y luego estas se desgranaron. Posteriormente se colocó un detector de humedad para determinar el porcentaje de humedad de los granos de *Zea mays*.

6.11.2. Cálculo del peso del grano de las muestras de campo en kg

Primero se convirtió el peso de las mazorcas medidas en el campo a peso de grano. Se multiplica el peso de las mazorcas de la muestra medida en campo por la proporción de peso entre mazorca/grano determinada de la sub-muestra para la parcela indicada (ASA o Testigo).

$$\text{PGC (kg)} = \text{PCM} \times (\text{PSG}/\text{PSM})$$

Donde:

PGC: Peso del grano de campo (kg)

PCM = Peso de las Mazorcas de la Muestra de Campo (kg)

PSG = Peso de la sub-muestra de grano (kg)

PSM = Peso de la sub-muestra de mazorcas (kg)

6.11.3. Ajuste del peso del grano de campo al 15% de humedad

Posterior al cálculo del peso del grano, ajustamos el peso del grano de campo al 15% de humedad usando el % de humedad de campo que medimos en la sub-muestra de grano.

$$\text{PG}_{15} = \text{PGC} \times ((100 - \text{HC}) / 85)$$

Donde:

PG₁₅ = Peso de Grano de la muestra a 15% de humedad (kg)

PGC = Peso de Grano de Campo a Humedad de Campo (kg)

HC = Humedad de Campo de la Sub-muestra de Grano (%)

85 = Factor de multiplicación para ajustar a 15%

6.11.4. Cálculo del área de muestreo en hectáreas

El área de parcela útil (AU) es el largo del surco muestreado (LS) por la distancia entre los surcos (DS):

$$\text{AU (m}^2\text{)} = \text{LS} \times \text{DS}$$

Donde:

AU = Área de parcela útil (m²)

LS = Largo de surco muestreado por muestra (m)

DS = Distancia entre surcos (m)

6.11.5. Cálculo del Rendimiento en kg/ha

$$\text{Rendimiento (kg/ha)} = \text{PG}_{15} \times (10000 / \text{AU})$$

Donde:

PG₁₅ = Peso de Grano de la muestra a 15% de humedad (kg) determinado previamente.

10000 = Factor para ajustar m² a hectáreas.

AU = Área de parcela útil (m²)

6.11.6. Fórmula de Cálculo Completo

Se puede combinar los pasos arriba para determinar el rendimiento del maíz a 15% de humedad con la siguiente fórmula:

$$\text{Rendimiento (kg/ ha)} = (\text{PCM (PSG/PSM)}) \times ((100 - \text{HC}) / 85) \times (10,000 / (\text{LS} \times \text{DS}))$$

Donde:

PCM= Peso de campo de las mazorcas cosechadas por parcelas útiles (kg)

PSM=Peso de la sub-muestra de mazorcas (kg)
PSG=Peso de la sub-muestra de grano (kg)
LS = Largo de surco muestreado por muestra (m²)
DS= Distancia entre surcos (m²)
HC = Humedad de campo de grano (%)
85 = Factor para ajustar el grano al 15% de humedad
10000 = Factor para ajustar m² a hectáreas.

VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1. Relación de las propiedades físicas del suelo con la retención de la humedad en el suelo en los sistemas de agricultura de conservación, agricultura, convencional y bosque.

7.1.1. Densidad aparente

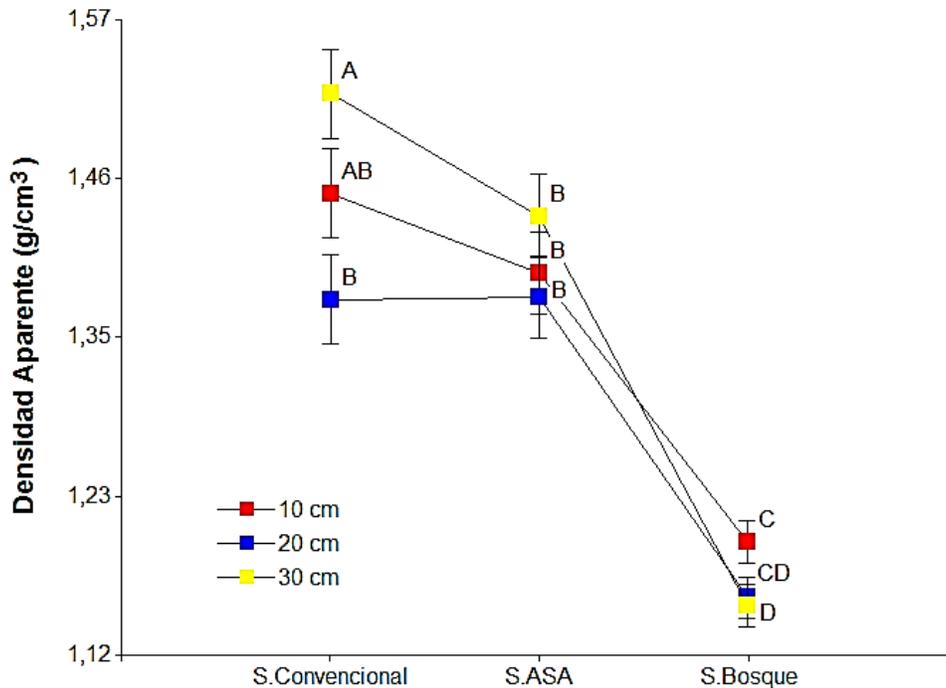
Se puede observar (grafica N° 1) que entre el sistema convencional y el sistema ASA, no existen diferencia estadística significativa y efecto de tratamientos sobre la densidad aparente, en comparación con el sistema de bosque donde la densidad aparente promedio es 1.18 g/cm³.

Hay un efecto en la profundidad, donde a 10 cm no existen diferencias entre el sistema convencional y ASA, mientras que el sistema ASA y el sistema Bosque si existen diferencias significativas, a los 20 cm de profundidad. Sin embargo, hasta en la profundidad de 30 cm el sistema ASA difiere del sistema convencional.

De los tres sistemas, el sistema de referencia (Bosque) es el que presenta menos densidad aparente en las tres profundidades en comparación a los demás sistemas.

Según el análisis de la varianza, hay un efecto del sistema y la profundidad sobre la densidad aparente (F=3.1; P=0.0179). Es decir, el valor medio de densidad aparente del sistema de conservación (g/cm³) (1.40 ± 0.02) no difirió de la densidad aparente del sistema convencional (g/cm³) (1.45 ± 0.02). Sin embargo el

sistema de bosque fue el que tuvo menor densidad aparente en comparación a los demás sistemas en todas las profundidades (g/cm³) (1.17 ± 0.01).



Gráfica 1 Densidad aparente del suelo por tipo de sistema (media ± EE). Valores con letras iguales indican que no hay diferencias significativas usando LSD Fisher ($p < 0,05$).

Alegre, J. C. 1991. Define los siguientes rangos de la densidad aparente.

Medida	Bajo	Límite crítico ideal	Alto
Densidad aparente gr/cm³	Menor 1.1	1.2 – 1.3	Mayor 1.3
Datos medidos parcelas	100% de datos		

Los resultados promedios de los datos de la parcela de conservación y convencional se encuentran dentro de los límites altos de la densidad aparente para el tipo de suelo en el que se realizó la investigación (franco arenoso), las mediciones se hicieron a los 10, 20 y 30 cm de profundidad y esto no favorece dichos resultados. Según Amézquita (1998), el grado de compactación de los suelos inicia a 1.3 gr/cm³ después de los 20 cm de profundidad, y según nuestros datos las parcelas presentan problemas de compactación en los primeros 20 cm.

La densidad aparente se relaciona directamente con la porosidad del suelo y a la vez con la retención del agua en el suelo según la textura y estructura, un suelo muy compactado tiene densidad alta y esto afecta directamente la infiltración, saturación rápida y altas de tasas de escurrimiento superficial de agua.

Comparando los datos de densidad aparente de las parcelas establecidas en la Estación Experimental el Limón con los datos de 25 parcelas en otros municipios (Yalagüina, La Concordia, Jinotega, San Dionisio, Esquipulas, y Darío) comprendidos dentro del proyecto Agricultura, Suelo y Agua, podemos ver que la densidad aparente en las parcelas experimentales presenta datos en los cuales las medias son 1.12 y 1.14 gr/cm³. Las medias comparadas son Alta 1.14, Media 1.13 y Baja 1.12 gr/cm³. En comparación a los datos del Limón, en los que las medias varían de 1.40 y 1.45 y 1.17 gr/cm³.

Esta diferencia de datos se le atribuye al tiempo que se lleva empleando la agricultura de conservación en las parcelas de los 25 municipios comprendidos en el proyecto ASA (3 años) por lo que este tipo de práctica ya ha hecho un efecto positivo en dichas parcelas; ya que la parcela ASA de la Estación Experimental el Limón solo lleva 1 año bajo este sistema, por lo que aún no logran cambios significativos en la disminución de la densidad aparente en este lugar.

7.1.2. Humedad Volumétrica

La humedad volumétrica es producto de la humedad gravimétrica multiplicada con la densidad aparente/densidad del agua. Nos proporciona la fracción de humedad en cm³ contenida en una fracción de suelo cm³, esta nos permite calcular la lámina de agua en mm a los 10, 20 y 30 cm de profundidad, esta es el agua disponible, relacionado con la buena estructura de los suelos y continuidad de los poros.

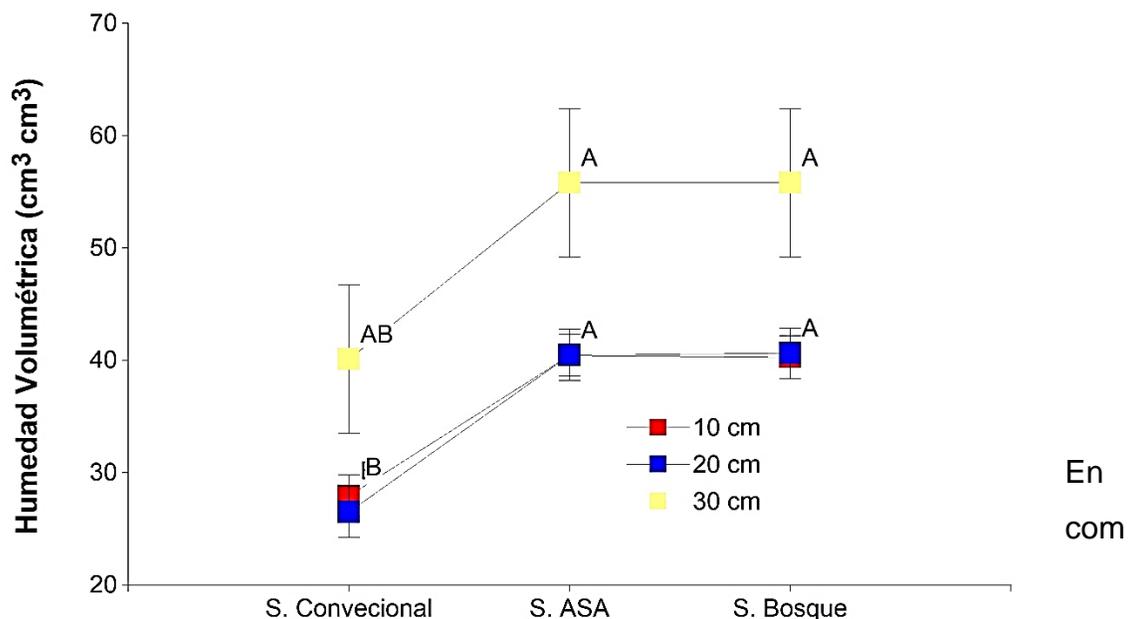
El contenido de humedad volumétrica del suelo es un indicador complementario y necesario en numerosos análisis, debido a las particularidades de los suelos, es necesario probar las ventajas en cuanto al aumento de la retención de humedad en el suelo, que tendría como consecuencia, un aumento en la eficiencia de uso

de este recurso al aumentar la relación entre rendimiento y agua utilizada por el cultivo.

Algunos autores indicaron que no existen diferencias significativas en la disponibilidad de agua en el perfil de suelo al momento de la siembra, entre un sistema de conservación y uno convencional, pero a medida que avanza el período de cultivo, los suelos con cubierta vegetal tienen mayor infiltración que el mismo suelo cultivado en forma tradicional; la presencia de raíces en descomposición y los rastrojos dejados, sirven de vías de infiltración del agua al suelo (Uribe C & Rouanet M, 2001).

Se encontró efecto del sistema ($F=11.3$; $P=0.0001$) y la profundidad ($F=6.9$; $p=0.0012$) sobre la humedad volumétrica en el suelo. El sistema de conservación y Bosque mostraron el mayor índice de humedad volumétrica ($\text{cm}^3\text{-cm}^3$) (45.5 ± 2.4). Sin embargo, el sistema convencional fue el que más diferencia significativa tuvo en comparación a los demás sistemas en todas las profundidades ($\text{cm}^3\text{-cm}^3$) (31.5 ± 2.4).

Independientemente del sistema, la humedad gravimétrica fue mayor a los 30cm de profundidad (50.57 ± 3.8), mientras a los 10 (36.2 ± 1.1) y 20cm (35.9 ± 1.3) no se evidenciaron diferencias estadísticas para la humedad gravimétrica.



Gráfica 2. Humedad volumétrica del suelo por tipo de sistema (media \pm EE). Valores con letras iguales indican que no hay diferencias significativas usando LSD Fisher ($p<0,05$).

paración con otros estudios realizados, se refleja que la humedad aumenta con relación al nivel de profundidad, como por ejemplo el trabajo realizado por el Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación Quilamapu, Chile, 2001: efecto de tres sistemas de labranza sobre el nivel de humedad en el perfil del suelo.

Indicaron que en las primeras etapas de crecimiento y desarrollo del cultivo, el contenido de humedad en el suelo no presenta diferencias entre un sistema con residuos, uno sin residuos superficiales, y un sistema convencional, sin embargo, a medida que avanza el desarrollo del cultivo, la cero labranza con residuos superficiales presenta mayor contenido de humedad disponible que los otros sistemas, a profundidades entre 0 y 20 cm y entre 20 y 60 cm.

Adicionalmente, los residuos vegetales aumentan la infiltración y disminuyen la evaporación, lo que influye directamente en un mayor contenido de humedad. Los mismos autores indicaron que al comparar la parcela cero labranzas (con y sin residuos vegetales) con un sistema tradicional, bajo los 40cm de profundidad, el contenido de agua en el suelo del sistema conservacionista fue mayor que en el sistema tradicional.

De igual forma, en otro estudio realizado por el Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. Chinchiná, Caldas, Colombia: aspectos hidrológicos en un bosque y en plantaciones de café (*Coffea arabica L.*) al sol y bajo sombra: nos indica que el comportamiento de la humedad volumétrica, en el suelo de un cafetal, a libre exposición solar y un cafetal bajo sombrío a las profundidades de 20 y 40 cm.

Se observa claramente que en el suelo del cafetal bajo sombrío, con un mayor horizonte orgánico, no se presentó deficiencia de agua durante los períodos críticos de julio-agosto-septiembre de 1997 y diciembre-abril de 1998, mientras que, a las dos profundidades (20 y 40cm), ocurrieron deficiencias severas para el cafetal a libre exposición solar; este suelo presenta un horizonte orgánico muy deteriorado.

Independientemente del sistema la humedad gravimétrica presento diferencias significativas a la profundidad de 3 0cm, donde a los 10 y 20 cm no se evidenciaron diferencias estadísticas para la humedad gravimétrica

En general, el manejo conservacionista mejora consistentemente la humedad del suelo comparado con el sistema tradicional, excepto en los primeros centímetros de suelo.

7.1.3. Infiltración

La infiltración, comúnmente definida como la entrada de agua dentro del perfil del suelo en forma vertical, es un proceso de gran importancia práctica para el diseño y la evaluación del riego en la parcela, pues la capacidad de infiltración del suelo es la que determina la tasa con la que el agua puede ser aplicada a su superficie sin escurrimiento.

En los suelos secos, el agua se infiltra con rapidez a esto se le llama La velocidad de infiltración puede definirse como la capacidad de admisión de agua de un terreno desde la superficie al interior del mismo. En otros términos, es la relación entre la lámina de agua infiltrada y el tiempo que tarda en infiltrarse esa lámina. Comúnmente suele expresarse en cm/h ó mm/min.

Esto explica que la cantidad de agua que se infiltra al suelo está asociada por su abundancia, la estabilidad y tamaño de los poros en la superficie, su contenido de agua y la continuidad de los poros de transmisión. Esta condición lo proporciona el sistema de agricultura de conservación con la cubierta permanente, presencia de raíces por las rotaciones y el disturbio mínimo desarrollan una condición natural del suelo que ayudad a la infiltración y retención de humedad (Espinoza, 2017).

La textura del suelo se determinó en Laboratorios Químicos, S.A, Laquisa. En los resultados se evidencio que el suelo presenta 49.08% de arena, 30.84% de limo y 20.08% de arcilla, por lo que es un suelo franco arenoso. La velocidad de infiltración según la textura es mayor en suelos arenosos, seguido de los francos, francos arcillosos y arcillosos.

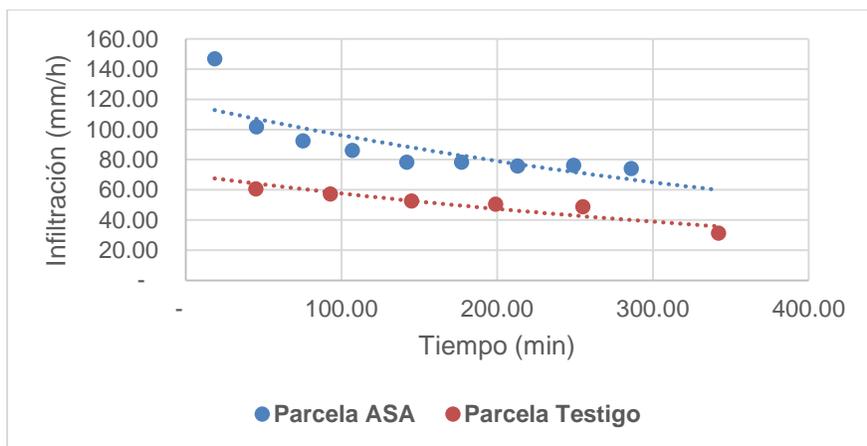
Tabla 3. Rangos de velocidad de infiltración básica de los diferentes tipos de suelo (Brouwer et al., 1988)

Tipo de suelo	mm/h
Arenoso	Más de 30
Franco arenoso	20-40
Franco	10 a 20
Franco arcilloso	5 a 10
Arcilloso	1 a 5

Al realizar las mediciones de la velocidad de infiltración en la parcela de agricultura de conservación (Ilustración N° 3) encontramos que los valores obtenidos están dentro de los rangos establecidos para los suelos francos arenosos (tabla 3).

Ya que se obtuvo un promedio de velocidad de infiltración de 39.5 mm/h, mientras que en la parcela de agricultura convencional la velocidad con la que la lámina de agua se infiltra lleva presente mayores intervalos de tiempo.

Esto se atribuye a que es una parcela donde se implementa la labranza, por lo que son suelos presentan mayor grado de compactación, en los que el tamaño de los poros disminuye afectando así a velocidad con la que el agua se infiltra; en dicha parcela se obtuvo un promedio de 91.0 mm/h.



Gráfica 3. Infiltración del suelo en parcela de conservación y convencional.

Al comparar los datos obtenidos con estudios realizados, se obtuvo que la velocidad de infiltración de la parcela de agricultura de conservación coincide con Hillel 1980 y FAO, 2001 con 20 a 40 mm/hr.

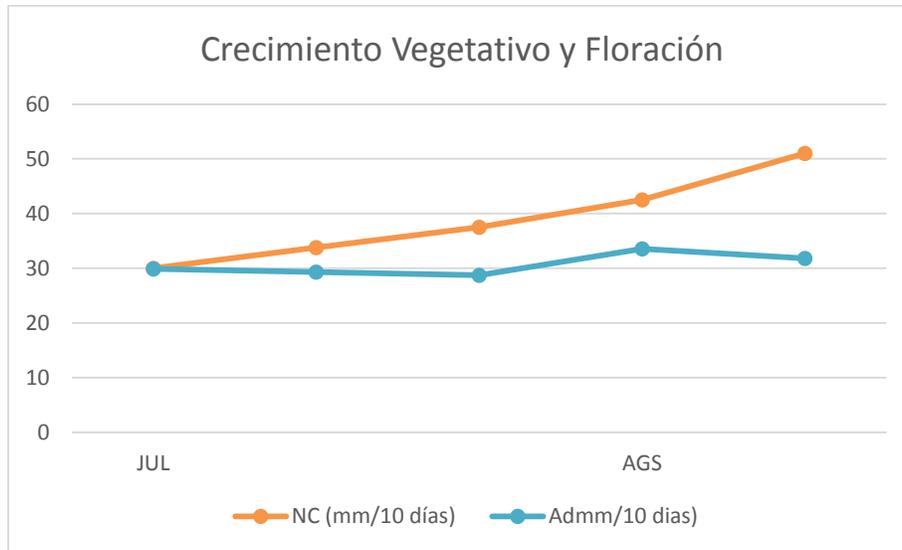
7.2. Efecto de la humedad del suelo en las etapas fenológicas del cultivo de maíz (*Zea mays L.*).

7.2.1. Necesidades Hídricas del cultivo vs Agua disponible

A partir de los datos de evapotranspiración de referencia del cultivo (Etc), coeficiente del cultivo (Kc) y agua disponible (capacidad de campo y punto de marchitez permanente). Se determinó el efecto de la humedad en las etapas fenológicas del cultivo del maíz; muestreo llevado a cabo cada diez días, obteniendo así los principales resultados detallados a continuación:

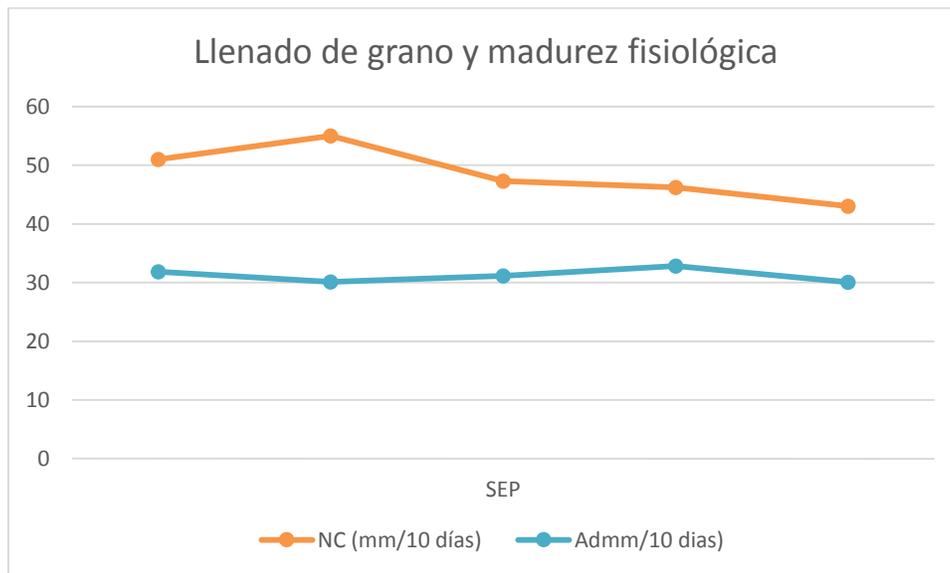
A partir de los estudios realizados en las etapas iniciales de desarrollo fenológico de cultivo de Maíz *Zea mays*, los resultados obtenidos fueron:

En los primeros 30 días de desarrollo fenológico del cultivo, las necesidades hídricas eran mínimas (Gráfica N°3), con aproximadamente 4 mm de déficit hídrico. Presentándose entre los días 40 y 50 un déficit de 19.16 mm de agua, esto podría ser atribuido al fenómeno “veranillo” o canícula ocurrido entre los meses de Julio y agosto.



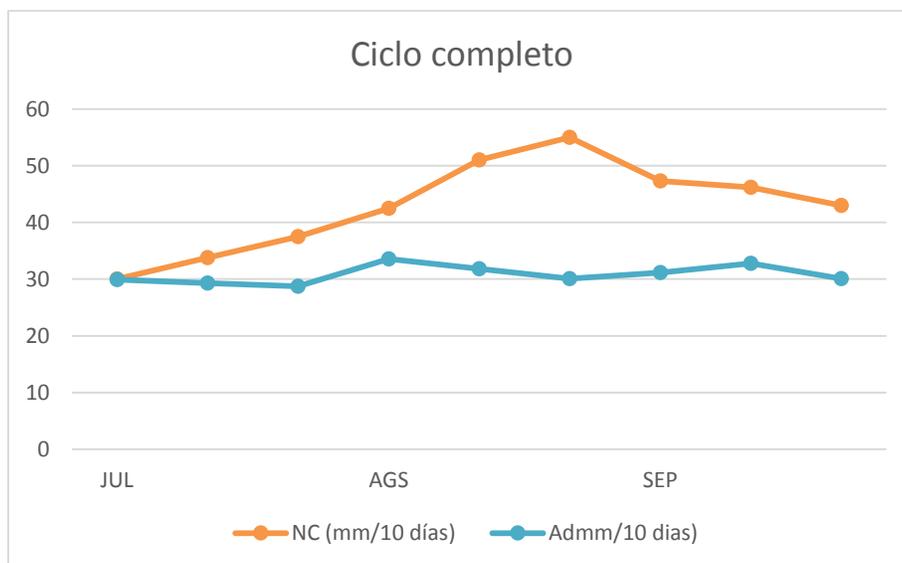
Gráfica 4. Necesidades hídricas en los primeros cincuenta días

La etapa comprendida entre los días 60 y 100 del ciclo fenológico del maíz se evidencio un déficit hídrico mayor (Gráfica N°4), ya que el cultivo requería en los días 60, 70 y 80, 153 mm de agua para satisfacer las necesidades hídricas, sin embargo, solo se encontraban disponibles 93.08 mm de lámina de agua, teniendo un déficit de 60.21 mm de agua.



Gráfica 5. Necesidades hídricas del Zea mays a los noventa días.

Durante el ciclo fenológico del cultivo que comprende las etapas de siembra-germinación, crecimiento vegetativo, floración, llenado de grano y madurez fisiológica; El suelo se encontró en un estado óptimo en las primeras tres etapas (Grafica N°5), requiriendo solamente 41 mm de agua, sin embargo, el cultivo demando más agua para su desarrollo en las dos etapas finales, presentando un déficit de 86.55 mm de agua.



Gráfica 6. Necesidades hídricas y agua disponible en el ciclo del maíz.

Se obtuvo los requerimientos hídricos del maíz en cuatro estadios de siembra, en suelos franco arenosos en la Estación Experimental El limón, donde según (Deras . F, 2010) la siembra de maíz se cosecha desde 110 a 125 días. El maíz de grano tierno se cosecha entre 85 y 95 días. En general, el maíz necesita por lo menos de 500 a 700 mm de agua, bien distribuida durante el ciclo del cultivo.

Se tiene conocimiento que el maíz es una planta con tolerancia relativa al déficit de agua. Las necesidades de agua más importantes son en la fase de germinación de la semilla y la fase de la formación de la espiga- grano donde se debe garantizar un suministro adecuado de agua. Para garantizar la uniformidad de germinación debe encontrarse con la humedad del suelo de 90-95% de la capacidad de campo a una profundidad entre 20 a 30 cm.

En otras fases se debe encontrar con una profundidad de 30 cm, asegurándose de que la humedad del suelo no disminuya del 85-80% de la capacidad de campo.

Estudios previos a la adopción generalizada de la siembra directa (Zeljovich *et al*, 1989 y Zeljkovich *et al.*, 1995) analizaron las relaciones entre las deficiencias climáticas durante el período posterior a la floración y los rendimientos de maíz obtenidos en parcelas experimentales con distintos sistemas de labranza durante años. Las técnicas de manejo conservacionistas acompañadas de fertilización nitrogenada resultaron las estrategias estocásticamente más eficientes para la producción de maíz en rotación con diferentes cultivos, tales como trigo y soja.

A través de los datos que se obtuvieron se generó la información necesaria para poder hacer notorio el déficit hídrico en el cultivo, estudiado en las etapas de llenado de grano y madurez fisiológica, donde el requerimiento hídrico aproximadamente no fue saciado con 86.55 mm de agua. Sin embargo, el cultivo de maíz, puede recuperarse sin afectarse seriamente su rendimiento.

Cerca de la floración el maíz es muy sensible al estrés hídrico, y el rendimiento de grano puede ser seriamente afectado si se produce sequía durante este período. El maíz es muy sensible también al aniego o encharcamiento; es decir, a los suelos saturados y sobresaturados. Desde la siembra, hasta aproximadamente los 15-20 días.

El impacto que puede tener una sequía sobre el cultivo es la resultante de la interacción entre los efectos que provoca esa deficiencia hídrica a diferentes escalas de la planta y los mecanismos de resistencia que están en juego. Ha sido determinado que la sensibilidad del cultivo a la falta de agua aumenta a partir de la diferenciación de la flor masculina en el tejido meristemático, y presenta un máximo en el momento de la floración.

Debido a que no existió un gran déficit o estrés hídrico en los estadios fenológicos del cultivo en estudio, pudo desarrollarse de una manera relativamente adecuada.

Sin embargo, las prácticas de manejo del cultivo pueden estar íntimamente relacionadas en las características de la capacidad de absorción de agua del suelo y la superficie de cultivo, valores notorios obtenidos en la densidad del suelo (1.40 y 1.45 y 1.17 gr/cm³), mostrándose un alto grado de compactación.

Esto se evidencio en la parcela Convencional en la que no se llevan a cabo actividades de conservación de suelo, por consiguiente en esta área, las plantas de Maíz presentaron menor crecimiento en comparación con la parcela de investigación ASA, donde se trabaja con medidas de conservación (4 R), y donde los valores de humedad volumétrica en el sistema ASA son próximos y los más significativos en cuanto al sistema de referencia Bosque, (45.5 ± 2.41), factores esenciales en la alta productividad evidenciada para el cultivo de *Zea mays*.

7.3. Incidencia de las propiedades físicas del suelo en la productividad del cultivo *Zea mays* en la parcela ASA y convencional de la Estación experimental el Limón

7.3.1. Rendimiento del cultivo

Se llevaron a cabo tres muestreos en los sistemas, en las parcelas de agricultura convencional y ASA, donde a partir de cálculos de rendimiento de cultivo se obtuvieron los siguientes resultados:

Sistema	Unidad de Medida (Kg/Ha)
ASA	5,819.6
Convencional	4,721.6

A partir de los resultados obtenidos podemos apreciar que no existen diferencias significativas en cuanto a la productividad del cultivo *Zea mays* en ambos sistemas, se llevó a cabo un promedio de los resultados obtenidos en los sistemas de agricultura, para poder apreciar las diferencias mencionadas anteriormente.

Sin embargo se hace notoria que dicha productividad se ha visto influenciada directamente por las propiedades físicas del suelo, tales como (densidad y

humedad, porosidad e infiltración) propiedades que han sido tratadas a través de las técnicas agronómicas para el manejo del cultivo en cuestión, que han contribuido en el aumento de la productividad y por consiguiente en la calidad, evidenciándose que el método de agricultura en el sistema ASA propicia mejores resultados de rendimiento de cultivo de maíz.

Según el análisis de la varianza, no se encontró efecto del sistema sobre la producción de maíz ($F=3.7$; $P=0.1253$). Es decir, la producción media de maíz (kg ha^{-1}) del sistema ASA (5819.6 ± 401.6) no difirió de la producción del sistema convencional (4721.6 ± 401.6).

El rendimiento del maíz de las parcelas ASA y convencional de la Estación Experimental el Limón, en comparación con las demás parcelas del proyecto Agua, Suelo y Agricultura de los municipios de Yalagüina, La Concordia, Jinotega, San Dionisio, Esquipulas, y Darío; obtuvo un mayor rendimiento ya que en la parcela ASA de la comunidad el Limón evidenció un promedio de $5819.6 \text{ kg ha}^{-1}$ mientras que en la convencional $4721.6 \text{ kg ha}^{-1}$.

Con respecto a los datos de las 25 parcelas en los que se obtuvo en ASA 2000 kg ha^{-1} y 1800 kg ha^{-1} del convencional. Al comparar estos resultados con los rendimientos nacionales maíz 1400 kg/ha (MAG, 2014), el sistema ASA supera en un 70% los datos estimados a nivel nacional y así mismo los de las 25 parcelas.

VIII. CONCLUSIONES

- ✓ Las hipótesis planteadas se aceptan de manera satisfactoria, de acuerdo con los resultados obtenidos, el sistema de agricultura de conservación tiene mayor disponibilidad y dinámica del agua en relación al sistema convencional, de igual forma la dinámica de la humedad del suelo influyo en las etapas fenológicas del cultivo; el sistema de agricultura de conservación tiene más rendimiento del cultivo en relación al sistema convencional.

- ✓ A través del proceso de investigación se obtuvo que las propiedades físicas del suelo, densidad, porosidad, infiltración y textura, inciden positivamente en la retención de la humedad del suelo en los sistemas de agricultura de conservación, convencional y en el sistema de referencia bosque.

En los datos de densidad según el análisis de la varianza, hay un efecto del sistema y la profundidad sobre la densidad aparente; Es decir, el valor medio de densidad aparente del sistema conservación (g/cm^3) (1.40 ± 0.02) no difirió de la densidad aparente del sistema convencional (g/cm^3) (1.45 ± 0.02). Sin embargo, el sistema de bosque fue el que tuvo menor densidad aparente en comparación a los demás sistemas en todas las profundidades (g/cm^3) (1.17 ± 0.01).

Mientras que en la humedad volumétrica se obtuvo que hay un efecto del sistema y de la profundidad, puesto que el sistema de conservación y bosque mostraron el mayor índice de humedad volumétrica ($\text{cm}^3\text{-cm}^3$) (45.5 ± 2.4). Sin embargo, el sistema convencional fue el que más diferencia significativa tuvo en comparación a los demás sistemas en todas las profundidades ($\text{cm}^3\text{-cm}^3$) (31.5 ± 2.4).

Sin embargo, en la velocidad con la que la lámina de agua se infiltra en el suelo se obtuvo que hay incidencia del sistema, ya que en el sistema de agricultura de conservación (39.5 mm/h) hay más rapidez de infiltración que el sistema convencional (91.0 mm/h).

- ✓ Se logró relacionar el efecto de la humedad del suelo, en las etapas fenológicas del cultivo del maíz (*Zea mays* L.) a través de un muestreo en campo llevado a cabo cada diez días, haciéndose notorio el déficit hídrico en el cultivo estudiado, a partir de los datos de evapotranspiración de referencia del cultivo (Etc), coeficiente del cultivo (K_c) y agua disponible (capacidad de campo y punto de marchitez permanente), en las etapas de llenado de grano y

madurez fisiológica, donde el requerimiento hídrico aproximadamente no fue saciado con 86.55 mm de agua en todo el ciclo fenológico del cultivo.

Por tanto se concluyó, que no existió un gran déficit o estrés hídrico en los estadios fenológicos el cultivo en estudio, propiciando el desarrollo del cultivo de una manera relativamente adecuada.

Las prácticas de manejo del cultivo están íntimamente relacionadas en las características de la capacidad de absorción de agua del suelo y la superficie de cultivo, evidenciándose un alto grado de compactación, esto en la parcela Convencional en la que no se llevaron a cabo actividades de conservación de suelo, en comparación con la parcela de investigación ASA, donde los valores de humedad volumétrica en el sistema ASA son próximos y los más significativos en cuanto al sistema de referencia Bosque, (45.5 ± 2.41), factores esenciales en la alta productividad evidenciada para el cultivo en cuestión.

- ✓ A partir de los resultados obtenidos también podemos apreciar que no existen diferencias significativas en cuanto a la productividad del cultivo *Zea mays* en ambos sistemas (Convencional y ASA), se hace notoria que dicha productividad se logró determinar por la incidencia directa de las propiedades físicas del suelo tales como, densidad, humedad, porosidad e infiltración.

Propiedades que han sido tratadas a través de las técnicas agronómicas para el manejo del cultivo en cuestión, contribuyendo al aumento de la productividad y por consiguiente en la calidad, evidenciándose que el método de agricultura en el sistema ASA, propicia mejores resultados de rendimiento de cultivo de maíz.

Se puede concluir a partir de estos factores que el rendimiento del maíz de las parcelas ASA y convencional de la Estación Experimental el Limón, en comparación con las demás parcelas del proyecto Agua, Suelo y Agricultura de los municipios de Yalagüina, La Concordia, Jinotega, San Dionisio, Esquipulas,

y Darío; tuvieron un mayor rendimiento, en la parcela ASA con un promedio de 5819.6 kg ha⁻¹ mientras que en la convencional 4721.6 kg ha⁻¹. El sistema ASA superó en un 70% los datos estimados a nivel nacional y así mismo los de las 25 parcelas incluidas en el programa.

IX. RECOMENDACIONES

A los interesados en este trabajo recomendamos extender la investigación a un mayor número de repeticiones (en cuanto a diseño experimental), para determinar mayores diferencias significativas entre las propiedades físicas mediante el transcurso del tiempo, en los diversos sistemas estudiados.

Los suelos que presentan densidad aparente alta se recomienda la implementación de obras de conservación, que incluye cobertura vegetal, rotación de cultivos, siembra al espeque, prácticas que por ende ocasionan un mejoramiento en la estructura y continuidad porosa que favorece la infiltración y retención de humedad; porque si mejoramos la densidad en los suelos, de igual forma la humedad, textura, porosidad e infiltración, experimentaran cambios positivos obteniendo resultados satisfactorios.

Continuar evaluando el efecto de la agricultura de conservación, debido a que la productividad de un suelo depende de cómo se encuentren sus propiedades físicas, mientras mejor conservadas están dichas propiedades, más fértiles estarán nuestros suelos, ya que un suelo altamente degradado con baja porosidad y bajo contenido de materia orgánica no tiene capacidad para almacenar mucha agua y por lo tanto no tienen disponibilidad de agua para el crecimiento del cultivo.

XX. ANEXOS

10.2. Presupuesto

Programa Agricultura, Suelos y Agua (ASA)
Trabajo de investigación AF 2017.

Presupuesto	Aporte de entidad Social:	U\$ 1921.00
	Aporte Estudiante:	U\$ 394.00
	Aporte programa ASA	U\$ 209.00
	Total	U\$ 2,524.00

10.3. Datos obtenidos de rendimiento del cultivo de Zea Mays

<i>Sistema</i>	kg/Ha	kg/mz	qq/mz
<i>ASA #1</i>	6588,24	4611,76	101,47
<i>ASA #2</i>	4941,18	3458,82	76,10
<i>ASA #3</i>	5029,41	4150,59	91,32
<i>Convencional #1</i>	4941,18	3458,82	76,10
<i>Convencional #2</i>	5105,88	3574,12	78,64
<i>Convencional #3</i>	4117,65	2882,35	63,42

Rubro No.	Descripción	Costo Unitario	Cantidad	Costo Total	Monto en Córdobas	Monto en Dólares
1	Análisis de conductividad eléctrica del suelo y temperatura.	C\$ 148.25	148	C\$ 8,005	C\$ 8,005	\$ 270
2	Muestra de densidad aparente	C\$ 237.2	162	C\$ 38,426	C\$ 38,426	\$1,296
3	Muestras de humedad	C\$ 296.5	18	C\$ 5,337	C\$5,337	\$180
	Sub Total				C\$ 51,768	\$1,746
	Imprevisto de materiales 10%				C\$56,946	\$ 1,921
	Instrumentos					
4	Tensiómetro modelo 2900	C\$ 3,855	1	C\$3,855	C\$3,855	\$130
5	Cilindros (da)	C\$ 50	9	C\$450	C\$450	\$ 15.18
6	Bolsas plásticas (ziploc)	C\$100	1	-	C\$100	\$ 3.4
7	Papel aluminio	C\$30	8	C\$240	C\$240	\$ 8
8	Resma de papel	C\$ 85	1	-	C\$ 85	\$ 3
9	Cartucho de tinta	C\$900	1	-	C\$900	\$30.3
	Sub Total				C\$5,630	\$190

	Imprevisto de materiales 10%				C\$ 6,193	\$209
	Aporte de estudiantes					
10	Alimentación	C\$ 250	18	C\$ 4,500	C\$ 4,500	\$ 152
11	Transporte	C\$ 70	36	C\$ 2,520	C\$ 2,520	\$ 85
12	Papelería	C\$ 200	-	C\$ 3,600	C\$ 3,600	\$ 121
	Sub Total				C\$ 10,620	\$ 358
	Imprevisto de materiales 10%				\$11,682	\$394
	Total				C\$ 74, 821	\$ 2, 524

10.4 Cronograma de actividades

Actividad	Marzo				Abril				Mayo					Junio				Julio				Agosto				Septiembre				Octubre				Noviembre				
	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S5	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	
Busqueda de referencias																																						
Planteamiento del problema																																						
Problema de investigacion																																						
Objetivos																																						
Justificacion																																						
Hipotesis																																						
Definicion de variables																																						
Marco de referencia																																						
Revision de protocolo																																						
Analisis de literatura																																						
Muestreo en campo																																						
Muestreo en campo																																						
Entrega final y presentacion																																						

XXI. BIBLIOGRAFÍA

- Castañón, G. (2007). PROPIEDADES FISICO-QUIMICAS DEL SUELO Y SU RELACIÓN CON LOS MOVIMIENTOS DEL AGUA.
- CENAGRO. (2013). IV Censo Nacional Agropecuario.
- Deras . F, H. (2010). *Guia Tecnica para el cultivo de maiz.*
- Espinoza, A. (2017). *Evaluación de los sistemas de Agricultura de conservación vs convencional en la restauración de suelos y producción de maíz y frijol en el “corredor seco de Nicaragua”.*
- FAO. (2007). Agricultura de conservacion, Estudios de caso en America Latina y Africa.
- FAO, B. d. (2007). Agricultura de conservación Estudio de casos en América latina y África.
- GLOBE. (2005). Protocolo de temperatura del suelo. Argentina.
- Gómez, E. H. (22 de Septiembre de 2012). Dinámica del Agua en Andisoles Bajo Condiciones de Ladera.
- Guillén, C. D. (2010). El Agua en el Suelo. Argentina.
- Heras, R. (2009). manual de hidrografia.
- Hernández, E. A. (2010). Importancia del agua para los seres vivos . *ElementalWatson la revista.*
- López Bermúdez, F. (2001). El riesgo de desertificacion. *Mundi-Prensa*, 15-38.
- Perdomo, J. (Junio de 2015). *EcuRed*. Recuperado el 23 de abril de 2017, de https://www.ecured.cu/Agricultura_convencional
- Reganold, H. &. (2008). The quiet revolution. *Scientific American* 299, 70-77.
- Restrepo, J. (2000). Agroecologia. Colombia.
- Santafé, M. F. (2006). Situación actual del estado de la depuración biológica. Explicación de los métodos y sus fundamentos.
- Santana, D. H. (2008). Environmental and plant-based controls of wateruse in a Mediterranean oak stand .

SIAR. (2016). Coeficientes del Cultivo.

Templates, P. (2014). *Propiedades físicas del suelo*. Recuperado el 23 de Abril de 2017, de http://servicios.educarm.es/templates/portal/ficheros/websDinamicas/20/suelos_tema_2..pdf

Uribe C, H., & Rouanet M, J. (2001). *Efecto de 3 sistemas de labranza sobre el nivel de humedad en el perfil del suelo*.

Vivas-Viachica, E. A. (2008). ANÁLISIS DE LA UTILIZACIÓN DEL RECURSO SUELO EN NICARAGUA.