

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

Zeily G. Aráuz Acevedo, Jaredmary Mendoza Blandón, Ana S. Zuniga Castillo ([aracg63@gmail.com](mailto:aracg63@gmail.com), [jaredmarym23@gmail.com](mailto:jaredmarym23@gmail.com), [zuniga2193@yahoo.es](mailto:zuniga2193@yahoo.es))

**Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua/Facultad Regional Multidisciplinaria.**

**Seminario de Graduación. MsC. Kenny López Benavidez.**

### **RESUMEN**

Se presenta un estudio para 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, humedad, textura 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, punto de marchitez permanente y agua total disponible, densidad aparente, humedad gravimétrica y tasa de infiltración.

A través de las pruebas realizadas se obtuvo que las propiedades físicas del suelo, densidad y humedad gravimétrica tiene un efecto significativo sobre la agricultura de conservación y convencional a los 30 cm de profundidad. Se obtuvo que la velocidad con la que se infiltra el agua en el suelo, siendo mayor en el sistema de agricultura de conservación en relación al 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 si influye en las etapas fenológicas y la producción del cultivo.

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

### **INTRODUCCIÓN**

En sus orígenes, cuando el hombre comenzó la vida sedentaria modifico 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).

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 ven 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 (Tobón *et al.*, 2001).

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

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).

### **Zona 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 ± 33°C) y la precipitación media anual es de 804 mm, concentrada en la época lluviosa (mayo-octubre). El suelo es franco - arcilloso con abundantes rocas blandas (López *et al.*, 2017).

### **Etapas del proceso de investigación**

- ***Etapas 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.

- ***Etapas de campo:*** Se realizó la ubicación de las parcelas donde se llevaría a cabo la investigación y posteriormente se procedió a 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 0-10cm, 11-20cm y 21-30cm, 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 0-30cm y 30-50cm 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.

- **Análisis estadísticos:** La investigación se fundamentó en una estrategia de muestreo, en donde se seleccionaron las diferentes propiedades físicas de los sitios de estudio por el método 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. 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 ( $p < 0,05$ ).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 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.

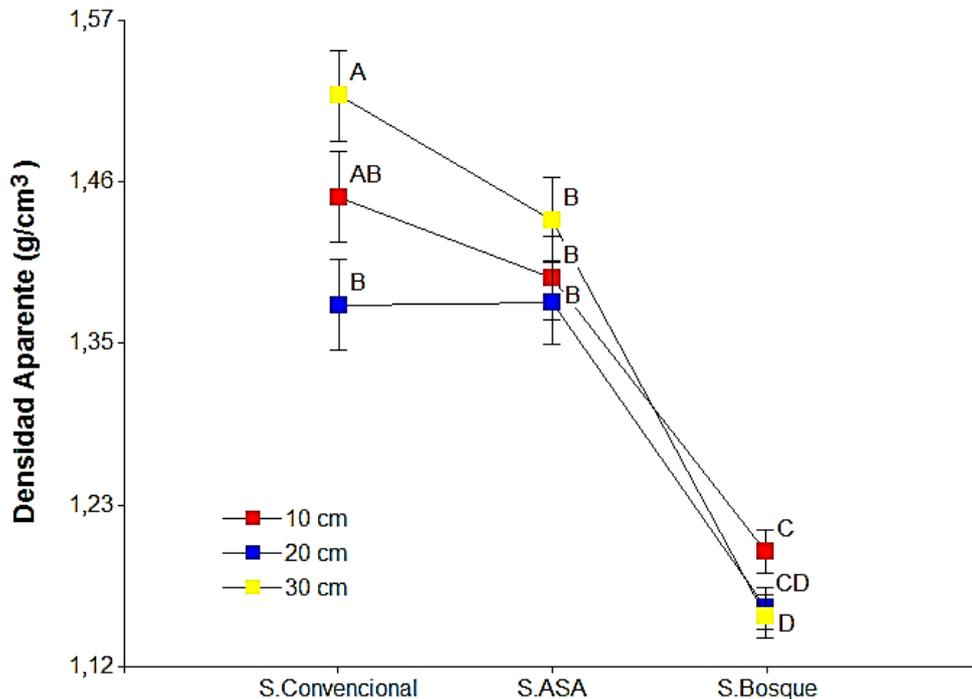
#### a) Densidad aparente

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/cm<sup>3</sup>.

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/cm<sup>3</sup>) ( $1.40 \pm 0.02$ ) no difirió de la densidad aparente del sistema convencional (g/cm<sup>3</sup>) ( $1.45 \pm 0.02$ ). 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<sup>3</sup>) ( $1.17 \pm 0.01$ ).



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

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  $1.3 \text{ gr/cm}^3$  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.

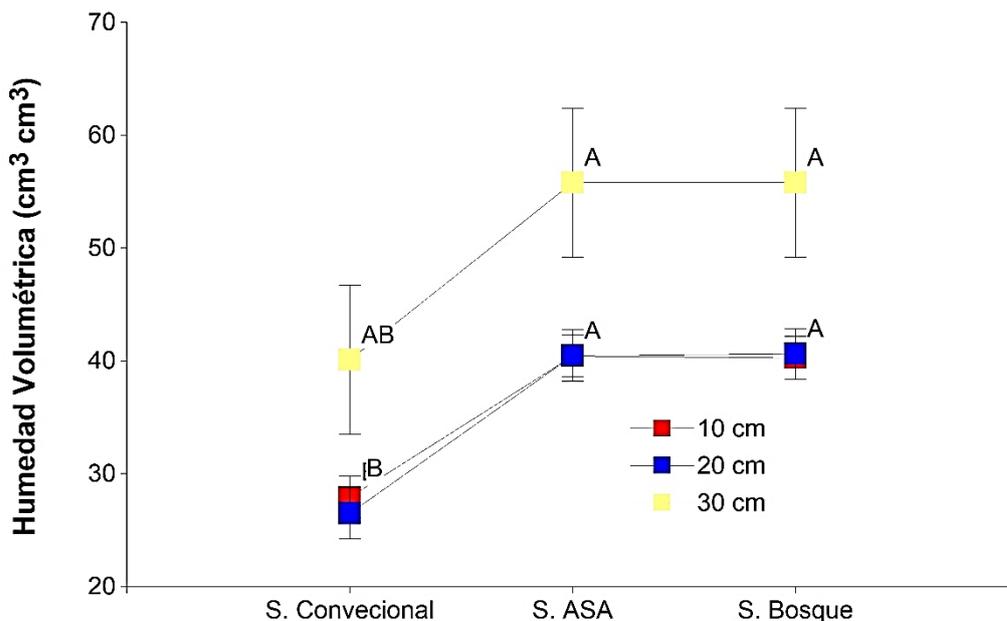
Comparando los datos de densidad aparente de las parcelas establecidas en la Estación Experimental el Limón con los datos de 25 parcelas en otros municipios (Yalagüina, La Concordia, Jinotega, San Dionisio, Esquipulas, y Darío) comprendidos dentro del proyecto Agricultura, Suelo y Agua, podemos ver que la densidad aparente en las parcelas experimentales presenta datos en los cuales las medias son  $1.12$  y  $1.14 \text{ gr/cm}^3$ . Las medias comparadas son Alta  $1.14$ , Media  $1.13$  y Baja  $1.12 \text{ gr/cm}^3$ . En comparación a los datos del Limón, en los que las medias varían de  $1.40$  y  $1.45$  y  $1.17 \text{ gr/cm}^3$ .

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.

#### b) Humedad Volumétrica

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 ( $\text{cm}^3\text{cm}^3$ ) ( $45.5 \pm 2.4$ ). Sin embargo, el sistema convencional fue el que más diferencia significativa tuvo en comparación a los demás sistemas en todas las profundidades ( $\text{cm}^3\text{cm}^3$ ) ( $31.5 \pm 2.4$ ).

Independientemente del sistema, la humedad gravimétrica fue mayor a los 30cm de profundidad ( $50.57 \pm 3.8$ ), mientras a los 10 ( $36.2 \pm 1.1$ ) y 20cm ( $35.9 \pm 1.3$ ) 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 ( $p < 0,05$ ).

En comparación 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.

Independientemente del sistema la humedad gravimétrica presento diferencias significativas a la profundidad de 30cm, donde a los 10 y 20cm 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.

### c) Infiltración

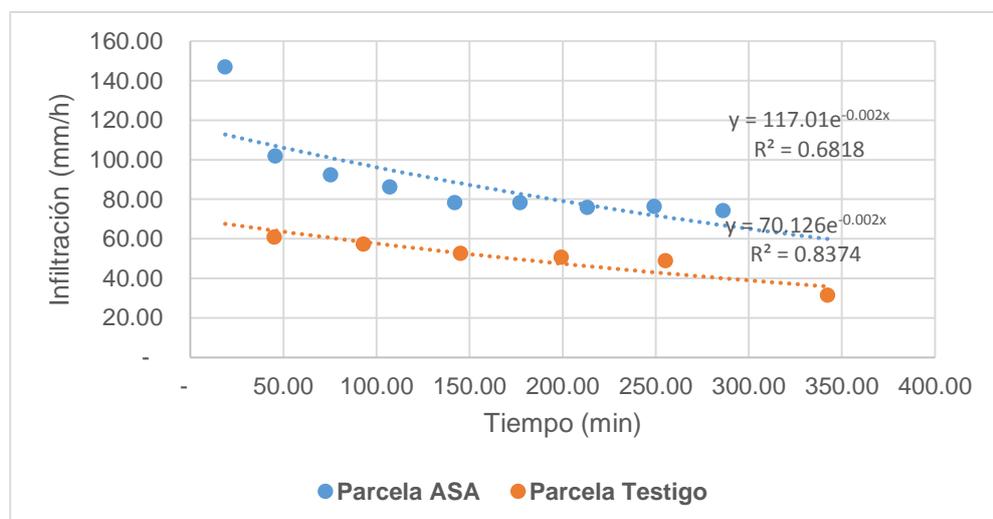
Esto explica que la cantidad de agua que se infiltra al suelo está asociada por su abundancia, la estabilidad y tamaño de los poros en la superficie, su contenido de agua y la continuidad de los poros de transmisión. Esta condición lo proporciona el sistema de agricultura de conservación con la cubierta permanente, presencia de raíces por las rotaciones y el disturbio mínimo desarrollan una condición natural del suelo que ayuda 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 evidenció 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, franco arcillosos y arcillosos.

**Tabla 1.** 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 franco 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 más tiempo, esto se atribuye a que es una parcela que se trabaja con labranza por lo que son suelos más compactados, 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 en 20 a 40 mm/hr.

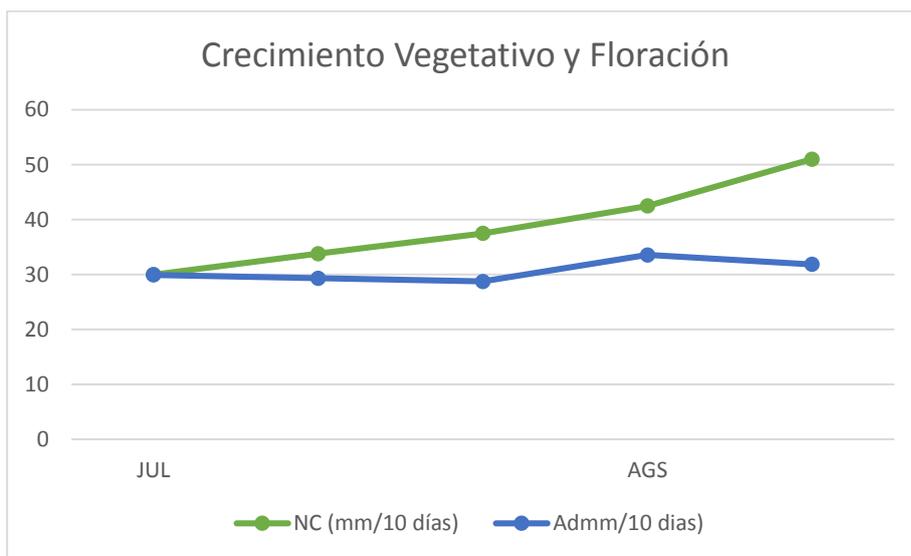
### Efecto de la humedad del suelo en las etapas fenológicas del cultivo de maíz (*Zea mays L.*).

#### 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:

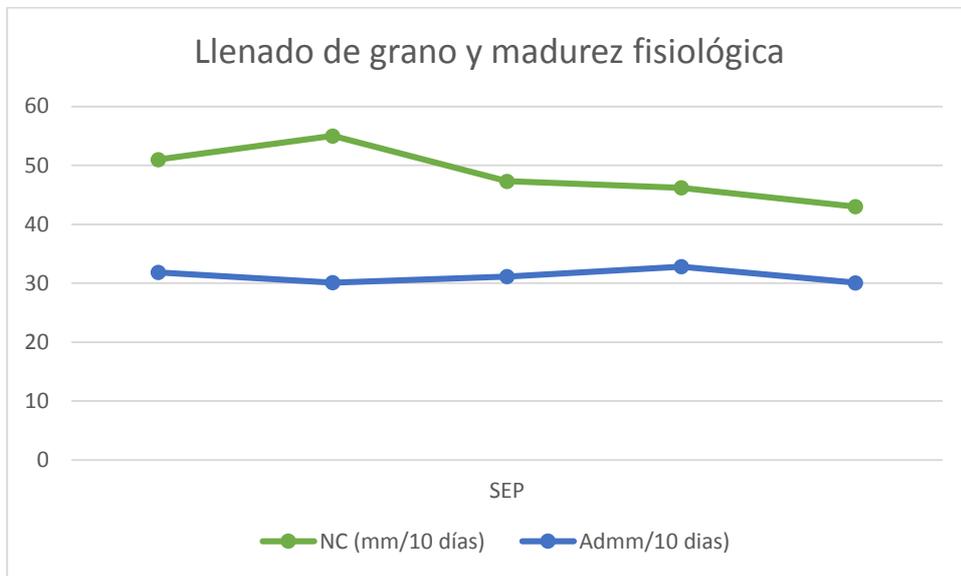
A partir de los estudios realizados en las etapas iniciales de desarrollo fenológico de cultivo de Maíz *Zea mays*, los resultados obtenidos fueron:

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



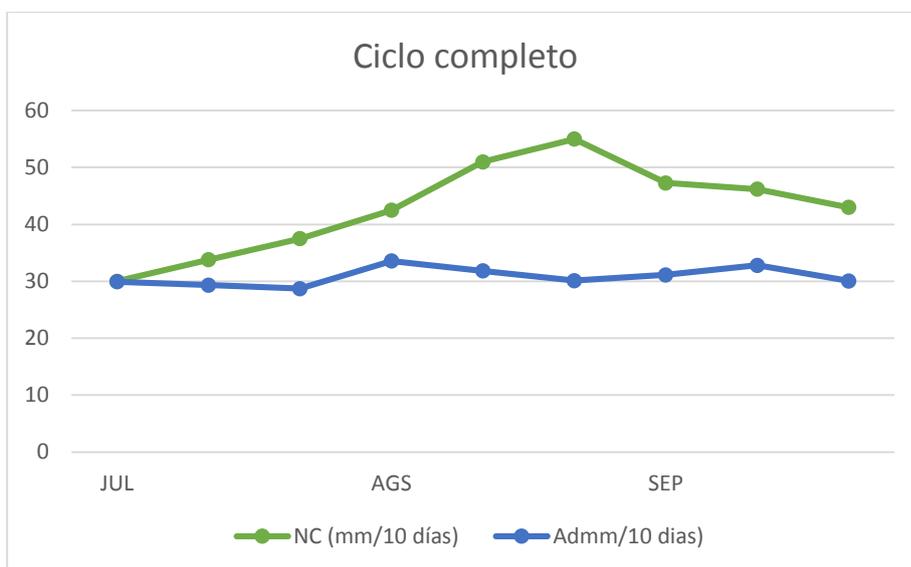
Gráfica 4. Necesidades hídricas en los primeros cincuenta días

La etapa comprendida entre los días 60 y 100 del ciclo fenológico del maíz se evidenció un déficit hídrico mayor (Gráfica N°4), ya que el cultivo requería en los días 60, 70 y 80, 153mm de agua para satisfacer las necesidades hídricas, sin embargo, solo se encontraban disponibles 93.08mm de lámina de agua, teniendo un déficit de 60.21mm 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 (Gráfica N°5), requiriendo solamente 41mm de agua, sin embargo, el cultivo demandó más agua para su desarrollo en las dos etapas finales, presentando un déficit de 86.55mm 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.

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.

Debido a que no existió un gran déficit o estrés hídrico en los estadios fenológicos el 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/cm<sup>3</sup>).

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*.

### **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**

#### **Rendimiento del cultivo**

Se llevaron a cabo tres muestreos en los sistemas en la parcela 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 propia 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 ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) del sistema ASA ( $5819.6 \pm 401.6$ ) no difirió de la producción del sistema convencional ( $4721.6 \pm 401.6$ ).

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

## 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 influyó 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 ( $\text{g/cm}^3$ ) ( $1.40 \pm 0.02$ ) no difirió de la densidad aparente del sistema convencional ( $\text{g/cm}^3$ ) ( $1.45 \pm 0.02$ ). Sin embargo, el sistema de bosque fue el que tuvo menor densidad aparente en comparación a los demás sistemas en todas las profundidades ( $\text{g/cm}^3$ ) ( $1.17 \pm 0.01$ ).

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 ( $\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^3$ ) ( $45.5 \pm 2.4$ ). Sin embargo, el sistema convencional fue el que más diferencia significativa tuvo en comparación a los demás sistemas en todas las profundidades ( $\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^3$ ) ( $31.5 \pm 2.4$ ).

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 ( $39.5 \text{ mm/h}$ ) hay más rapidez de infiltración que el sistema convencional ( $91.0 \text{ mm/h}$ ).

✓ 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 (Kc) 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  $86.55 \text{ mm}$  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, ( $45.5 \pm 2.41$ ), 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  $5819.6 \text{ kg ha}^{-1}$  mientras que en la convencional  $4721.6 \text{ kg ha}^{-1}$ . 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.

## 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.

## ✓ BIBLIOGRAFÍA

Agrológica. (2014). Blog.agrológica.es . Recuperado el 20 de junio de 2016, de Blog.agrológica.es : <http://blog.agrológica.es/necesidades-hidricas-de-las-principales-especies-frutales-riego-tabla-resistentes-sequia/>

Colacelli, I. N. (2010). Consumo de agua por el ganado. Revista Produccion, 1-4.

Dechmi, F. E. (2006). Analysis of an irrigation district in northeastern Spain II. Irrigation evaluation, simulation and scheduling. Agric. Water Manage. . págs. 61:93-109.

- 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, B. d. (2007). Agricultura de conservación Estudio de casos en América latina y África.
- Gómez, E. H. (22 de Septiembre de 2012). Dinámica del Agua en Andisoles Bajo Condiciones de Ladera.
- Núñez, O. F. (marzo de 2013). Dicta.hn. Recuperado el 21 de junio de 2016, de Dicta.hn: [www.dicta.hn](http://www.dicta.hn)
- OFDA, F. o. (2009). Disaster Assistance. Recuperado el 20 de junio de 2016, de <http://www.disaster-info.net/Agua/pdf/9-UsoDomestico.pdf>
- Reganold, H. &. (2008). The quiet revolution. Scintific American 299, 70-77.
- Restrepo, J. (2000). Agroecologia. Colombia.
- SIAR. (2016). Coeficientes del Cultivo.
- Uribe C, H., & Rouanet M, J. (2001). Efecto de 3 sistemas de labranza sobre el nivel de humedad en el perfil del suelo.