



# **COLEGIO DE POSTGRADUADOS**

**INSTITUCION DE ENSEÑANZA E INVESTIGACION EN CIENCIAS AGRÍCOLAS**

**CAMPUS MONTECILLO**

**POSTGRADO DE EDAFOLOGIA**

## **UTILIZACIÓN DE ABONOS ORGÁNICOS Y RIEGO POR GOTEO EN LA PRODUCCIÓN DE BRÓCOLI**

**ZEFERINO VICENTE HERNÁNDEZ**

**T E S I S**

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL**

**PARA OBTENER EL GRADO DE:**

**MAESTRO EN CIENCIAS**

**MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MEXICO**

**2016**

La presente tesis titulada: **“UTILIZACIÓN DE ABONOS ORGÁNICOS Y RIEGO POR GOTEO EN LA PRODUCCIÓN DE BRÓCOLI”** realizado por el alumno: **ZEFERINO VICENTE HERNÁNDEZ**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS**  
**EDAFOLOGÍA**

**CONSEJO PARTICULAR**

CONSEJERO

---

Dr. Gerardo Sergio Benedicto Valdés

ASESOR

---

Dr. Antonio Trinidad Santos

ASESOR

---

Dr. Carlos Ramírez Ayala

**Montecillo, Texcoco, Estado de México, Junio 2016**

# **UTILIZACIÓN DE ABONOS ORGÁNICOS Y RIEGO POR GOTEO EN LA PRODUCCIÓN DE BRÓCOLI**

**Zeferino Vicente Hernández, M.C.**

**Colegio de Postgraduados, 2016.**

## **RESUMEN**

El presente trabajo se realizó en el Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, de Abril 2014 a Febrero 2015. El objetivo fue evaluar el efecto de los abonos orgánicos estiércol de bovino, gallinaza y composta de estiércol caprino en las propiedades físicas del suelo, retención de humedad y propiedades químicas del suelo y su repercusión sobre la liberación y tasa de mineralización del carbono orgánico. Se evaluaron características agronómicas del cultivo de brócoli y la eficiencia del riego por goteo mediante el coeficiente de uniformidad utilizando tres métodos de riego artesanal, armado y cintilla. Se evaluaron siete tratamientos, estiércol bovino, gallinaza y composta de estiércol caprino en dosis de 2.5 y 5% más un testigo. La caracterización física y química del suelo se realizó en todos los tratamientos en profundidades de 0-15 y 15-30 cm, mientras que para las variables agronómicas y la evaluación de los sistemas de riego artesanal, armado y cintilla, solo se consideraron los tratamientos al 5% y el testigo. Las propiedades físicas del suelo evaluadas fueron: densidad aparente, capacidad de campo -33 kPa, punto de marchitez permanente -1500 kPa, capacidad de retención de agua disponible, coeficiente de uniformidad de riego y humedad volumétrica. Las propiedades químicas del suelo determinadas fueron pH, conductividad eléctrica, materia orgánica y la liberación de CO<sub>2</sub> así como las características agronómicas del cultivo de brócoli, las variables estudiadas fueron materia seca de hoja, materia seca de tallo, materia seca de raíz, altura planta, longitud de raíz, área foliar y rendimiento por

planta (gramos/planta). La liberación de CO<sub>2</sub> se determinó por el método de incubación descrito por Anderson (1984), el muestreo se realizó cada tercer día, durante un periodo de 95 días a temperatura ambiente. La incorporación de los abonos orgánicos incrementa un 56.25% en capacidad de retención de agua disponible. El tratamiento con mayor producción de CO<sub>2</sub> fue bovino 5% 939.02 mg CO<sub>2</sub> g<sup>-1</sup> muestra, a la profundidad de 0-15 cm. Se determinó el coeficiente de uniformidad de riego obteniendo que el riego armado tuvo el mejor CU con 94% excelente. Se encontró el mejor rendimiento en el tratamiento gallinaza 5% con 156 gramos por planta en el sistema de riego armado.

**Palabras clave:** Abonos orgánicos, propiedades físicas del suelo, liberación de CO<sub>2</sub> y cultivo de brócoli.

# UTILIZATION OF ORGANIC FERTILIZER AND GRAVITY DRIP IRRIGATION ON BROCCOLI PRODUCTION

Zeferino Vicente Hernández, M. C.

Colegio de Postgraduados, 2016

## ABSTRACT

The present work was carried out in the Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, from April 2014 to February 2015. The main objective was to evaluate the addition of organic fertilizers from bovine manure, poultry manure and compost of goats manure on some soil physical properties, water retention and chemical properties of and its repercussion on the C-CO<sub>2</sub> liberation and rate of mineralization. There was evaluated several agronomic characteristics of broccoli and the efficiency of gravity drip irrigation by coefficient of uniformity using three types handcrafted, self forming drip and flat drip tape. The result was seven treatments considering bovine poultry and compost of goats manure in rates of 2.5% and 5% on dry weight basis. Physical and chemical characterization of the soil was done at depths of 0-15 and 15-30 cm, whereas for the agronomic variables and the evaluation of the drip systems were considered the rate 5. The soil physical properties considered were: bulk, field capacity -33 kPa, wilting point 1500 kPa, available water, coefficient of uniformity of irrigation and volumetric moisture. The soil chemical properties were pH, electrical conductivity, organic matter and liberation of CO<sub>2</sub> as well as agronomic characteristics of broccoli. Crop variables studied variables were a dry matter of leaf, stem, root, height of plants, length of root, leaf area and plant yield (grams / plant). The liberation of CO<sub>2</sub> was carried out according to Anderson (1984), every third day, during a period of 95 days to environment temperature. The incorporation of the organic amendments increased 56.25 % the soil water retention. The highest CO<sub>2</sub> production was registered under bovine manure at 5 % with 939.02 mg CO<sub>2</sub> g<sup>-1</sup>, to 0-15 cm. The best uniformity coefficient was under self-drip forming with 94%. The best plant yield and crop performance was under poultry manure 5 % rate with 156 grams for plant.

**Key words:** organic fertilizer, soil physical properties, liberation of CO<sub>2</sub>, broccoli.

## **AGRADECIMIENTOS**

*Agradezco al CONACYT por haberme brindado la oportunidad de financiar mis estudios de Maestría.*

*Al Colegio de Postgraduados por haberme dado la oportunidad de encontrarme con excelente personas, brindándome sobre todo su confianza.*

*A los profesores que fueron participes de mi consejo particular, al **Dr. Gerardo Sergio Benedicto Valdés, Dr. Antonio Trinidad Santos y Dr. Carlos Ramírez Ayala**, a quienes les agradezco todo el tiempo otorgado para la elaboración de este trabajo de investigación, gracias por sus atinadas sugerencias en mi formación académica, siempre estaré agradecido.*

*A los laboratoristas de física de suelo que siempre me brindaron su confianza y apoyo.*

*En especial a mis padres por sus ejemplos de humildad, respeto, honestidad, constancia y valentía.*

*Zeferino Vicente Hernández*

*Maestro en Ciencias en Edafología*

2016

## **DEDICATORIA**

*Al Creador por permitirme alcanzar esta meta.*

*A mis Padres: Celerino Vicente Flores y Lucia Hernández Vicente, quienes fomentaron en mí el estudio y con muchos sacrificios nos proporcionaron una educación a mis hermanos y a mí.*

*A mi querida esposa Maricruz Morales Alejo, por su amor, comprensión y apoyo incondicional durante la realización de mis estudios de postgrados.*

*A mi hijo: Matías Jael, todo mi esfuerzo para él.*

## CONTENIDO

RESUMEN .....	iii
ABSTRACT.....	v
AGRADECIMIENTOS .....	vi
DEDICATORIA .....	vii
CAPÍTULO I. EFECTO DE LOS ABONOS ORGÁNICOS SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO.....	1
1. INTRODUCCIÓN .....	1
2. REVISION DE LITERATURA.....	2
2.1 Efecto de la materia orgánica .....	2
2.2 Densidad aparente ( $\text{g cm}^{-3}$ ) .....	2
2.3 Capacidad de campo (CC %) .....	3
2.4 Punto de marchitez permanente (PMP %) .....	4
2.5 Capacidad de retención de agua disponible (CRAD %) .....	5
2.6 El riego por goteo por gravedad.....	6
2.7 Coeficiente de uniformidad (CU).....	7
2.8 Humedad volumétrica en el riego por goteo .....	8
3. OBJETIVO.....	10
4. HIPÓTESIS .....	10
5. MATERIALES Y MÉTODOS .....	11
5.1 Localización del experimento .....	11
5.2 Diseño experimental.....	11
5.3 Muestreo.....	11
5.4 Densidad aparente ( $\text{g cm}^{-3}$ ) .....	12
5.5 Capacidad de campo y Punto de marchitez permanente (%).....	12
5.6 Capacidad de retención de agua disponible (CRAD).....	12
5.7 Sistemas de riego por goteo por gravedad .....	13
5.8 Coeficiente de uniformidad (CU %) .....	14
5.9 Humedad volumétrica (%) .....	15
6. RESULTADOS Y DISCUSIONES .....	16
6.1 Densidad aparente ( $\text{g cm}^{-3}$ ) .....	16
6.2 Capacidad de Campo (%).....	18
6.3 Punto de marchitez permanente (%) .....	20



6.4	Capacidad de retención de agua disponible (CRAD).....	21
6.5	Coeficiente de uniformidad al 100% de llenado, 28.4 kPa .....	23
6.6	Coeficiente de uniformidad al 60% de llenado, 22.9 kPa .....	25
6.7	Coeficiente de uniformidad al 30% de llenado, 18.8 kPa .....	26
6.8	Humedad volumétrica (cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> ) con riego artesanal.....	27
6.9	Humedad volumétrica cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> con riego con cintilla.....	29
6.10	Humedad volumétrica (cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> ) con el sistema de riego armado .....	31
7.	CONCLUSIÓN .....	35
8.	BIBLIOGRAFÍA.....	36
CAPITULO II. EFECTO DE LOS ABONOS ORGÁNICOS SOBRE LAS PROPIEDADES QUÍMICAS DEL SUELO .....		42
1.	INTRODUCCIÓN .....	42
2.	REVISIÓN DE LITERATURA.....	43
2.1	Propiedades químicas.....	43
2.2	pH.....	43
2.3	Conductividad eléctrica (CE dS/m).....	44
2.4	Materia orgánica (MO %) .....	45
2.5	Mineralización del C-CO <sub>2</sub> .....	46
2.6	Tasa relativa de mineralización (TRM, %) .....	48
3.	OBJETIVO.....	49
4.	HIPÓTESIS.....	49
5.	MATERIALES Y MÉTODOS .....	50
5.1	pH.....	50
5.2	Conductividad eléctrica (CE, dS/m).....	50
5.3	Determinación del carbono orgánico del suelo a partir del contenido de la materia orgánica .....	50
5.4	Evolución de C-CO <sub>2</sub> .....	51
5.5	Tasa relativa de mineralización (TRM, %) .....	52
6.	RESULTADOS Y DISCUSIONES .....	53
6.1	pH.....	53
6.2	Conductividad eléctrica (CE, dS/m).....	55
6.3	Materia orgánica (MO, %) .....	57
6.4	Liberación de CO <sub>2</sub> (mg CO <sub>2</sub> g <sup>-1</sup> ) .....	59
6.5	Tendencia de liberación de CO <sub>2</sub> .....	61
6.6	Tasa relativa de mineralización (TRM, %) .....	63

7.	CONCLUSIÓN .....	65
8.	BIBLIOGRAFÍA.....	66
CAPITULO III. CARACTERÍSTICAS AGRONÓMICAS DEL CULTIVO DE BRÓCOLI ....		72
1.	INTRODUCCIÓN .....	72
2.	REVISIÓN DE LITERATURA.....	73
2.1	El cultivo de Brócoli .....	73
2.2	Composición nutricional del brócoli .....	73
2.3	Agricultura orgánica.....	74
2.4	Abonos orgánicos.....	75
2.5	Los abonos orgánicos en la producción y calidad del brócoli.....	76
2.6	Requerimientos del cultivo de Brócoli.....	76
2.7	Fases del cultivo de Brócoli .....	77
3.	OBJETIVO.....	79
4.	HIPÓTESIS.....	79
5.	MATERIALES Y MÉTODOS .....	80
5.1	Diseño experimental.....	80
5.2	Variables Estudiadas .....	80
5.3	Materia seca de hoja, tallo y raíz (MSH, MST y MSR).....	81
5.4	Longitud de raíz (LR).....	81
5.5	Área Foliar Total de la Planta .....	81
6.	RESULTADOS Y DISCUSIONES .....	82
6.1	Materia seca de hoja (MSH).....	82
6.2	Materia seca tallo (MST).....	83
6.3	Materia seca de raíz (MSR).....	84
6.4	Altura planta (AP) .....	85
6.5	Longitud raíz (LR) .....	86
6.6	Área foliar (cm <sup>2</sup> ).....	87
6.7	Rendimiento por planta (RP).....	88
7	CONCLUSIÓN .....	90
8.	BIBLIOGRAFÍA.....	91

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 1.</b> Valores de coeficiente de uniformidad de caudales (INIA-URURI, 2010).....	8
<b>Cuadro 2.</b> Comparación de medias sobre densidad aparente (Da) para los abonos orgánicos y profundidad.....	16
<b>Cuadro 3.</b> Comparación de medias sobre capacidad de campo (CC) para los abonos orgánicos y profundidad.....	18
<b>Cuadro 4.</b> Comparación de medias sobre punto de marchitez permanente (PMP) para los abonos orgánicos y profundidad. ....	20
<b>Cuadro 5.</b> Comparación de medias sobre capacidad de retención de agua disponible para los abonos orgánicos y profundidades.....	22
<b>Cuadro 6.</b> Comparación de medias sobre humedad volumétrica ( $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ ) de los abonos orgánicos y profundidad en dos tiempos para el sistema de riego por goteo artesanal.....	28
<b>Cuadro 7.</b> Comparación de medias sobre humedad volumétrica ( $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ ) para los abonos orgánicos y profundidad en dos tiempos para el sistema de riego por goteo con cintilla.....	30
<b>Cuadro 8.</b> Comparación de medias sobre humedad volumétrica ( $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ ) para los abonos orgánicos y profundidad en dos tiempos para el sistema de riego por goteo armado. ....	32
<b>Cuadro 9.</b> Composición química de abonos orgánicos (Aso y Bustos, 1991).....	44
<b>Cuadro 10.</b> Comparación de medias de pH para abonos orgánicos incorporados y profundidad. ....	53
<b>Cuadro 11.</b> Comparación de medias de CE (dS/m) para abonos orgánicos incorporados y profundidad.....	55
<b>Cuadro 12.</b> Comparación de medias de MO para abonos orgánicos incorporados y profundidades. ....	57
<b>Cuadro 13.</b> Comparación de medias de liberación de C-CO <sub>2</sub> para los abonos orgánicos y profundidad.....	59
<b>Cuadro 14.</b> Valor nutrimental del brócoli (Krarup, 1992).....	74
<b>Cuadro 15.</b> Comparación de medias para las características agronómicas del cultivo de brócoli con sistema de riego por goteo por gravedad artesanal. ....	82

**Cuadro 16.** Comparación de medias para las características agronómicas del cultivo de brócoli con sistema de riego por goteo por gravedad con cintilla..... 85

**Cuadro 17.** Comparación de medias para las características agronómicas del cultivo de brócoli con sistema de riego por goteo por gravedad armado..... 88

## ÍNDICE DE FIGURAS

**Figura 1.** Representación esquemática del armado del sistema de riego artesanal..... 13

**Figura 2.** Cintilla de riego calibre 8 mil marca Toro®..... 14

**Figura 3.** Sistema de riego armado, tipo dual plug SF dripper Rain-Tal ®..... 14

**Figura 4.** Comparación de medias sobre densidad aparente (Da) para los abonos orgánicos y profundidades..... 17

**Figura 5.** Comparación de medias sobre capacidad de campo (CC) para los abonos orgánicos y profundidades..... 19

**Figura 6.** Comparación de medias sobre punto de marchitez permanente (PMP) para los abonos orgánicos y profundidad. .... 21

**Figura 7.** Comparación de medias sobre capacidad de retención de agua disponible (CRAD) para los abonos orgánicos y profundidades. .... 23

**Figura 8.** Comparación de medias de coeficiente de uniformidad al 100% de llenado del depósito 28.4 kPa..... 24

**Figura 9.** Comparación de medias de caudales de goteros al 100% de llenado del depósito 28.4 kPa..... 24

**Figura 10.** Comparación de medias de coeficiente de uniformidad al 60% de llenado del depósito 22.9 kPa..... 25

**Figura 11.** Comparación de medias de goteros al 60% de llenado del depósito 22.9 kPa..... 25

**Figura 12.** Comparación de medias de coeficiente de uniformidad al 30% de llenado del depósito 18.8 kPa..... 26

**Figura 13.** Comparación de medias de goteros al 30% de llenado del depósito 18.8 kPa..... 26

<b>Figura 14.</b> Comparación de medias de humedad volumétrica ( $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ ) de los abonos orgánicos y profundidades en dos tiempos para el sistema de riego por goteo artesanal. ....	29
<b>Figura 15.</b> Comparación de medias de humedad volumétrica ( $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ ) para los abonos orgánicos y profundidades en dos tiempos para el sistema de riego por goteo con cintilla. ....	31
<b>Figura 16.</b> Comparación de medias de humedad volumétrica ( $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ ) para los abonos orgánicos y profundidades en dos tiempos para el sistema de riego por goteo armado. ....	33
<b>Figura 17.</b> Comparación de medias de pH para abonos orgánicos incorporados y profundidades. ....	54
<b>Figura 18.</b> Comparación de medias de CE para abonos orgánicos incorporados y profundidades. ....	56
<b>Figura 19.</b> Comparación de medias de MO para abonos orgánicos incorporados y profundidades. ....	58
<b>Figura 20.</b> Comparación de medias de liberación de C-CO <sub>2</sub> para los abonos orgánicos y profundidades. ....	60
<b>Figura 21.</b> Liberación de C-CO <sub>2</sub> con diferentes abonos orgánicos a la profundidad de 0-15 cm. ....	62
<b>Figura 22.</b> C-CO <sub>2</sub> liberado de diferentes abonos orgánicos a la profundidad a la 15-30 cm. ....	63
<b>Figura 23.</b> Tasa relativa de mineralización de CO <sub>2</sub> en los diferentes abonos orgánicos de 95 días de incubación. ....	64
<b>Figura 24.</b> Comparación de medias de materia seca de hoja (MSH) del cultivo de brócoli con los diversos sistemas de riego por goteo por gravedad. ....	83
<b>Figura 25.</b> Comparación de medias de materia seca de tallo (MST) del cultivo de brócoli con los diversos sistemas de riego por goteo por gravedad. ....	84
<b>Figura 26.</b> Comparación de medias de materia seca de raíz (MSR) del cultivo de brócoli con los diversos sistemas de riego por goteo por gravedad. ....	85
<b>Figura 27.</b> Comparación de medias de altura de planta (AP) del cultivo de brócoli con los diversos sistemas de riego por goteo por gravedad. ....	86
<b>Figura 28.</b> Comparación de medias de longitud raíz (LR) del cultivo de brócoli con los diversos sistemas de riego por goteo por gravedad. ....	87

**Figura 29.** Comparación de medias de área foliar del cultivo de brócoli con los diversos sistemas de riego por goteo por gravedad. .... 88

**Figura 30.** Comparación de medias de rendimiento del cultivo de brócoli con los diversos sistemas de riego por goteo por gravedad. .... 89

# **CAPÍTULO I. EFECTO DE LOS ABONOS ORGÁNICOS SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO**

## **1. INTRODUCCIÓN**

El uso de abonos orgánicos mejora las condiciones de suelos que han sido deteriorados por el uso excesivo de agroquímicos y su sobre-explotación. Las consecuencias directas de estos dos últimos eventos son la pérdida de la materia orgánica, pérdida de la fertilidad y la contaminación de los suelos y de los mantos freáticos, cuya producción agrícola puede también estar contaminada (Márquez *et al.*, 2010). Los abonos orgánicos estiércoles, compostas y residuos de cosecha se han recomendado en aquellas tierras sometidas a cultivo intenso para mantener y mejorar las propiedades físicas, aumentar la capacidad de retención de humedad y facilitar la disponibilidad de nutrimentos para las plantas (Castellanos, 1982).

La incorporación de fertilizantes y abonos orgánicos estiércoles y compostas con fines de bioremediación de suelos agrícolas es una práctica que ha recuperado importancia en los últimos años. El manejo de los abonos orgánicos ha utilizado por los agricultores de pequeñas extensiones de tierra, incorporando directamente materiales orgánicos como estiércoles, desechos domésticos de frutas y verduras, desechos agrícolas verdes y secos (Márquez *et al.*, 2010). Los materiales orgánicos y minerales edáficos están estrechamente relacionados en complejos órganominerales (Liebig *et al.*, 2004), donde las moléculas de agua sirven de puentes entre estos dos componentes del suelo (Yariv y Michaelian, 2002). Por lo tanto, los aportes de los materiales orgánicos incrementarán el tamaño y la estabilidad de agregados, fomentaran una mayor actividad microbiana y favorecerán la fertilidad física del suelo (Carter y Stewart, 1996); modificando a la vez la hidrodinámica y la capacidad del suelo para almacenar agua disponible para los cultivos (Huang, 2004). El propósito de este trabajo fue evaluar el efecto de los abonos orgánicos estiércol de bovino, gallinaza y composta de estiércol de caprino en las condición física del suelo, la capacidad de retención de humedad y la eficiencia mediante el coeficiente de uniformidad utilizando tres sistemas de riego artesanal, armado y cintilla.

## **2. REVISION DE LITERATURA**

### **2.1 Efecto de la materia orgánica**

El efecto de la MO sobre la estructura del suelo y las propiedades asociadas a la porosidad, relaciones hídricas del suelo, principalmente depende de varios factores, entre éstos la textura del suelo y el contenido o estado de la materia orgánica. El efecto de las adiciones de MO, favorece la agregación de las partículas más gruesas, la estabilización de los gránulos. El incremento en la porosidad entre los agregados, es de relevancia en tanto que se mejoran las condiciones para la aireación, además que entre estos poros los pelos radicales utilizan para extenderse, incrementando la actividad metabólica del sistema radical (Flores *et al.*, 1989). El impacto de los abonos orgánicos, con respecto a la reducción de la densidad del suelo, esta correlacionado con el aumento de las dosis de aplicación. Greenland *et al.*, (1975) han sugerido que los suelos no calcáreos, con contenidos de materia orgánica por debajo de 3.4% son susceptibles a presentar un deterioro estructural, mientras que aquellos suelos que contienen 4.3% o más materia orgánica, estructuralmente son más estables.

### **2.2 Densidad aparente ( $\text{g cm}^{-3}$ )**

Esta propiedad se define como la cantidad de masa de sólidos que existe por unidad de volumen total del suelo, y refleja el volumen que ocupan los sólidos y poros. Varía con el manejo, principalmente el sistema de labranza y el contenido de materia orgánica. Existen varios métodos para determinar la Da, el método de la parafina, es uno de los más empleados (Rodríguez y Rodríguez, 2002).

Algunas de las estrategias para reducir la densidad aparente del suelo son: la adición de materiales orgánicos, manejo de los residuos de cosecha y cultivos con sistema radical abundante las cuales evitan la compactación del subsuelo (Hulugalle y Lal, 1986). La fauna del suelo también afecta de manera importante la densidad. La biodisturbación a través de la actividad de lombrices de tierra, termitas y otra fauna del suelo, mejoran la estructura del suelo y reducen la densidad (Lal, 1991).

En estudios realizados por García-Favela (2007) al evaluar el efecto del laboreo convencional, mínimo y orgánico (suelos tratados con estiércol de bovino, ovino, conejo y residuos de cultivo durante 10 años) a dos profundidades de muestreo, encontraron valores para densidad aparente a



profundidad de 0-15 cm de  $1.49 \text{ g cm}^{-3}$  y para la profundidad de 15-30 cm con  $1.52 \text{ g cm}^{-3}$ . Olivares-Campos *et al.*, (2012), evaluaron composta y lombricomposta al incorporar 2.62 kg y 875g de suelo en macetas de 3.5 kg y encontraron valores de Da con 1.24 y  $1.23 \text{ g cm}^{-3}$ . Quintanilla *et al.*, (2013) evaluaron la incorporación de gallinaza  $2503 \text{ kg/ha}^{-1}$  y bocashi  $3128 \text{ kg/ha}^{-1}$ , y encontró una Da  $0.74 \text{ g cm}^{-3}$  en tratamiento de gallinaza y de  $0.74 \text{ g cm}^{-3}$  en bocashi. Flores *et al.*, (2004), al usar mezclas de abonos orgánicos encontraron una Da,  $0.76 \text{ g cm}^{-3}$  en mezcla de compost  $10 \text{ t/ha}^{-1}$  y fertilizante químico  $64.8 \text{ kg/ha}^{-1}$ , mientras en mezcla de gallinaza  $10 \text{ t/ha}^{-1}$  y fertilizante químico  $64.8 \text{ kg/ha}^{-1}$  con  $0.77 \text{ g cm}^{-3}$  de Da, esto comparado con el testigo cuyo valor fue  $0.84 \text{ g cm}^{-3}$ .

### **2.3 Capacidad de campo (CC %)**

Cuando todos los poros están llenos de agua, se desplaza el aire del suelo, en un cierto nivel el agua y esta empieza a escurrir por efecto de gravedad hacia las capas más profundas. Cuando el agua en exceso se ha eliminado por gravedad se dice que el agua está a capacidad de campo. El tiempo de drenado puede ser de un día para los suelos arenosos y tres días para los suelos arcillosos. En esta condición el agua queda retenida entre los espacios que quedan entre las partículas del suelo y resulta mayor para suelos arcillosos que para suelos arenosos (Coronado-Uzcátegui, 2010). Cuando los suelos se encuentran en esta condición, existe un balance adecuado de aire y agua para las plantas (Mendoza, 2013).

La capacidad de campo se ha relacionado con la retención de humedad a un determinado potencial matricial, a menudo de 0,33 bar (33 kPa) en suelos de textura fina y de 0,1 bar (10 kPa) en suelos de textura gruesa (Mendoza, 2013).

Algunas investigaciones refieren que la MO no tiene efecto alguno sobre la variación de la capacidad de almacenamiento, o que existen variaciones bajo ciertas condiciones (López-Pérez, 2009).

En estudios realizados por Guerrero-Ortiz, (2012) quien midió el efecto de la adición de los abonos orgánico de  $25 \text{ kg/m}^2$ , encontró CC en tratamientos con lupinus verde 12%, vermicompost 17% y compost 13%. López-Martínez *et al.*, (2001) evaluó abonos orgánicos a diferentes dosis, bovino y caprino 20, 30 y  $40 \text{ t/ha}^{-1}$ , composta y gallinaza 4, 8 y  $12 \text{ t/ha}^{-1}$ , encontrando valores al inicio de

32, 26 y 32% y con abono caprino 26, 32 y 45%, al incorporar los abonos orgánicos encontraron incrementos de CC, bovino 26, 29 y 29% y caprino 30, 31 y 46%.

Orozco-Corral *et al.*, (2002) midieron el efecto de la aplicación de biofertilizantes de origen microbiano y botánico y fertilizante químico en las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos. Encontraron que el biofertilizante tuvo efecto favorable sobre las propiedades físicas del suelo. Al inicio y final del estudio hubo aumento de los valores de capacidad de campo. Aunque al inicio del estudio los valores de capacidad de campo fueron similares en la biofertilización y fertilización química, al final en suelos con biofertilización tuvo un aumento de 13.11 a 14.47 % de CC. Al respecto Porfirio V. L. (2014), evaluando sustratos orgánicos composta a base de cachaza y fibra de coco, inorgánicos tezontle y piedra pómez y mezclas de ambos, encontró con los sustratos orgánicos la mayor capacidad de campo con 155.27 %. Aunque el comportamiento durante la fase final del cultivo de fresa tuvo un decremento con valores de 135.01 %, los orgánicos superaron a los sustratos inorgánicos. Resultados similares obtuvo López-Pérez (2009), en suelos con 29% de arcilla y 52% de arena, donde con la incorporación de residuos de alfalfa y residuo de maíz encontraron 146% en CC a los 30 días con una dosis de 15 t/ha<sup>-1</sup>.

#### **2.4 Punto de marchitez permanente (PMP %)**

Cuando el contenido de humedad del suelo disminuye, para las plantas es cada vez más difícil absorberla llegando a un nivel donde tienden a marchitarse y no vuelven a recobrar su turgencia, a este nivel se le conoce como punto de marchitez permanente (Martínez, 1991). El PMP depende fundamentalmente del tipo de plantas, pues unas plantas resisten más la falta de agua que otras (Mendoza, 2013).

El punto de marchitez permanente se ha relacionado con la retención de humedad a un determinado potencial matricial, a menudo de 15 bar (15 kPa), donde el contenido de humedad se encuentra dentro del intervalo en el que una gran parte de las plantas se marchitan (Mendoza, 2013).

En estudios realizados por Orozco-Corral *et al.*, (2002) midieron el efecto de la aplicación de biofertilizantes de origen microbiano y botánico y fertilizante químico en las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos. Encontraron que el biofertilizante tuvo efecto favorable al incrementar de 7.80 a 8.61 % de PMP. Al respecto Porfirio V. L. (2014), evaluando sustratos

orgánicos de composta a base de cachaza y fibra de coco, inorgánicos con tezontle y piedra pómez y mezclas de ambos, encontró con los sustratos orgánicos el mayor punto de marchitez permanente con 144.92 %. Aunque el comportamiento durante la fase final del cultivo de fresa tuvo un decremento con valores de 110.92 %. Resultados similares obtuvo López-Pérez (2009), en suelos con 29% de arcilla y 52% de arena, donde con la incorporación residuos alfalfa y residuo de maíz incrementó el PMP en 198% a los 30 días con una dosis de 45 t/ha<sup>-1</sup>.

Guerrero-Ortiz, (2012) quien midió el efecto de la adición de los abonos orgánico de 25 kg/m<sup>2</sup>, encontró cambios en PMP en tratamientos con lupinus verde 12%, vermicompost 17% y compost 13%. López-Martínez *et al.*, (2001) evaluó abonos orgánicos a diferentes dosis, bovino y caprino 20, 30 y 40 t/ha<sup>-1</sup>, composta y gallinaza 4, 8 y 12 t/ha<sup>-1</sup>, encontrando valores de PMP al inicio de 17.7, 14.5 y 17.7% y con abono caprino 14.5, 17.7 y 24.5%.

## **2.5 Capacidad de retención de agua disponible (CRAD %)**

La cantidad de agua retenida entre la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente conforman la humedad aprovechable o útil del suelo (Allen *et al.*, 1998). Este intervalo de humedad disponible se define como el agua que puede ser absorbida a un ritmo adecuado para permitir el crecimiento normal de las plantas. Se suele calcular como la diferencia entre los valores de la capacidad de campo y punto de marchitamiento permanente. La adición de materia orgánica al suelo incrementa su capacidad para retener humedad debido a una correlación positiva entre el contenido de materia orgánica, la textura y el agua disponible (Julca-Meneses *et al.*, 2006).

La adición de abono orgánico humificado (composta) incrementa la humedad disponible en 10 a 20%, Rubio (1974). La materia orgánica humificada, puede retener por encima de cuatro veces su propio peso de agua, pero únicamente cerca de la mitad de esta agua, está disponible para la planta (Simpson, 1986).

En estudios realizados por Orozco-Corral *et al.*, (2012) quienes midieron el efecto de la aplicación de biofertilizantes de origen microbiano y botánico y fertilizante químico encontraron un efecto favorable sobre las propiedades físicas del suelo. Al inicio y final del estudio hubo aumento de los valores de capacidad de retención de agua disponible. Aunque al inicio del estudio los valores de CRAD fueron similares en la biofertilización y fertilización química, al final en suelos con

biofertilización tuvo un aumento de 5.31 a 5.86% de CRAD. Al respecto López-Martínez *et al.*, (2001) al incorporar abonos orgánicos a diferentes dosis, bovino y caprino 20, 30 y 40 t/ha<sup>-1</sup> y composta y gallinaza 4, 8 y 12 t/ha<sup>-1</sup>, encontraron valores al inicio de 15, 12.2 y 15% y con abono caprino 12.2, 15 21.2%. AL finalizar el estudio encontraron un decremento de CRAD, bovino 12.3 13.4 y 13.4% y caprino 13.7 14.4 21.1%. Guerrero-Ortiz, (2012) quien midió el efecto de la adición de los abonos orgánico 25 kg/m<sup>2</sup>, encontró cambios en CRAD en tratamientos con lupinus verde 2.8%, vermicompost 9.3% y compost 4.4%.

Porfirio V. L. (2014), evaluó sustratos orgánicos de composta a base de cachaza y fibra de coco, inorgánicos con tezontle y piedra pómez y mezclas de ambos, encontró con los sustratos orgánicos la mayor CRAD con 132.65%. Aunque el comportamiento durante la fase final del cultivo de fresa tuvo un incremento con valores de 229.89 %, los orgánicos superaron a los sustratos inorgánicos. Aguilar-Benítez. *et al.*, (2012), obtuvo un decremento en CRAD al adicionar vermicompost al 1.5 y 3% con 5.4 y 5.1%.

## **2.6 El riego por goteo por gravedad**

Los métodos de riego por gravedad son los más comunes para aplicar el agua en los terrenos agrícolas, dada su simpleza de operación y al bajo o nulo consumo de energía. Se ha señalado que el riego por gravedad tiene una baja eficiencia en su aplicación y que no existe una programación y medición del riego para satisfacer las demandas de los cultivos en términos de oportunidad y eficiencia (Flores-Gallardo *et al.*, 2014).

El riego por goteo por gravedad es una alternativa viable para los pequeños productores, ya que no requiere el consumo de energía eléctrica además este método reduce la pérdida de agua durante el riego; gran parte de la aplicación del riego se realiza de acuerdo al criterio del agricultor. El riego por goteo por gravedad suministra agua de manera lenta y uniforme a baja presión a través de mangueras de plástico instaladas dentro o cerca de la zona radicular de las plantas (Shock y Welch, 2013). Las ventajas que ofrece desde el punto de vista de la economía del agua, por el efecto benéfico en el desarrollo de los cultivos y en los niveles de producción, se puede destacar: reducción en el uso de agua, se pierde muy poca agua porque hay poco escurrimiento, evaporación o percolación profunda (Monserrat *et al.*, 2012). También existe menos contacto del agua con el

follaje, los tallos y los frutos, y al tener un humedecimiento parcial del suelo se economiza el agua y los tiempos de aplicación son bajos (Mendoza, 2013).

## 2.7 Coeficiente de uniformidad (CU)

El coeficiente de uniformidad es el parámetro que se utiliza para definir cuantitativamente la forma de aplicación del agua de riego. Este dato es importante en la evaluación del sistema de riego debido a que de él depende la buena o mala aplicación del riego (Macías-Hernández, 2009). La uniformidad en la descarga de los emisores está asociada a la variabilidad propia entre goteros, su obstrucción, la topografía del terreno y las pérdidas de carga en la red (Nakayama y Bucks, 1986; Lamm y Camp, 2007). El incremento de la uniformidad no sólo permite ahorrar agua, sino que también mejora la fertilización cuando se realiza vía fertirriego y aminora los impactos ambientales asociados con la contaminación de las aguas subterráneas (South, 1994). Este coeficiente sirve para evaluar un sistema y ponderar las láminas de riego que requiere el cultivo (Keller y Bliesner, 1990). Se obtiene mediante la siguiente fórmula (Ecuación 1):

$$CU = \frac{q_{25\%}}{q_m} \times 100 \quad \left[ \text{Ecuación 1} \right]$$

Donde:

**CU** = Coeficiente de Uniformidad.

**q<sub>25%</sub>** = Media de 25 % de observaciones de valor más bajo.

**q<sub>m</sub>** = La media de todos los valores.

Los métodos de riego por goteo por gravedad permiten la aplicación de volúmenes o láminas de agua controladas y ajustadas a las necesidades de riego de los cultivos (Cuadro 1).

**Cuadro 1.** Valores de coeficiente de uniformidad de caudales (INIA-URURI, 2010)

<b>FUNCIONAMIENTO</b>	<b>Coeficiente de uniformidad de caudales (%)</b>
Excelente	90-100
Buena	80-90
Aceptable	70-80
Inaceptable	< 70

En estudios realizados por Pizarro, (1996) se determinó el coeficientes de uniformidad para climas áridos en terrenos con pendiente uniforme menor a 2%, donde los emisores se ubicaron espaciados a menos de 2.5 m. En cultivos permanentes o semipermanentes el CU osciló entre 85-90 %. Para cultivos permanentes o semipermanentes, de zonas áridas y pendiente uniforme u ondulada mayor al 2% el rango recomendado de CU es 80-90 %. Al respecto Buendía-Espinoza *et al.*, (2004), evaluaron coeficiente de uniformidad de tres sistemas de riego aspersión portátil, desplazamiento lateral y goteo, encontraron valores de 83.2, 76.5 y 83.2% de CU respectivamente. Lobo *et al.*, (2011) evaluó cuatro sistemas de riego microjet, autocompensado, lyn y cintilla en diferentes tiempos de riego 3, 24, 48 y 72 horas, encontraron para microjet 94, 91, 92 y 79%, para autocompensado 90, 89, 90 y 82%, lyn 93, 91, 91 y 91% y para cintilla 84, 76, 72 y 75%. Lynch-Lamilla (2006) evaluó el sistemas automatizado de riego por goteo en macrotúnel, utilizando dos tipos de goteo tipo botón y flecha, encontrando valores de 88.5 y 84% respectivamente.

## **2.8 Humedad volumétrica en el riego por goteo**

La dinámica del contenido de humedad volumétrica bajo el sistema de riego por goteo por gravedad, está relacionado con la clase textural del suelo y el tipo de cultivo a establecer, de manera que el objetivo es asegurar el máximo aprovechamiento del agua disponible (Flores-Gallardo *et al.*, 2014). Existen altas pérdidas de agua por debajo de la zona de raíces activas del cultivo (Rodríguez y López, 2014). La evaporación de agua desde los bulbos húmedos en un riego por

goteo superficial depende de la superficie de suelo mojada, del movimiento capilar y de la disminución del agua perdida por filtración Bonachela *et al.*, (2001).

En estudios realizados por Villanueva-Fuenzalida, (1998) quien evaluó dos sistemas de riego goteo en suelos pesado y liviano, encontró cambios de humedad volumétrica a las 24 y 48 horas después del riego, a la profundidad de 0-20 cm con 21 y 20%. A la profundidad de 20-40 cm el contenido fue de 32 y 30% para suelos pesados. Para suelos ligeros la humedad volumétrica fue de 22 y 21% de 0-20 cm y de 33 y 39% de 20-40 cm. Leopoldo *et al.*, (2013) determinaron la humedad volumétrica en suelos tratados con gallinaza con riego por goteo superficial con cintilla 4 mil a las profundidades de 5, 10, 20 y 30 cm encontraron valores de 23.1, 22.4, 21.4 y 13.3%. Al respecto Villafañe *et al.*, (2007) evaluaron sistemas de riego por cintilla, la humedad volumétrica a las profundidades de 0-20 y 20-40 cm con TDR fue de 7.3 y 7.5% respectivamente.

### **3. OBJETIVO**

Evaluar el efecto de los abonos orgánicos estiércol de bovino, gallinaza y composta de estiércol caprino en las condición física del suelo, la capacidad de retención de humedad y la eficiencia mediante el coeficiente de uniformidad utilizando tres métodos de riego por goteo por gravedad artesanal, armado y cintilla.

### **4. HIPÓTESIS**

El mejoramiento de la condición física de suelo, por la incorporación de abonos orgánicos, reflejado en el mejoramiento de la densidad aparente ( $\text{g cm}^{-3}$ ), y los cambios favorables en la retención de humedad estará propiciado por el sistema de riego por goteo con caudales uniformes favorables al cultivo.



## **5. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **5.1 Localización del experimento**

El estudio se realizó en un suelo franco arcilloso arenoso, del Campo Experimental del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Municipio de Texcoco, Estado de México. Ubicado a 19° 29' LN y 98° 53' de LW a una altitud de 2240 msnm. El clima es del tipo C (Wo) (w) b (1) g' que corresponde a templado subhúmedo con lluvias en verano, con una precipitación media anual de 750 mm y una temperatura media anual de 15.5 °C, cuya oscilación térmica es de 5 a 7 °C (García, 2004).

Los materiales utilizados fueron de diferente origen: composta de estiércol caprino, estiércol de bovino y gallinaza, los cuales se obtuvieron de los establos del Colegio de Postgraduados Campus Montecillo.

### **5.2 Diseño experimental**

El diseño experimental que se utilizó para la evaluación del presente trabajo fue un factorial 3 x 2, en donde se evaluaron como los tres abonos orgánicos señalados con los niveles de dosificación 2.5 y 5%, en base a peso seco considerando 3 repeticiones. Para las variables las propiedades físicas, CU, humedad volumétrica se realizaron los análisis de varianza y las comparaciones de medias con el Sistema de Análisis Estadístico (SAS, versión 1998).

### **5.3 Muestreo**

Se realizaron dos muestreos de suelo el 12 de Mayo y 13 de Junio del 2014, en dos profundidades 0-15 y 15-30 cm. Por cada punto de muestreo se extrajo 2 muestras de 1 kg, que posteriormente fueron secadas a temperatura ambiente. Una vez secas, las muestras se molieron y se tamizaron a 2 mm.

#### 5.4 Densidad aparente ( $\text{g cm}^{-3}$ )

Se determinó por el método de parafina, seleccionándose 4 terrones, los cuales se introdujeron a una estufa a  $110\text{ }^{\circ}\text{C}$ , durante 24 horas. Una vez seca la muestra se tomó el peso, se amarró cada terrón con un hilo y se sumergió en la parafina derretida a  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ , obteniéndose el peso correspondiente. Se determinó el valor de la  $D_a$  con la siguiente expresión:

$$V_{\text{terrón}} = V_a - \left[ \frac{P_a - P}{0.9} \right]$$

$$D_a (\text{g cm}^{-3}) = P / V_{\text{terrón}}$$

Donde:

$D_a$  = densidad aparente.

$V_{\text{terrón}}$  = volumen del terrón.

$V_a$  = peso seco del terrón cubierto con parafina sumergido en agua.

$P_a$  = peso seco del terrón cubierto con parafina.

$P$  = peso seco del terrón.

0.9 = densidad de parafina  $\text{g cm}^{-3}$ .

#### 5.5 Capacidad de campo y Punto de marchitez permanente (%)

El contenido de humedad de CC -33 kPa y PMP -1500 kPa se determinó por el método de la olla y membrana a presión (Richards, 1947). La muestra se colocó sobre anillos de hule, previamente colocados sobre el plato y membrana de presión; se agregó agua destilada a la superficie hasta lograr una lámina de 8-10 mm durante 16 horas, las muestras se introdujeron la estufa para secado hasta peso constante.

#### 5.6 Capacidad de retención de agua disponible (CRAD)

La capacidad de retención de agua disponible (CRAD) es el intervalo de humedad disponible que se define como el agua del suelo que puede ser absorbida a un ritmo adecuado para permitir el crecimiento normal de las plantas. Se suele calcular como la diferencia entre los valores de la

capacidad de campo y punto de marchitamiento permanente, como se muestra en la siguiente expresión:

$$\text{CRAD} = \text{CC} - \text{PM}$$

Donde:

CRAD: capacidad de retención de agua disponible (%).

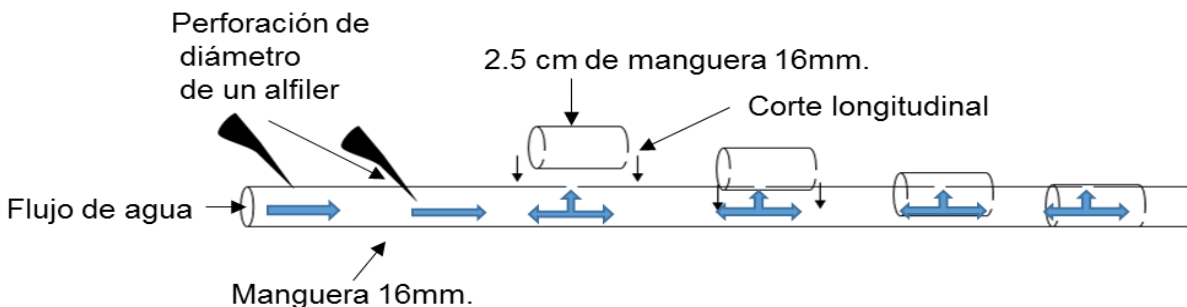
CC: capacidad de campo (%) (Contenido de humedad a 10-33 kPa).

PM: punto de marchitamiento permanente (%) (Contenido de humedad a -1500 kPa).

### 5.7 Sistemas de riego por goteo por gravedad

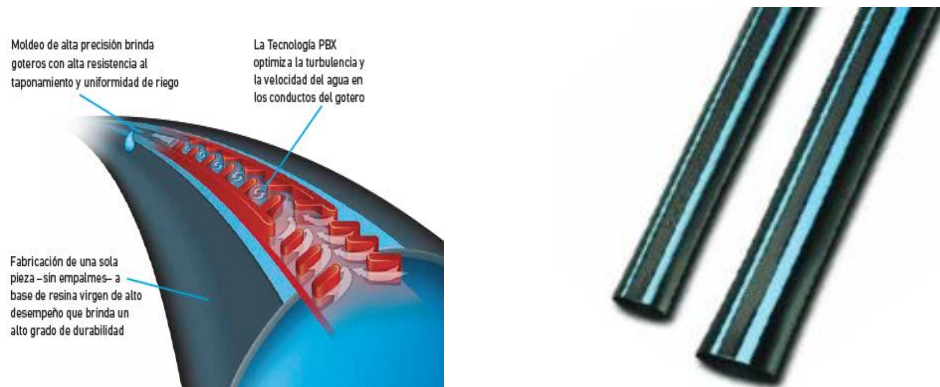
Se utilizaron los siguientes sistemas de riego por goteo por gravedad.

**Artesanal:** Este sistema fue construido utilizando manguera de 16 mm. Consistió en cortar pedazos de manguera de 2.5 cm de largo, a los que se realizó un corte longitudinal. Una vez obtenidos la cantidad suficiente, se cortó la manguera de 16mm, a la longitud de los surcos. Esta se fue perforando cada 30 cm de distancia y en cada perforación se fue colocando cada pedazo de manguera de 2.5 cm, (Figura 1). Esto sirvió para impedir un flujo de agua directo de cada perforación.



**Figura 1.** Representación esquemática del armado del sistema de riego artesanal.

**Cintilla:** Se utilizó cintilla marca Toro® calibre 8 mil, en el cual los goteros ya vienen incrustados a una distancia de 20 cm entre goteros (Figura 2), el tipo de gotero es en forma de laberinto para que el flujo del agua no sea directo.



**Figura 2.** Cintilla de riego calibre 8 mil marca Toro®.

**Armado:** Para este sistema de riego se utilizó un gotero tipo dual plug SF dripper y un plug por gotero, ambos de Rain-Tal®. También se utilizó manguera de 16mm y la perforación se realizó cada 30 cm donde se incrustó el plug más el gotero Dual Plug SF Dripper (Figura 3).



**Figura 3.** Sistema de riego armado, tipo dual plug SF dripper Rain-Tal®.

### 5.8 Coeficiente de uniformidad (CU %)

Para calcular el coeficiente de uniformidad del caudal (CU), se procedió de la siguiente forma:

Se seleccionó un subsector representativo de todo el sistema de riego y este correspondió a aquella unidad cuyas líneas laterales o emisores son abastecidas por la misma tubería terciaria. Se seleccionaron 16 emisores, tomando en cuenta el lateral más cercano y el más lejano del inicio de la subunidad. Entre ambas laterales se eligieron otras 2 laterales intermedias, ubicadas a 1/3 y a 2/3 de la longitud de la terciaria. En cada lateral se seleccionan 4 emisores siguiendo el mismo

criterio, es decir, el más cercano y el más lejano del inicio de cada lateral y dos emisores intermedios (INIA-URURI, 2010).

Para realizar la evaluación de CU, se puso en funcionamiento el sistema de riego. Una vez que se homogenizó el riego, se necesitó de una probeta para medir volumen y un cronómetro. Este procedimiento se realizó considerando tres capacidades de llenado del tinaco o depósito de agua, al 100%, 60% y 30, lo cual corresponde a 28.4, 22.9 y 18.8 kPa de presión. Una vez que se conoció el volumen del caudal de los emisores se calculó el coeficiente de uniformidad (Ecuación 1).

### **5.9 Humedad volumétrica (%)**

Para las parcelas bajo los diversos sistemas de riego por goteo, se determinó la humedad volumétrica a los 24 y 48 horas a las profundidades de 0-15 y 15-30 cm. Para esto, se tomó una pequeña muestra de suelo bajo el gotero a cada profundidad considerando la densidad aparente (Da) de cada tratamiento, y se determinó el contenido volumétrico de la humedad.

## 6. RESULTADOS Y DISCUSIONES

### 6.1 Densidad aparente ( $\text{g cm}^{-3}$ )

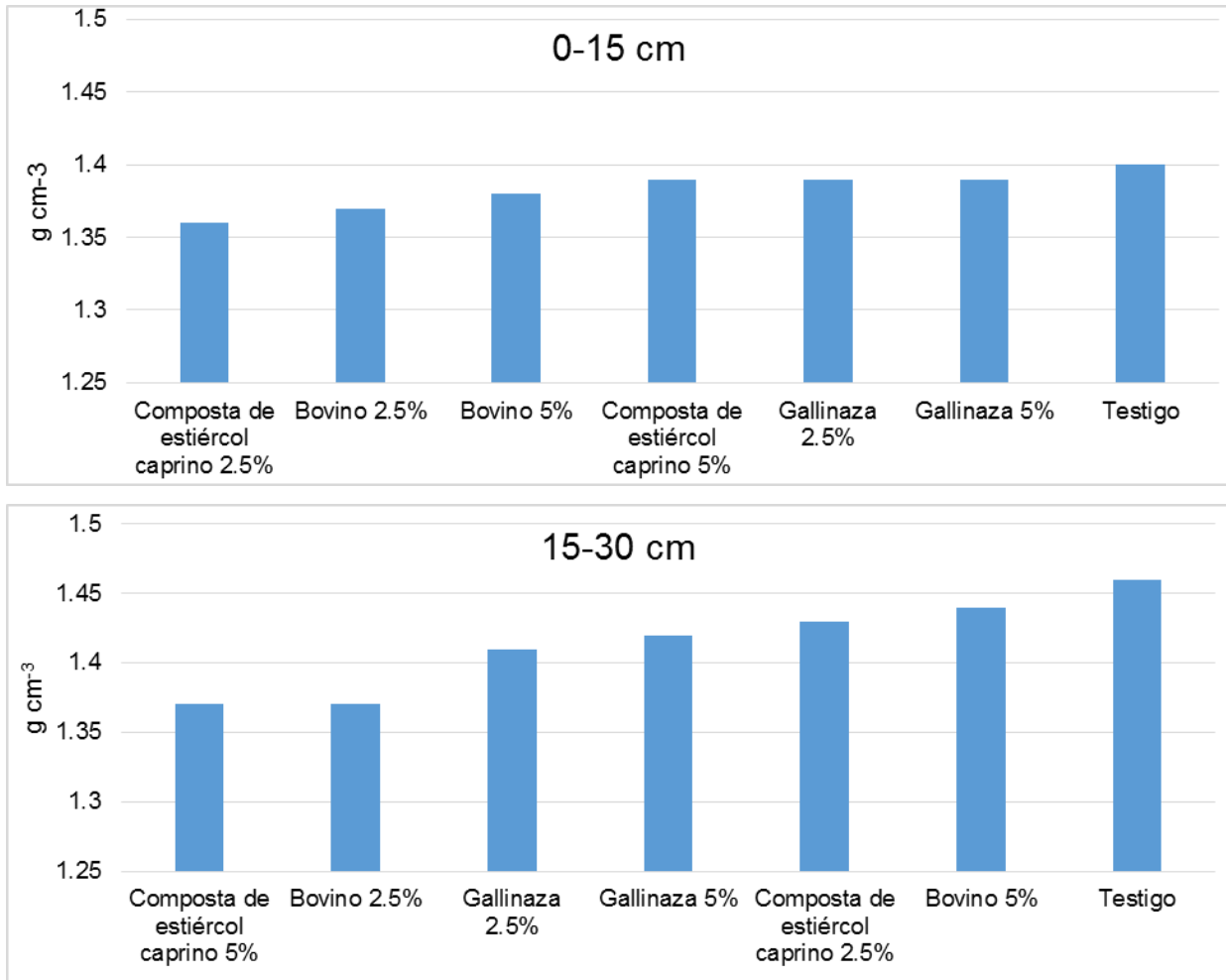
Con la incorporación de abonos orgánicos disminuyó la Da en 1.42% a la profundidad de 0-15 cm (Cuadro 2), en el cual incrementa la porosidad total un 47%. El tratamiento composta de estiércol caprino 2.5 % disminuyó la Da hasta un 2.85%, y un incremento en la porosidad total de 49% comparado con el testigo; otro de los tratamientos que produjo disminución en la Da fue el estiércol bovino al 2.5% en un 2.14% y un aumento de 48% en porosidad. Respecto a la profundidad 15-30 cm la adición de abonos orgánicos disminuyó la densidad aparente en un 3.42% incrementando en 46% la porosidad total. En esta profundidad el tratamiento composta de estiércol caprino 5% y bovino 2.5% presentaron una disminución de la Da de 6.16% y una mejoría de 48% de porosidad, comparado con el testigo (Figura 4). En suma, la reducción promedio de la Da por la aplicación de abonos orgánicos para la profundidad de 0-15 cm fue de 1.42%, mientras que para la profundidad de 15 a 30 cm fue de 3.42%. Esto concuerda con Quintanilla *et al.*, (2013) quienes al incorporar gallinaza  $2503 \text{ kg/ha}^{-1}$  y bocashi  $3128 \text{ kg/ha}^{-1}$ , encontraron una disminución de Da del 9% en gallinaza y 11% en bocashi.

**Cuadro 2.** Comparación de medias sobre densidad aparente (Da) para los abonos orgánicos y profundidad.

Tratamientos	Profundidades (cm)			
	0-15		15-30	
	----- $\text{gcm}^{-3}$ -----			
Composta de estiércol caprino 2.5%	1.36	a	1.43	ab
Composta de estiércol caprino 5%	1.39	ab	1.37	a
Bovino 2.5%	1.37	ab	1.37	a
Bovino 5%	1.38	ab	1.44	b
Gallinaza 2.5%	1.39	ab	1.41	ab
Gallinaza 5%	1.39	ab	1.42	ab
Testigo	1.40	ab	1.46	b
Pr > F	0.0354			
C.V.	2.34			

† Los valores de cada columna seguidos por la misma letra no presentan diferencias significativas (Tukey  $\alpha = 0.10$ ).

En estudios realizados por García-Favela (2007) para la profundidad de 0-15 cm en laboreo convencional y mínimo, encontró valores de Da 1.52 y 1.55 g cm<sup>-3</sup>, mientras que para la profundidad de 15-30 cm de 1.56 y 1.54 g cm<sup>-3</sup>. Al respecto, Aguilar-Benítez *et al.*, (2012) obtuvo un efecto favorable en la Da al adicionar vermicompost al 1.5 y 3% con valores de 1.35 y 1.30 g cm<sup>-3</sup>.



**Figura 4.** Comparación de medias sobre densidad aparente (Da) para los abonos orgánicos y profundidades.

La disminución en la densidad aparente se debe al efecto de la adición de los abonos orgánicos favorece la agregación de las partículas más gruesas del suelo (Sánchez, 1981). La estabilización de los gránulos, mejora la porosidad, y por ende, disminuye la Da, lo cual tiene como resultado mejorar las condiciones de aireación (Flores *et al.*, 2004). El aumento de la porosidad es

aprovechado por los pelos radicales de la planta, para extenderse e incrementar la actividad metabólica de sistema radical. Es posible que esto se encuentre relacionado con el grado de descomposición y humificación de la materia orgánica. Primavesi (1990) argumenta que cuanto más intensa es el grado de descomposición del material orgánico, mayor será su efecto sobre la Da.

## 6.2 Capacidad de Campo (%)

La incorporación de abonos orgánicos aumentó la CC en 19% a la profundidad de 0-15 cm (Cuadro 3). El tratamiento bovino 5 % aumentó la CC hasta un 13% comparado con el testigo. Otro de los tratamientos que produjo aumento en la CC del suelo fueron los abonos de gallinaza y composta de estiércol caprino 5% con 9%. Mientras que en la profundidad 15-30 cm la adición de abonos orgánicos aumentó un 10%. En esta profundidad el tratamiento composta de estiércol caprino 2.5 y 5% y bovino 2.5% presentaron un aumento del 5%, comparado con el testigo (Figura 5). El promedio en general del aumento de CC en las dos profundidades fue del 14.5 %. Esto concuerda con Orozco-Corral *et al.*, (2002) quienes al aplicar biofertilización registraron un aumento en la CC de 14.47 %.

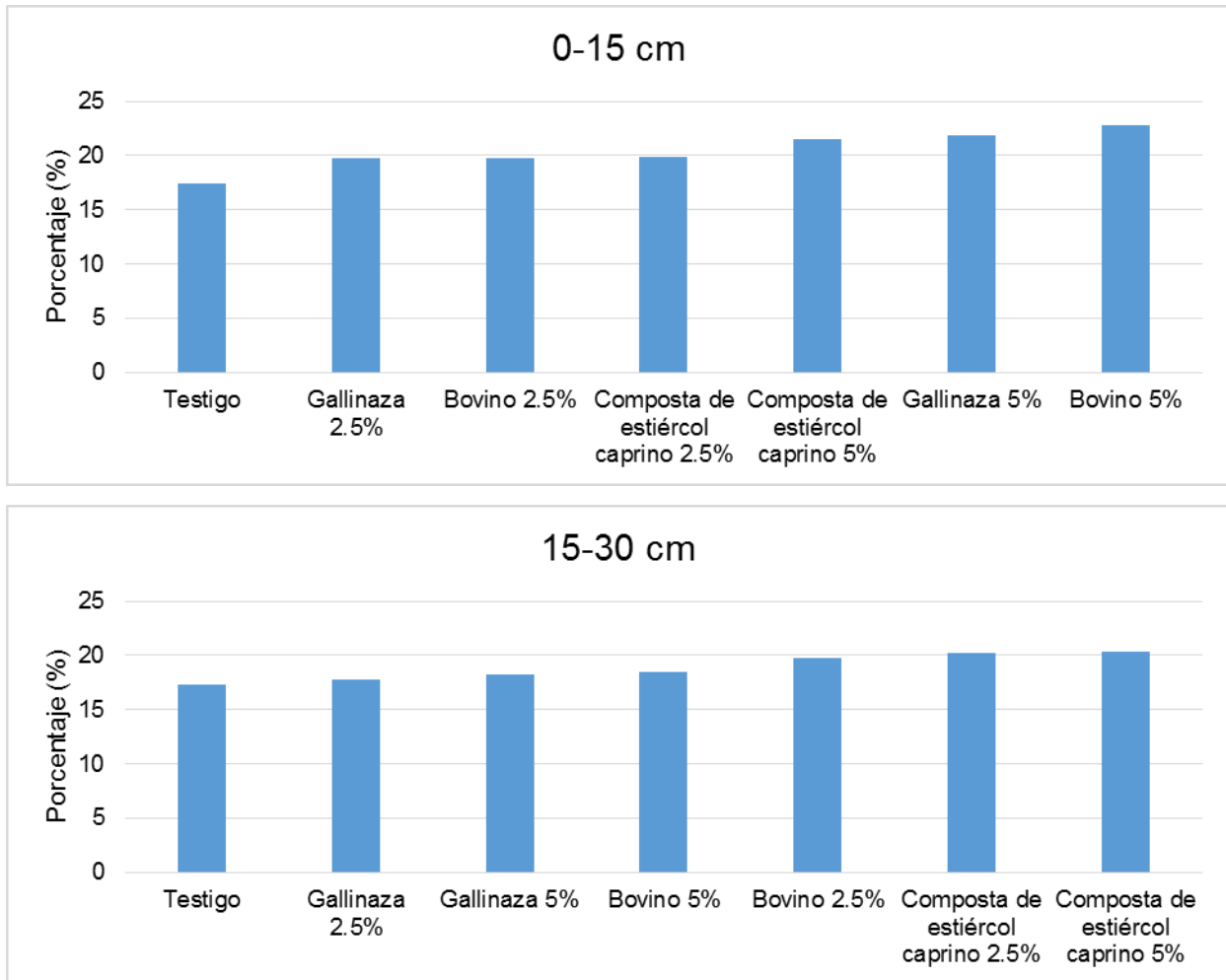
**Cuadro 3.** Comparación de medias sobre capacidad de campo (CC) para los abonos orgánicos y profundidad.

Tratamientos	Profundidad (cm)			
	0-15		15-30	
	-----%-----			
Composta de estiércol caprino 2.5%	19.93	ab	20.25	ab
Composta de estiércol caprino 5%	21.55	ab	20.33	ab
Bovino 2.5%	19.74	ab	19.74	ab
Bovino 5%	22.82	a	18.51	ab
Gallinaza 2.5%	19.71	ab	17.76	ab
Gallinaza 5%	21.88	ab	18.24	ab
Testigo	17.37	b	17.30	b
Pr > F	0.0311			
C.V.	9.73			

† Los valores de cada columna seguidos por la misma letra no presentan diferencias significativas (Tukey  $\alpha = 0.05$ ).



López-Martínez *et al.*, (2001), encontraron valores de CC al inicio, en tratamientos bovino y caprino 20, 30 y 40 t/ha<sup>-1</sup> de 32.7, 26.7 y 32.7%, al final hubo una disminución de 26.8, 29.2 y 29.2% respectivamente. Al respecto Porfirio V. L. (2014), encontró un incremento con fibra de coco 2615.64% de CC, también menciona que sustratos inorgánicos tuvieron un incremento del 174.29% en la fase final del experimento.



**Figura 5.** Comparación de medias sobre capacidad de campo (CC) para los abonos orgánicos y profundidades.

Los resultados obtenidos en este estudio, señalan que con la incorporación de abonos orgánicos, existe un incremento en la capacidad de retención de humedad a CC, siendo notoria con la dosis de 5%, principalmente a la profundidad de 0-15 cm, lo cual permite al cultivo, contar con mayor humedad a utilizar en el desarrollo.

### 6.3 Punto de marchitez permanente (%)

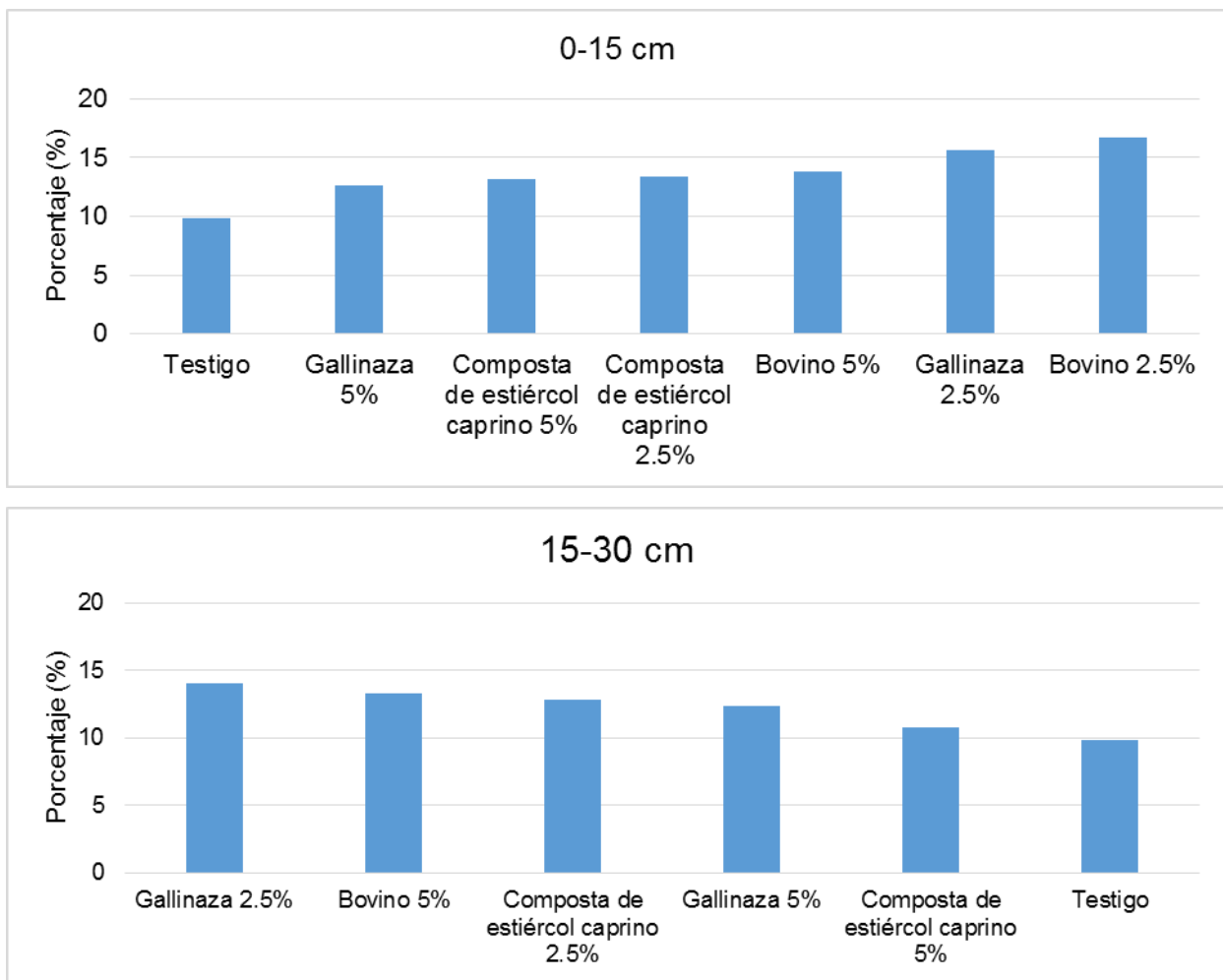
La adición de abonos orgánicos aumentó el PMP en 28% en la profundidad de 0-15 cm (Cuadro 4). El tratamiento bovino 2.5 % aumentó el PMP en un 17% comparado con el testigo, otro de los tratamientos que produjo aumento en el PMP del suelo fue gallinaza 2.5 con 12%. Mientras que en la profundidad 15-30 cm la adición de abonos orgánicos aumentó un 23%. En esta profundidad el tratamiento bovino y gallinaza 2.5% presentaron un aumento del 23 y 7% respectivamente, comparado con el testigo (Figura 6). El promedio en general del aumento de PMP en las dos profundidades fue del 25.5 %. Esto concuerda con López-Martínez *et al.*, (2001) quienes al aplicar estiércol de caprino con 20 t/ha<sup>-1</sup> registraron un aumento de 11 % de PMP y con bovino 30 t/ha<sup>-1</sup> de 8%.

**Cuadro 4.** Comparación de medias sobre punto de marchitez permanente (PMP) para los abonos orgánicos y profundidad.

Tratamiento	Profundidad (cm)			
	0-15		15-30	
	-----%-----			
Composta de estiércol caprino 2.5%	13.34	abc	12.82	abc
Composta de estiércol caprino 5%	13.20	abc	10.80	bc
Bovino 2.5%	16.77	a	16.77	a
Bovino 5%	13.83	abc	13.24	abc
Gallinaza 2.5%	15.69	ab	14.07	abc
Gallinaza 5%	12.63	abc	12.32	abc
Testigo	9.80	c	9.79	c
Pr > F	0.0004			
C.V.	13.38			

† Los valores de cada columna seguidos por la misma letra no presentan diferencias significativas (Tukey  $\alpha = 0.05$ ).

Orozco-Corral *et al.*, (2002), al aplicar biofertilizantes registraron un aumento de 9.4% de PMP. Al respecto Porfirio V. L. (2014), encontró un incremento en fibra de coco 649.24% de PMP.



**Figura 6.** Comparación de medias sobre punto de marchitez permanente (PMP) para los abonos orgánicos y profundidad.

Los resultados obtenidos en este estudio, señalan que con la incorporación de abonos orgánicos, existe un incremento en la capacidad de retención de humedad a PMP, siendo notoria con la dosis de 2.5%, principalmente a la profundidad de 0-15 cm, lo cual permite al cultivo, contar con mayor humedad a utilizar en el desarrollo del cultivo.

#### **6.4 Capacidad de retención de agua disponible (CRAD)**

La incorporación de abonos orgánicos aumentó la CRAD en 62.5% a la profundidad de 0-15cm (Cuadro 5). El tratamiento gallinaza y bovino al 5 % aumentó la CRAD hasta un 27 y 11% comparado con el testigo. Mientras que en la profundidad 15-30 cm la adición de abonos orgánicos

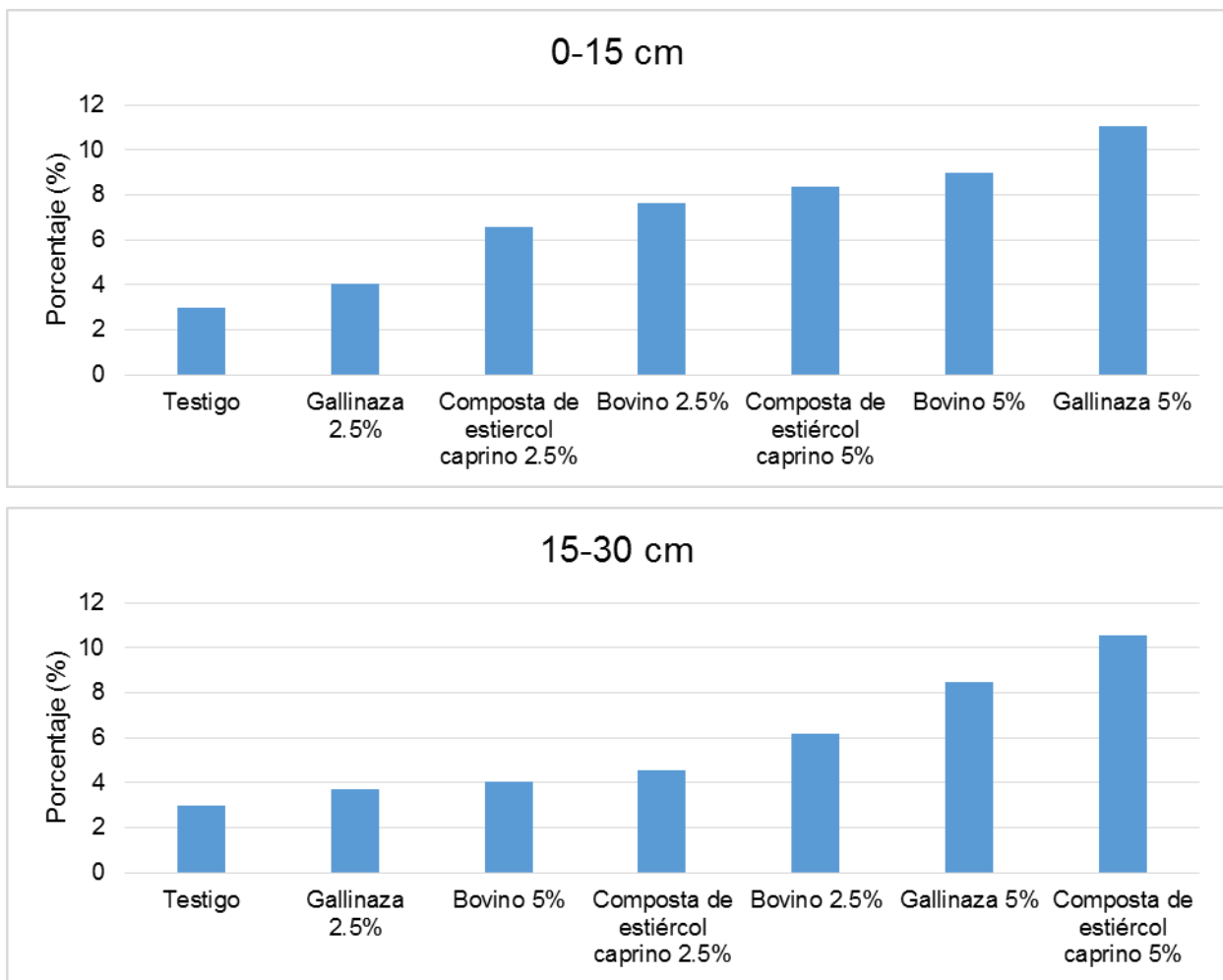
aumentó en un 50%. En esta profundidad el tratamiento composta de estiércol caprino y gallinaza 5% presentaron un aumento de 45 y 25%, comparado con el testigo (Figura 7). El promedio en general del aumento de CRAD en las dos profundidades fue del 56.25 %. Esto concuerda con Orozco-Corral *et al.*, (2002) quienes al aplicar biofertilización registraron un aumento en la CRAD de 9.4%.

**Cuadro 5.** Comparación de medias sobre capacidad de retención de agua disponible para los abonos orgánicos y profundidades.

Tratamiento	Profundidad (cm)			
	0-15		15-30	
	-----%-----			
Composta de estiércol caprino 2.5%	6.59	abc	4.55	bc
Composta de estiércol caprino 5%	8.36	abc	10.54	a
Bovino 2.5%	7.62	abc	6.19	abc
Bovino 5%	9.00	ab	4.06	bc
Gallinaza 2.5%	4.02	bc	3.69	bc
Gallinaza 5%	11.07	a	8.45	ab
Testigo	2.97	c	2.97	c
Pr > F	0.0001			
C.V.	28.21			

† Los valores de cada columna seguidos por la misma letra no presentan diferencias significativas (Tukey  $\alpha = 0.05$ ).

Porfirio V. L. (2014), encontró un incremento con fibra de coco 95.26% de CRAD, también menciona que sustratos orgánicos e inorgánicos tuvieron un incremento del 132.65 y 132.85% en la fase final del experimento. Al respecto López-Martínez *et al.*, (2001), encontraron valores de CRAD al inicio, en tratamientos bovino y composta de estiércol caprino de 20, 30 y 40 t/ha<sup>-1</sup> con 15, 12.2 y 15%, al final hubo una disminución de 12.3, 13.4 y 13.4% respectivamente. Aguilar-Benítez *et al.*, (2012) obtuvo una disminución en la CRAD al adicionar vermicompost al 1.5 y 3% con valores de CRAD 5.4 y 5.1 %.



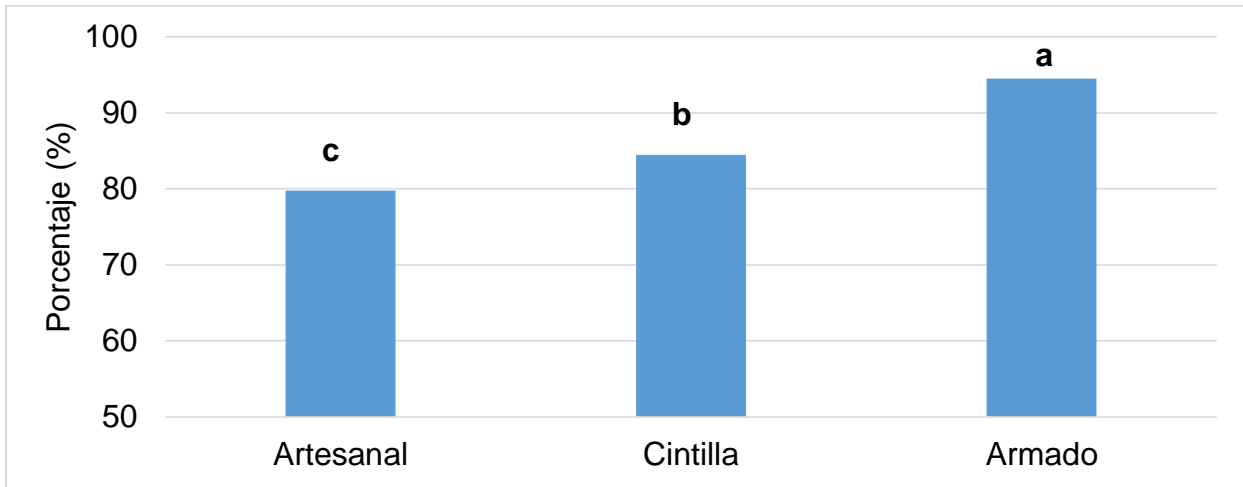
**Figura 7.** Comparación de medias sobre capacidad de retención de agua disponible (CRAD) para los abonos orgánicos y profundidades.

Los resultados obtenidos en este estudio, señalan con la incorporación de abonos orgánicos, existe un aumento en la capacidad de retención de agua disponible, siendo notoria con la dosis de 5%, principalmente a la profundidad de 0-15 cm, lo cual permite la mayor cantidad de agua disponible, en la zona radical de la planta para tener su óptimo desarrollo.

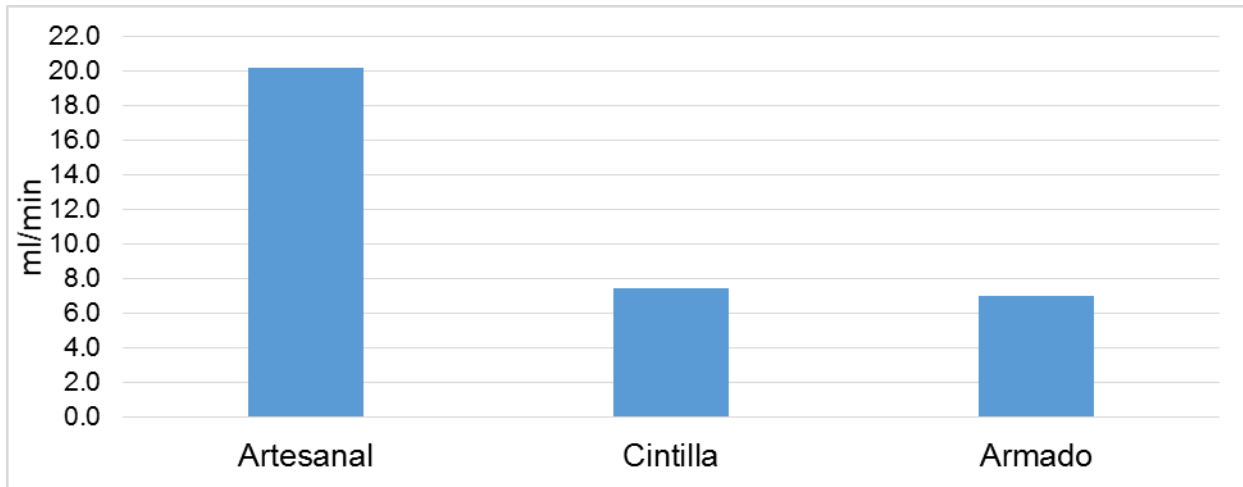
### 6.5 Coeficiente de uniformidad al 100% de llenado, 28.4 kPa

De acuerdo con (INIA-URURI, 2010) los resultados obtenidos para el sistema de riego denominado armado mostró un excelente desempeño con 94.4% (Figura 8), mientras que el sistema de riego cintilla y artesanal con 10.5 y 15.5% por debajo del sistema de riego armado. Los

caudales promedio registrados fueron de 20.1, 7.4 y 7.0 ml/min para los sistemas de riego artesanal, cintilla y armado, respectivamente (Figura 9).



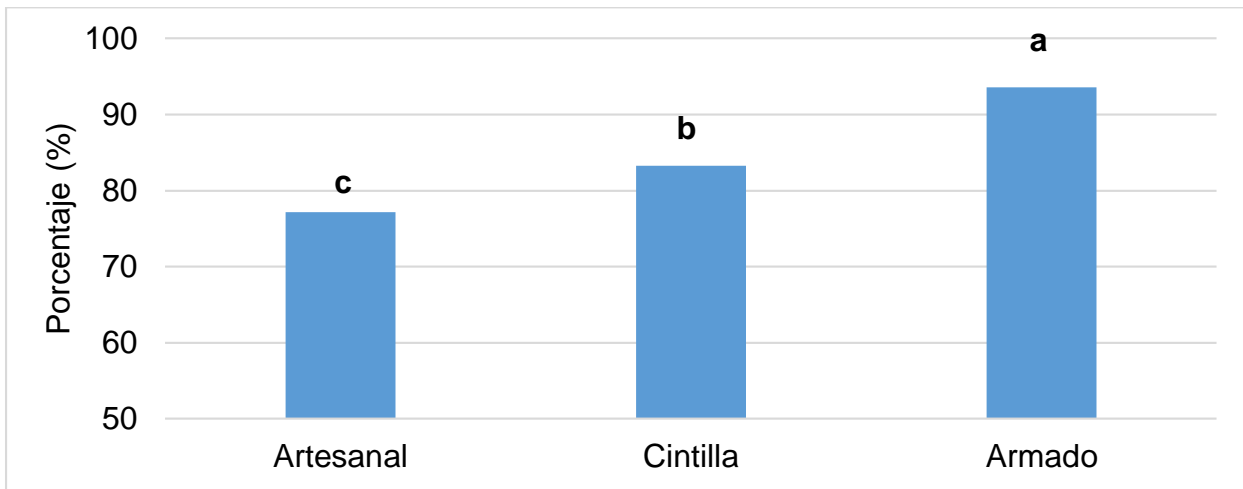
**Figura 8.** Comparación de medias de coeficiente de uniformidad al 100% de llenado del depósito 28.4 kPa.



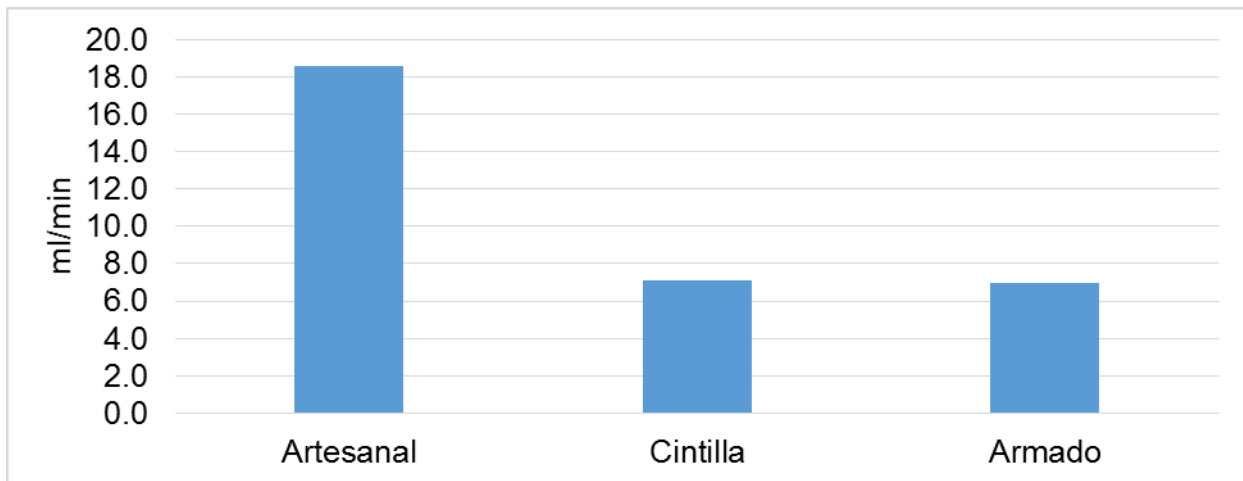
**Figura 9.** Comparación de medias de caudales de goteros al 100% de llenado del depósito 28.4 kPa.

### 6.6 Coeficiente de uniformidad al 60% de llenado, 22.9 kPa

Los resultados obtenidos al 60% de llenado 22.9 kPa mostraron una disminución de 1.8 % (Figura 10) comparado con la presión de 28.4 kPa. Los sistemas de riego artesanal, cintilla y armado presentaron una disminución de 3.2, 1.4 y 0.95% respectivamente. El sistema de riego armado con esta disminución de presión mantuvo un excelente CU del 93.5%. Se registrados caudales de 18.6, 7.1 y 7.0 ml/min en riego artesanal, cintilla y armado (Figura 11).



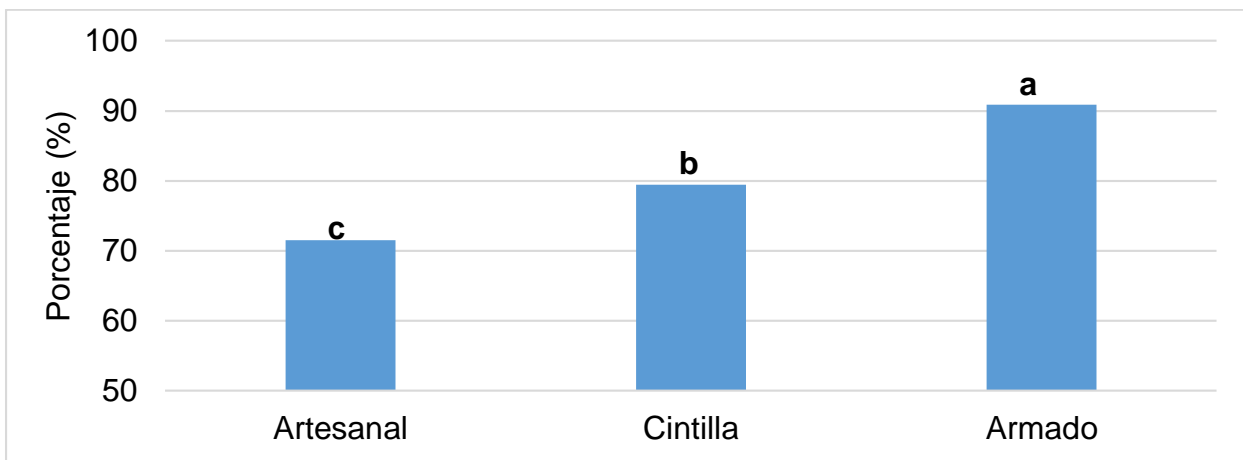
**Figura 10.** Comparación de medias de coeficiente de uniformidad al 60% de llenado del depósito 22.9 kPa.



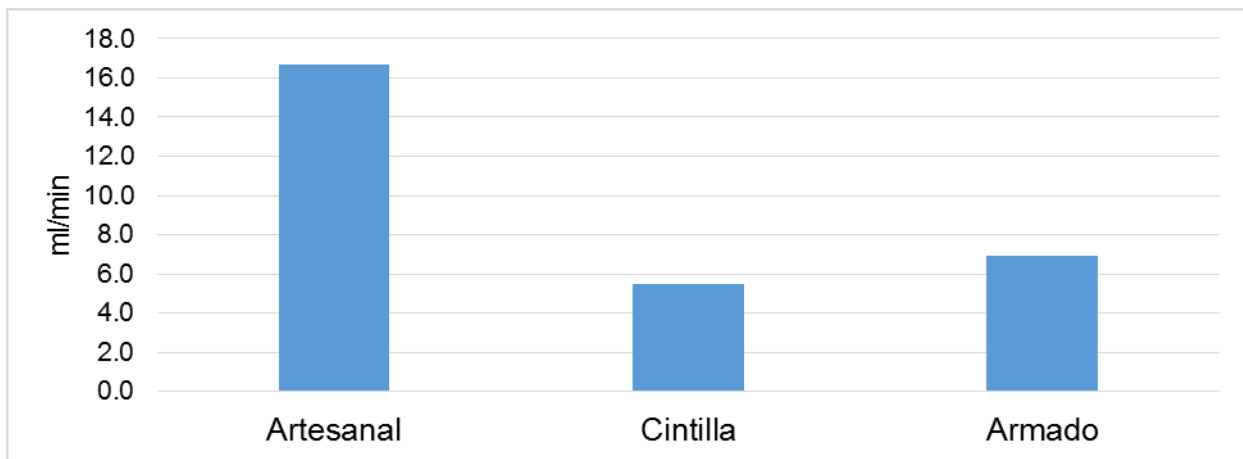
**Figura 11.** Comparación de medias de goteros al 60% de llenado del depósito 22.9 kPa.

### 6.7 Coeficiente de uniformidad al 30% de llenado, 18.8 kPa

Los resultados obtenidos al 30% de llenado mostraron una disminución de 4.7% comparado con el llenado a 60% 22.9 kPa (Figura 12). Los sistemas de riego artesanal, cintilla y armado presentaron una disminución del 7.4, 4.7 y 2.8% respectivamente. El sistema de riego armado con esta disminución de presión, mantuvo un excelente CU de 90.9%. Los caudales registrados fueron de 16.7, 5.5 y 6.9 ml/min para los sistemas de riego artesanal, cintilla y armado (Figura 13). Los resultados encontrados bajo presión de 18.8 kPa, indican una disminución de 3.6 ml/min, esto comparado con la presión de 22.9 kPa.



**Figura 12.** Comparación de medias de coeficiente de uniformidad al 30% de llenado del depósito 18.8 kPa.



**Figura 13.** Comparación de medias de goteros al 30% de llenado del depósito 18.8 kPa.



El sistema de riego armado ante las diferentes presiones evaluadas, mostró un excelente coeficiente de uniformidad, mientras que el sistema de riego cintilla presentó una ligera disminución, de buena a aceptable. Para el sistema artesanal el coeficiente de uniformidad siempre se mantuvo en aceptable. En estudios realizados por Lynch-Lamilla (2006) evaluó riego por goteo encontró valores de CU de 88.5 y 84% en goteros tipo botón y flecha. Al respecto Buendía-Espinoza *et al.*, (2004), evaluaron CU encontrando valores de 83.2% en sistema de riego por goteo. Loba *et al.*, (2011) evaluaron CU en cintilla en diferentes tiempos de riego 3, 24, 48 y 72 horas encontrando volares de 84, 76, 72 y 75%.

En resumen, las medias de los caudales de los goteros de riego mostraron una disminución conforme fue disminuyendo la presión 28.4 a 22.9 y 22.9 a 18.8 kPa. Para el riego artesanal hubo una disminución de 7.4 y 10.2%, cintilla 4 y 22.5%, mientras para el sistema de riego armado tuvo una disminución de 1.4%.

La ventaja de utilizar el riego por goteo por gravedad artesanal, cintilla y armado es suministrar agua de manera lenta y uniforme a baja presión cerca de la zona radicular de las plantas (Shock y Welch, 2013). Las ventajas que ofrece desde el punto de vista de la economía del agua, por el efecto benéfico en el desarrollo de los cultivos y en los niveles de producción, se puede destacar: reducción en el uso de agua, se pierde muy poca agua porque hay poco escurrimiento, evaporación o percolación profunda (Montserrat *et al.*, 2012). El riego por goteo por gravedad es una alternativa viable para los pequeños productores, ya que no requiere el consumo de energía eléctrica además este método reduce la pérdida de agua durante el riego; gran parte de la aplicación del riego se realiza de acuerdo al criterio del agricultor.

## **6.8 Humedad volumétrica ( $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ ) con riego artesanal**

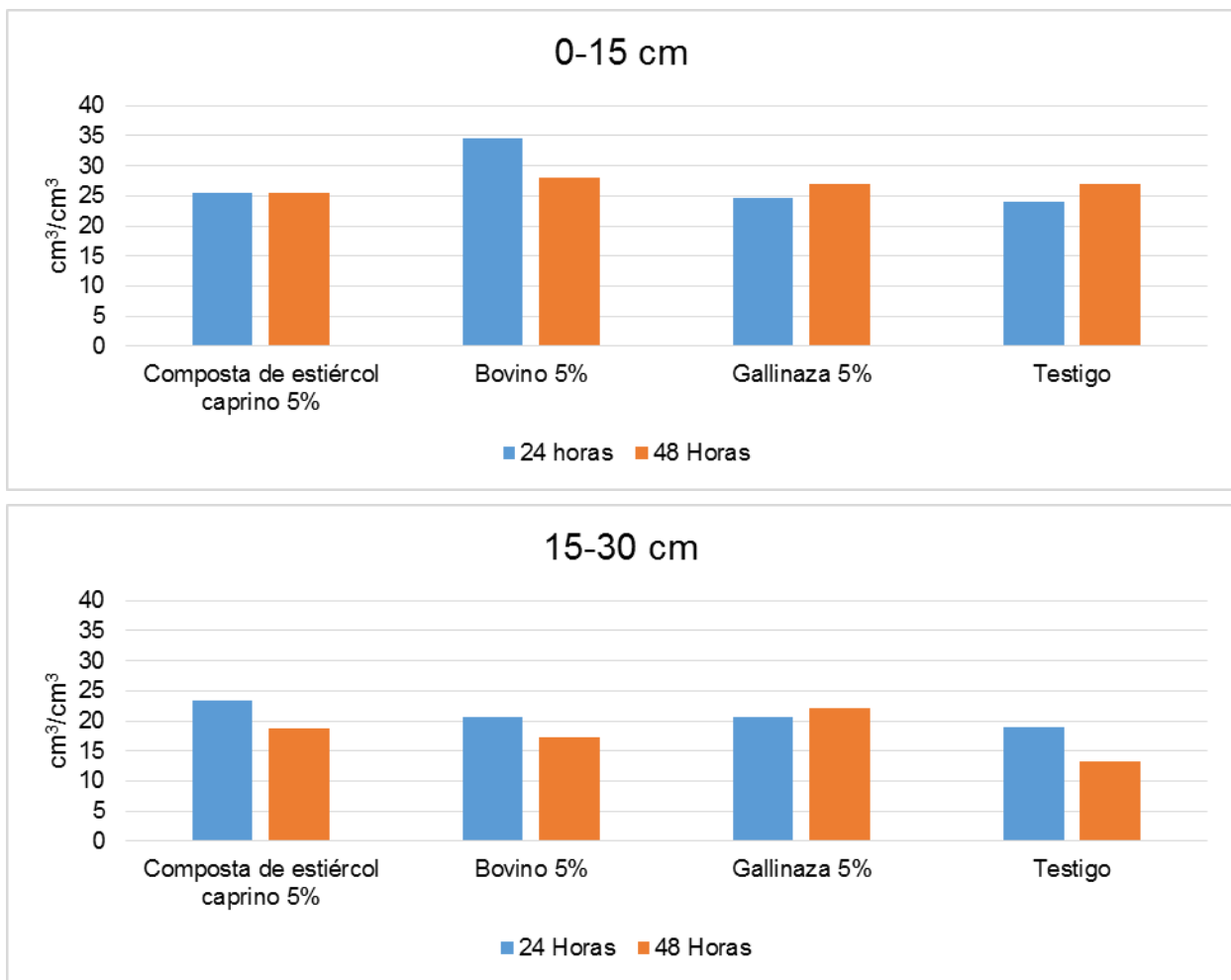
La incorporación de abonos orgánicos para el riego artesanal aumentó el contenido de humedad ( $\text{Øv}$ ) con 14% a las 24 horas después del riego a la profundidad de 0-15 cm (Cuadro 6). El tratamiento bovino 5% aumentó la  $\text{Øv}$  a las 24 horas hasta un 31% comparado con el testigo (Figura 14). Otro de los tratamientos que produjo aumento en la  $\text{Øv}$  fue gallinaza y composta de estiércol caprino al 5% con 4% a las 24 horas, y de 3.7% para 48 horas. Mientras que para la profundidad de 15-30 cm la adición de abonos orgánicos aumentó un 13% a las 24 horas y 31% a las 48 horas después de riego. En esta profundidad el tratamiento composta de estiércol caprino al

5% presentó un incremento del 17% a las 24 horas y 31% a las 48 horas después del riego, comparado con el testigo. El promedio en general del aumento de humedad volumétrica en las dos profundidades fue del 13.5 % a las 24 horas y 15.5% a las 48 horas después del riego.

**Cuadro 6.** Comparación de medias sobre humedad volumétrica ( $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ ) de los abonos orgánicos y profundidad en dos tiempos para el sistema de riego por goteo artesanal.

Tratamientos	24 Horas		48 Horas	
	0-15	15-30	0-15	15-30
	----- $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ -----			
Composta de estiércol caprino 5%	25.48 ab	23.29 ab	25.48 abc	18.72 bcd
Bovino 5%	34.50 a	20.64 ab	28.06 a	17.28 cd
Gallinaza 5%	24.73 ab	20.68 ab	27.07 ab	22.09 abc
Testigo	24.09 ab	18.93 b	26.87 ab	13.25 d
Pr > F	0.0401		0.0004	
C.V.	21.67		13.55	

† Los valores de cada columna seguidos por la misma letra no presentan diferencias significativas (Tukey  $\alpha = 0.05$ ).



**Figura 14.** Comparación de medias de humedad volumétrica ( $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ ) de los abonos orgánicos y profundidades en dos tiempos para el sistema de riego por goteo artesanal.

### 6.9 Humedad volumétrica $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ con riego con cintilla.

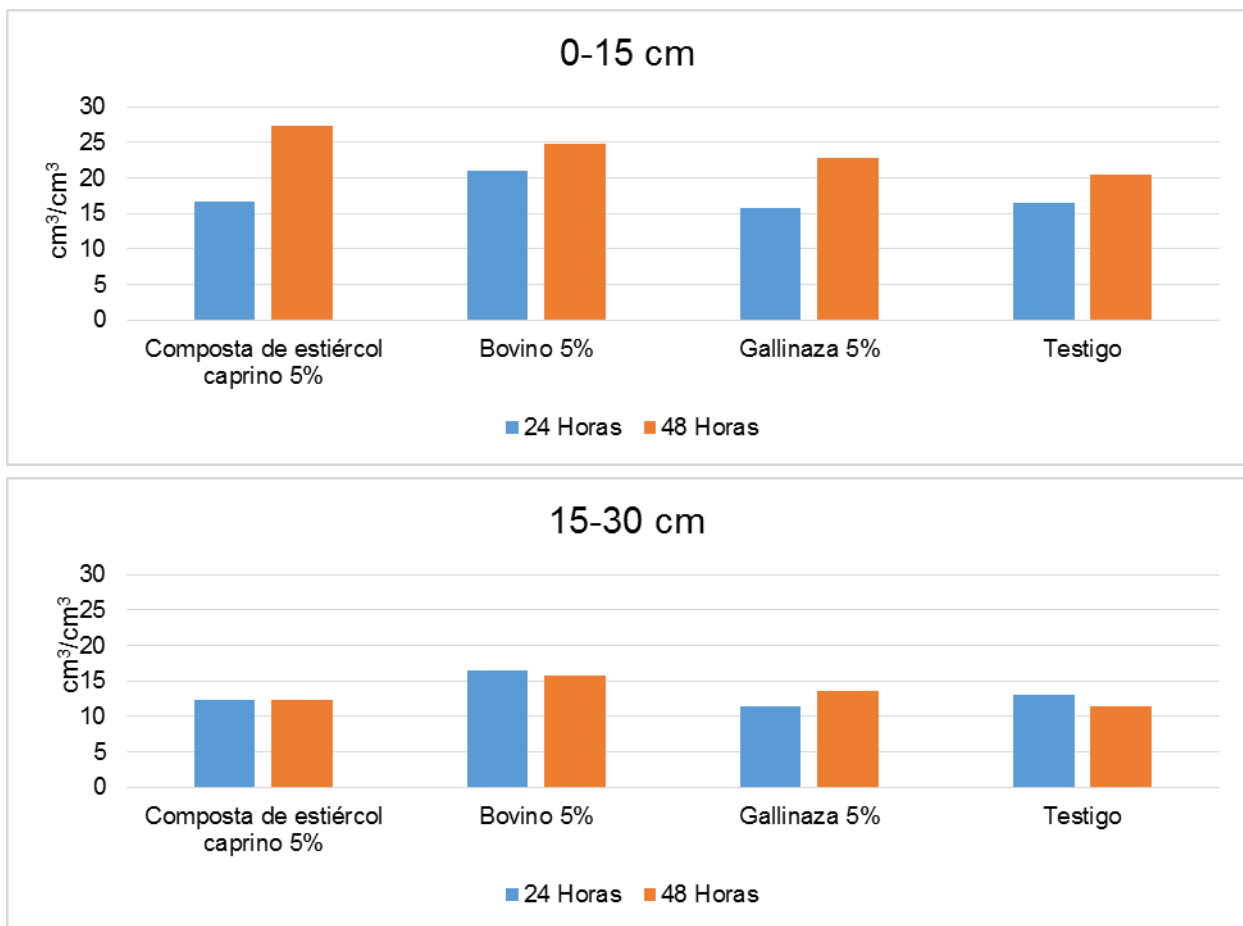
La incorporación de abonos orgánicos aumentó el contenido de humedad volumétrica con 5.5 % a las 24 horas después del riego y 20% a las 48 horas en la profundidad de 0-15 cm (Cuadro 7) para el sistema de riego por cintilla. El tratamiento bovino 5 % aumentó la humedad volumétrica a las 24 horas en 19% y 20 % a las 48 horas, comparado con el testigo (Figura 15); otro de los tratamientos que produjo aumento en la  $\text{Øv}$  del suelo fue la composta de estiércol caprino y gallinaza al 5% con 26 y 13 % después de las 48 horas. Este último tratamiento no presentó efecto alguno sobre la humedad volumétrica en las primeras 24 horas de riego. Para la profundidad 15-30 cm la adición de abonos orgánicos aumentó en 21.4 % a las 24 horas. Después de las 48 horas

no hubo efecto sobre la humedad. Para esta profundidad el tratamiento composta de estiércol caprino al 5% presentó un aumento del 8.3 % comparado con el testigo. Los abonos de gallinaza y bovino al 5 % tuvieron un incremento del 21.4 y 31.3 % de la humedad a las 24 horas después del riego. El promedio en general del incremento de humedad volumétrica en las dos profundidades fue del 13.4 % a las 24 horas y 10.5% a las 48 horas después del riego.

**Cuadro 7.** Comparación de medias sobre humedad volumétrica ( $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ ) para los abonos orgánicos y profundidad en dos tiempos para el sistema de riego por goteo con cintilla.

Tratamientos	24 Horas		48 Horas	
	0-15	15-30	0-15	15-30
	$\text{cm}^3/\text{cm}^3$			
Composta de estiércol caprino 5%	16.68 a	12.33 a	27.33 a	12.33 d
Bovino 5%	21.00 a	16.45 a	24.84 ab	15.84 cd
Gallinaza 5%	15.75 a	11.36 a	22.86 ab	13.63 d
Testigo	16.56 a	12.96 a	20.38 bc	11.36 d
Pr > F	0.0511		0.0001	
C.V.	23.62		10.97	

† Los valores de cada columna seguidos por la misma letra no presentan diferencias significativas (Tukey  $\alpha = 0.05$ ).



**Figura 15.** Comparación de medias de humedad volumétrica ( $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ ) para los abonos orgánicos y profundidades en dos tiempos para el sistema de riego por goteo con cintilla.

### 6.10 Humedad volumétrica ( $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ ) con el sistema de riego armado

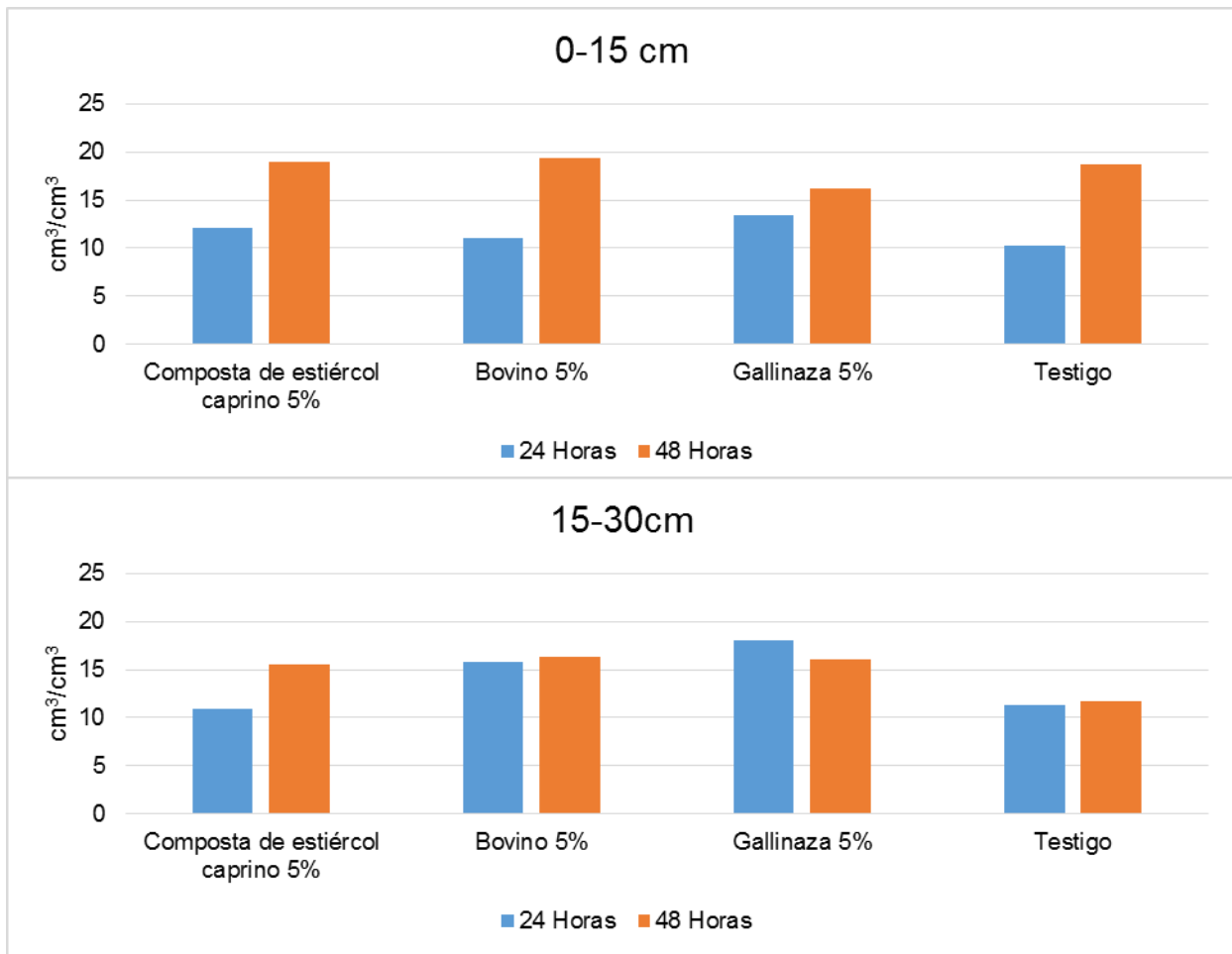
La aplicación de abonos orgánicos aumentó el contenido de humedad volumétrica en 17% a las 24 horas después del riego en la profundidad de 0-15 cm (Cuadro 8) para el sistema de riego armado. Después de las 48 horas del riego, no hubo efecto en ningún tratamiento. El tratamiento gallinaza al 5% aumentó la  $\text{Øv}$  a las 24 horas en un 23% comparado con el testigo (Figura 16). Otro de los tratamientos que produjo aumento en la  $\text{Øv}$  del suelo fue la composta de estiércol caprino al 5% con 17%, y bovino con 9% ambos para las 24 horas. Para la profundidad de 15-30 cm la adición de abonos orgánicos aumentó la  $\text{Øv}$  en 27% a las 24 horas y en 25% a las 48 horas después de riego. En esta profundidad el tratamiento gallinaza y bovino 5% presentaron un incremento del 39 y 31% respectivamente a las 24 horas después del riego, comparado con el testigo. Después de las

48 horas después del riego, el tratamiento con estiércol bovino, la gallinaza y la composta de estiércol caprino presentaron similar efecto con un incremento del 25 % respecto al testigo. El promedio en general del aumento de humedad volumétrica en las dos profundidades fue del 22% a las 24 horas y 12.5% a las 48 horas después del riego.

**Cuadro 8.** Comparación de medias sobre humedad volumétrica ( $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ ) para los abonos orgánicos y profundidad en dos tiempos para el sistema de riego por goteo armado.

Tratamientos	24 Horas		48 Horas	
	00-15	15-30	00-15	15-30
	$\text{cm}^3/\text{cm}^3$			
Composta de estiércol caprino 5%	12.05 bc	10.96 c	18.99 a	15.52 a
Bovino 5%	11.04 c	15.84 ab	19.32 a	16.36 a
Gallinaza 5%	13.43 bc	17.98 a	16.21 a	16.10 a
Testigo	10.26 c	11.28 c	18.66 a	11.75 a
Pr > F	0.0003		0.1909	
C.V.	11.20		18.04	

† Los valores de cada columna seguidos por la misma letra no presentan diferencias significativas (Tukey  $\alpha = 0.10$ ).



**Figura 16.** Comparación de medias de humedad volumétrica ( $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ ) para los abonos orgánicos y profundidades en dos tiempos para el sistema de riego por goteo armado.

Los resultados encontrados en este estudio, coinciden con Leopoldo *et al.*, (2013) quienes reportaron valores de humedad volumétrica en suelos tratados con gallinaza a las profundidades de 5, 10, 20 y 30 cm de 23.1, 22.4, 21.4 y 13.3%. También coinciden con Villafañe *et al.*, (2007) y Villanueva-Fuenzalida, (1998) cuyos cambios de humedad volumétrica a las 24 y 48 horas después del riego de 30% para suelos pesados, y para suelos ligeros de 22 y 21% para 0-20 cm. En general, los valores más altos de humedad volumétrica se registran a la profundidad de 0-15 cm, sin embargo el sistema de riego por goteo artesanal tuvo el mejor desempeño al presentar un caudal promedio de 18.4 ml/min, mientras que para el riego con cintilla tuvo un caudal promedio de 6.6 ml/min y armado con 6.9 ml/min. Con la incorporación de abonos orgánicos, existe un incremento en la humedad volumétrica siendo notorio en la profundidad de 0-15 cm a las 24 y 48 horas después

del riego lo cual permite al cultivo contar con mayor humedad para su desarrollo. El cultivo de brócoli requiere de 800-1200mm (FAO, 1994) para su desarrollo, esto se puede aportar con cualquier de los sistemas de riego por goteo artesanal, cintilla y armado, generando láminas de riego de 50 mm una vez a la semana.



## **7. CONCLUSIÓN**

La incorporación de abonos orgánicos produjo cambios favorables en las propiedades físicas del suelo al disminuir hasta un 2.42 % en la densidad aparente que conlleva a un incrementando de 46.5% en porosidad total. Así mismo aumentando la capacidad de retención de agua disponible con un 56.25%, se determinó el coeficiente de uniformidad del sistema de riego por goteo por gravedad armado presento el mejor desempeño de CU excelente de 92.96%, con un caudal de 6.9 ml/min. El contenido de humedad volumétrica incremento en un 13.4% riego artesanal, 5.08% riego cintilla y 20% en riego armado a las 24 horas después del riego, mientras que a las 48 horas después del riego incrementando un 15.26% riego artesanal, 18.49% riego cintilla y 13.26% en riego armado.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar-Benítez G., Peña-Valdivia C., García-Nava J., Ramírez-Vallejo P., Benedicto-Valdés S. y Molina-Galán J. 2012. Rendimiento de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en relación con la concentración de vermicompost y déficit de humedad en el sustrato. *Revista Agrociencia* 46: 37-50.
- Allen, R. G., L. S. Pereira, D. Raes, M. Smith. 1998. *Crop Evapotranspiration Guidelines for Computing Crop Water Requirements*, FAO Irrigation and drainage paper 56. Rome, Italy. Food and Agriculture Organization of the United Nations. ISBN 92-5-104219-5.
- Bonachela, S., F. Orgas., F. Villalobos y E. Federes: "Soil Evaporation from drip irrigated olive orchards". *Irrig. Sci*, 20: 65-71, 2001.
- Buendía Espinoza, JC.; Palacios Vélez, E.; Chávez Morales, J.; Rojas Martínez, B. 2004. Impacto del funcionamiento de los sistemas de riego presurizados en la productividad de ocho cultivos, en Guanajuato, México. Colegio de Postgraduados, Texcoco, México. *Agrociencia*, vol. 38, núm. 5, septiembre-octubre, 2004, pp. 477-486.
- Carter, M. R. and B.A. Stewart. 1996. *Structure and organic matter storage in agricultural soils*. Lewis/CRC Press. Boca Raton, FL, USA.
- Carter, M.R. 2004a. Researching structural complexity in agricultural soils. *Soil Tillage Res.* 79: 1-6.
- Castellanos R., J. Z. y J. L. Reyes C. 1982. *La utilización de los estiércoles en la agricultura*. Ingenieros Agrónomos del Tecnológico de Monterrey A.C. Sección Laguna, Torreón, Coahuila. México. 154 p.
- Coronado-Uzcátegui D. 2010. Evaluación del sistema de riego por goteo instalado en la finca "Carmen Aurelia Espinoza" de la unión de productores Zaragoza, Parroquia sabana de Mendoza, Municipio Sucre, Estado de Trujillo. Tesis en Ingeniero Agrícola. Universidad de los Andes Núcleo Universitario "Rafael Rangel". Trujillo. p. 65.
- FAO. 1994. *ECOCROP 1. The adaptability level of the FAO crop environmental requirements database*. Versión 1.0. AGLS. United Nations Food and Agriculture Organization.
- Flores, L. L.F. (1989) *Avances en Tecnología de Riego*. Memorias Seminario internacional sobre tecnificación del riego y uso racional de la energía en Torreón, Coahuila. Pp. 1-10.
- Flores. A, M. Izquierdo y P. Manzanares. 2004. efectos de la combinación de abonos orgánicos y fertilizante químico sobre la densidad aparente y el espacio poroso total de un suelo volcánico nicaragüense. *La Calera* 4: 18-22.

- Flores-Gallardo, H.; Sifuentes-Ibarra, E.; Flores-Magdaleno, H.; Waldo Ojeda-Bustamante, W. y Ramos-García, CR. 2014. Técnicas de conservación del agua en riego por gravedad a nivel parcelario. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* Vol.5 Núm.2 15 de febrero - 31 de marzo, 2014 p. 241-252.
- Francis, G. S. and T. L. Knight. 1993. Long-term effects of conventional and no-tillage on selected soil properties and crop yields in Canterbury, New Zealand. *Soil Tillage Res.* 26: 193-210.
- García, E. 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köeppen 2a Ed. Instituto de Geografía. UNAM. México. D.F. pp: 33:40.
- García-Favela B. 2007. Redistribución del carbono orgánico en diferentes manejos agrícolas y su efecto en la estructuración del suelo. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados Campus Montecillos. Edo. de México. 212 p.
- Gicheru, P., Ch. Gachene, J. Mbuvi, and E. Mare. 2004. Effects of soil management practices and tillage systems on surface soil water conservation and crust formation on a sandy loam in semi-arid Kenya. *Soil Tillage Res.* 75: 173-184.
- Greenland, D.J., D. Rimmer, and D. Payne. 1975. Determination of the structural stability class of English and Welsh soil, using a water coherence test. *Journal of Soil Science*, 26:294-303.
- Guerrero-Ortiz P. 2012. La incorporación de materia orgánica a través de lupinus para la fertilidad del suelo. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillos. Edo. de México. 86 p.
- Huang, P. M. 2004. Soil mineral – organic matter – microorganism interactions: fundamentals and impacts. *Adv. Agron.* 82: 391-472.
- Hulugalle, N.R. and R. Lal. 1986. Root growth of maize in a compacted gravelly tropical Alfisol as affected by rotation with a woody perennial. *Field Crops Res.* 13:33-44.
- INIA-URURI. Instituto de investigaciones agropecuarias, centro de investigación especializado en agricultura del desierto y altiplano (cie), INIA URURI, región de Arica y Parinacota. Ministerio de agricultura. Informativo n° 17, mayo de 2010.
- Julca, O. A.; Meneses, F. L.; Blas, S. R.; Bello, A. S. 2006. La materia orgánica, importancia y experiencias de su uso en la agricultura. *IDESIA (Chile)* 24(1): 49 – 61.
- Keller, J y Bliesner Ron, 1990. *Sprinkle and Trickle irrigation*. Chapman & Hall Editorial.

- Kribaa, M., V. Hallaire, P. Curmi, and R. Lahmar. 2001. Effect of various cultivation methods on the structure and hydraulic properties of a soil in a semi-arid climate. *Soil Tillage Res.* 60: 43-53.
- Lal, R. 1991. Soil conservation and biodiversity. p. 89-103. In: Hawksworth, D.L. (ed.), *The Biodiversity of Microorganisms and Invertebrates: Its Role in Sustainable Agriculture*. CAB International, Wallingford, U. K.
- Lamm, F. y C. Camp. 2007. Subsurface drip irrigation. In: *Developments in Agricultural Engineering*. Cap. 13. Volume 13. Pages 473-551.
- Leopoldo G.; Andreau R.; Etchevers P.; Zabala S.; Chale W.; Etcheverry M.; Romay C. y Salgado H. 2013. Respuesta productiva del tomate (*Solanum lycopersicum l.*) bajo cubierta a la distribución de la humedad generada por riego por goteo subterráneo y superficial. *Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata Vol 112 (1):18-26.*
- Liebig, M. A., D. L. Tanaka, and B. J. Wienhold. 2004. Tillage and cropping effects on soil quality indicators in northern Great Plains. *Soil Tillage Res.* 78: 131-141.
- Loboa Julián, Ramírez Sara, Jaime E. Díaz. 2011. Evaluación del coeficiente de uniformidad en cuatro emisores de riego usando filtración gruesa de flujo ascendente en capas. Escuela de Ingeniería de Antioquia, Medellín (Colombia). *Revista EIA, ISSN 1794-1237 Número 16, p. 29-41.*
- López, M. J. D., A. Díaz E., E. Martínez R., R. D. Valdés C. 2001. Abonos orgánicos y su efecto en las propiedades físicas y químicas del suelo y rendimiento de maíz. Universidad autónoma de Chapingo. *TERRA Latinoamericana.* 19(4). p 293-299.
- López-Pérez A. 2009. Las reservas orgánicas edáficas y su relación con la capacidad de almacenamiento de agua de los suelos agrícolas. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillos. Edo. de México. 105 p.
- Lynch-Lamilla C. 2006. Evaluación del funcionamiento del sistema automatizado de riego por goteo en macrotúneles en zona III, Zamorano, Honduras. Tesis Ingeniero Agrónomo en el Grado, Académico de Licenciatura. ZAMORANO Carrera de Ciencia y Producción Agropecuaria. Zamora, Honduras. 42 p.
- Macías-Hernández R. 2009. Estimación de la evapotranspiración de cultivo y requerimientos hídricos del tomate (*Solanum lycopersicum mill. cv. el cid*) en invernadero. Tesis de Maestría en Ciencias. Instituto Politécnico Nacional, Departamento de Recursos Naturales. Jiquilpan, Michoacán, México. 78 p.

- Márquez-Hernández C., Cano-Ríos P., García-Hernández J.L., Rodríguez-Dimas N., Preciado-Rangel P., Moreno-Resendez A., Salazar-Sosa E., Castañeda-Gaytan G., De La Cruz-Lázaro E. 2010. Agricultura orgánica: el caso de México. Sociedad Mexicana de ciencia del suelo. CONACYT. ISBN:978-607-0-3411-4. 438 p.
- Martínez, R. 1991. Riego localizado: diseño y evaluación. Departamento de Irrigación. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 161 p.
- Mendoza A. E. 2013. Riego por goteo. Documento técnico científico del Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal “Enrique Alvares Cordoba”.
- Monserrat. J.; Alduán. A.; Cost. L. y Barragan. J. 2012. ¿Turnos o demanda? en el proyecto de redes de distribución de riego a presión. XXV Congreso Latinoamericano de Hidráulica. Ingeniería Agraria, Universidad de Lérida. Cataluña, España. Pp. 1 – 10.
- Moroizumi, T. and H. Horino. 2004. Tillage effects on subsurface drainage. Soil Sci. Soc. Am. J. 68: 1138-1144.
- Nakayama, F. y D. Bucks. 1986. Trickle irrigation for crop production-Design operation and management. Elsevier Science Publishers B. V. Amsterdam. 383 p.
- Olivares-Campos M., Hernández-Rodríguez A., Vences-Contreras C., Jáquez-Balderrama JL. Y Ojeda-Barrios D. 2012. Lombricomposta y composta de estiércol de ganado vacuno lechero como fertilizantes y mejoradores de suelo. Universidad y Ciencia Trópico Húmedo. 28(1):27-37.
- Or, D. and T. A. Ghezzehei. 2002. Modeling post-tillage soil structural dynamics: a review. Soil Tillage Res. 64: 41-59.
- Orozco-Corral A.L. y M.I. Valverde-Flores. 2012. *Impacto ambiental del manejo del agua de riego con sondas de capacitancia sobre la contaminación de acuíferos por nitratos*. Revista Tecnología y Ciencias del Agua, vol. III, número especial TyCA-RETAC, febrero-marzo de 2012, pp 23-35.
- Pizarro Fernando, 1996. Riegos localizados de alta frecuencia. Goteo Microaspersión y exudación. Ediciones Mundi Prensa.
- Porfirio-Victoriano L. 2014. Relaciones hídricas y mineralización de la fracción orgánica en sustratos con base en cachaza. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillos. Edo. de México. 132 p.
- Primavesi, Ana. 1990. Manejo ecológico do solo. A agricultura em regioes tropicais. Livraria Nobel, São Paulo, Brasil. 549 p.

- Quintanilla Menjívar F., Yanes Vilorio C., Monge de Castro C. 2013. Incidencia del bocashi, gallinaza y su combinación con fertilizantes químicos en la mejora de la fertilidad del suelo y en los rendimientos de maíz (*zea mays* l.), san juan opico, la libertad. Tesis de Ingeniero Agronomo. Universidad de el Salvador, Facultad de Ciencias Agronómicas, Departamento de Recursos Naturales y Medio Ambiente. Ciudad Universitaria. 123 p.
- Richards, L. A. 1947. Pressure membrane apparatus: construction and use. *Agric. End.* 28:451-454.
- Rodríguez García, MR.; López Seija, T. 2014. Comparación del comportamiento del flujo del agua en un Ferrasol bajo riego por goteo superficial y sub superficial. Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola, Boyeros, La Habana, Cuba. *Revista Ingeniería Agrícola*, ISSN-2326-1545, RNPS-0622, Vol. 4, No. 2 (abril-mayo-junio), pp. 3-9.
- Rodríguez, F.H. y J.A. Rodríguez. 2002. Métodos de análisis de suelos y plantas. Criterios de interpretación. *Trillas*. México, D. F. 113-114.
- Rubio M., D. 1974. Evaluación de residuos orgánicos estabilizados (compost) obtenidos en el basurero de Monterrey, N.L desde el punto de vista de su utilización agrícola. *Seminarios Técnicos* 1(1): 13. Centro de Investigación Agrícola del Noreste-Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias. Torreón, Coahuila, México.
- Sánchez, P. A. 1981. Suelos del Trópico. Características y manejo. Editorial del Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), San José, Costa Rica. 634 p.
- SAS Institute. 1988. SAS/STAT user's guide. Version 6,03 ed. SAS Inst., Cary, NC.
- Shock C. C. y Welch T. 2013. Técnicas para la Agricultura Sostenible. oregon state university, EM 8782-S, 25-33.
- Simpson, K. 1986. Abonos y estiércoles. Editorial Acribia. Zaragoza, España.
- South, D. 1994. Managing pesticides and nitrogen in southern pine nurseries and some ways to reduce the potential for groundwater contamination. *Ala. Agr. Exp. Sta. Forestry School Series* No. 14. 18 p.
- Villafañe R., Basso C., González M. y Díaz J. 2007. Evaluación de un sistema de riego por goteo en un huerto de lechosa (*carica papaya* l.) considerando tanto la uniformidad de descarga de los emisores como la respuesta del cultivo a las dosis de nitrógeno aplicadas vía fertirriego. *Biagro* 20(2). 105-110.

- Villanueva-Fuenzalida P. 1998. Distribución espacial de raíces en palto (*Persea americana* mill cv. hass) en dos suelos bajo dos sistemas de riego. Taller de Licenciatura. Universidad Católica Valparaíso, Facultad de Agronomía, Área de Fruticultura. Quillota, Chile. 40 p.
- Yariv, S. and K. H. Michaelian. 2002. Structure and surface acidity of clay minerals. pp. 1-38. *In*: S. Yariv and H. Cross (eds.). *Organo-clay complexes and interactions*. Marcel Dekker. New York, NY. USA.

## CAPITULO II. EFECTO DE LOS ABONOS ORGÁNICOS SOBRE LAS PROPIEDADES QUÍMICAS DEL SUELO

### 1. INTRODUCCIÓN

La materia orgánica propia de los abonos orgánicos resulta de importancia evaluar ya que modifica favorablemente al suelo al afectar las propiedades físicas, químicas y biológicas, las cuales se traducen en la capacidad productiva de los campos (Labrador, 2001). El contenido de nutrientes en la materia orgánica, se hayan en forma orgánica por lo que no son directamente asimilables por las plantas, se requiere de la acción microbiana para que los nutrientes orgánicos pasen a forma mineral, de esta manera son utilizadas en la biomasa de las plantas (Porta *et al.*, 1999), esta conversión se conoce como mineralización (Steubing *et al.*, 2001), en donde una parte del carbono es devuelto a la atmósfera en forma de CO<sub>2</sub> (Pérez *et al.*, 1998). Las composición química de los abonos orgánicos y el efecto sobre el suelo varían según su procedencia y manejo (Romero *et al.*, 2000).

Durante las etapas iniciales de la descomposición de los materiales orgánicos de reciente incorporación hay un rápido aumento en el número de organismos heterótrofos, donde la respiración metabólica de la comunidad de organismos asociados al detritus orgánico libera el carbono hacia la atmósfera en forma de CO<sub>2</sub>, a través del metabolismo de la microflora y de las raíces de la planta (Havlin *et al.*, 1999). La evolución del CO<sub>2</sub> es un parámetro ligado al manejo de materiales orgánicos el cual representa una medición de la respiración del suelo, conocida como respiración edáfica basal (García y Rivero, 2008). El principal objetivo fue evaluar el efecto de la incorporación de los abonos orgánicos de estiércol de bovino, gallinaza y composta de estiércol caprino a las dosis de 2.5 y 5% en base a peso seco, sobre las propiedades químicas del suelo, pH, CE,MO y su repercusión sobre la liberación y tasa de mineralización del C-CO<sub>2</sub>.



## 2. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 Propiedades químicas

La química de suelos es la ciencia que estudia las propiedades químicas del suelo y de sus componentes inorgánicos y orgánicos, así como los fenómenos a que da lugar la mezcla de esos componentes. (Bornemisza, 1982). Algunas de las propiedades químicas del suelo contempladas son:

### 2.2 pH

La reacción del suelo (pH) es una de las determinaciones importantes del análisis del suelo y abonos, debido a que afecta el comportamiento de diversas propiedades físicas, químicas y biológicas que influyen en la fertilidad de los suelos y abonos. Los microorganismos y plantas superiores responden tanto a su medio químico, como a la reacción del suelo y los factores asociados con ella. Tres condiciones son posibles: acidez, neutralidad, y alcalinidad (Buckman y Brady, 1966). Uno de los factores que provocan la acidez en el suelo es la descomposición de la materia orgánica ya que se forman ácidos tanto orgánicos como inorgánicos; el ácido orgánico que se encuentra con mayor frecuencia es el ácido carbónico ( $\text{CO}_3 \text{H}_2$ ). Éste ácido remueve bases por disolución o lixiviación. Los ácidos inorgánicos, tales como ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) y el ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ), son reservorios importantes de iones H en el suelo. (Buckman y Brady, 1966). Stoffella y Kahn (2005) mencionan que una acidez o alcalinidad excesiva puede dañar las raíces de las plantas, inhibir el desarrollo de las mismas, así como su crecimiento. En perfiles de suelos donde el suelo es ácido, las capas más acidificadas se encuentran por debajo de 10 cm, mientras que la MO se acumula en general en los primeros 10 cm del suelo (Tang y Yu, 1999).

En estudios realizados por Aguilar-Benítez *et al.*, (2012) al evaluar la adición de vermicompost de 40 y 80 t ha<sup>-1</sup> encontraron valores de pH de 7.67 y 7.71. Al respecto Quintanilla *et al.*, (2013) con la incorporación de gallinaza 2503 kg/ha<sup>-1</sup> y bocashi 3128 kg/ha<sup>-1</sup> encontraron valores de pH de 5.60 y 5.54 respectivamente. Guerrero-Ortiz, (2012) encontró cambios en pH en tratamientos con lupinus verde 8.2, vermicompost 7.7 y compost 7.8. Al respecto López-Martínez *et al.*, (2001) al incorporar abonos orgánicos a diferentes dosis de estiércol bovino y caprino 20, 30 y 40 t/ha<sup>-1</sup> y composta y gallinaza 4, 8 y 12 t/ha<sup>-1</sup>, encontraron valores de pH al inicio de 8.4, 8.2 y 8.4 y con

abono caprino 8.2, 8.4 y 8.2. Al finalizar el estudio encontraron valores de pH en bovino 8.31, 8.48 y 8.47 y caprino 8.49, 8.50 y 8.39. Orozco-Corral *et al.*, (2002) al medir el efecto de la aplicación de biofertilizantes encontraron que un incremento del pH 6.50 a 7.17.

### 2.3 Conductividad eléctrica (CE dS/m)

La conductividad eléctrica (CE) indica la concentración total de sales en una solución, pero no indica qué sales están presentes (Zapata *et al.*, 2005). La salinidad en las compostas puede causar fitotoxicidad directamente. Los valores altos de CE pueden ser un factor limitante para las plantas sensibles a la salinidad (Mengel *et al.*, 2001); esta salinidad se desarrolla a partir de la mineralización y la producción de ácidos orgánicos (Epstein, 1997). En la Cuadro 9 se muestran los valores de análisis químico de gallinaza, estiércol bovino y composta caprino.

**Cuadro 9.** Composición química de abonos orgánicos (Aso y Bustos, 1991).

	Estiércol bovino	Composta de estiércol caprino	Gallinaza
CE (dS/m)	4.03	4.80	5.78
pH	8.17	7.90	6.80
MO (%)	66.88	48.00	64.71
N (%)	1.84	2.17	1.74
P (%)	1.73	2.92	1.74
K (%)	3.20	0.95	3.79
Ca (%)	3.74	2.36	8.90
Mg (%)	1.08	0.45	2.90
Na (%)	0.58	0.62	0.59
C/N	13.90	12.80	20.15

En estudios realizados por Orozco-Corral *et al.*, (2002) encontraron que la aplicación de biofertilizante de origen microbiano y botánico, incrementó de 0.25 a 0.53 dS/m la CE. Al respecto Aguilar-Benítez *et al.*, (2012) con la adición de vermicompost de 40 y 80 t ha<sup>-1</sup> encontraron valores de CE de 1.22 y 1.25 dS/m.

Guerrero-Ortiz, (2012) encontró cambios en la CE en tratamientos con lupinus verde 2.4 dS/m, vermicompost 3.8 dS/m y compost 2.9 dS/m. Vázquez-Vázquez *et al.*, (2011) con cuatro dosis de estiércol bovino 20, 40, 60 y 80 t ha<sup>-1</sup>, encontraron valores de 2.21, 2.17, 2.82 y 3.94 dS/m. al

respecto Salazar-Sosa *et al.*, (2010) con aplicación de estiércol bovino de 20, 80, 120 y 160 t ha<sup>-1</sup>, encontraron valores de 2.07, 3.15, 3.82 y 4.11 dS/m de CE a la profundidad de 0-15 cm y de 1.93, 3.75, 2.66 4.36 dS/m a la profundidad de 15-30 cm. Al respecto López-Martínez *et al.*, (2001) con composta y gallinaza a 4, 8 y 12 t/ha<sup>-1</sup>, encontraron valores al inicio de 1.94, 1.76 y 1.94 dS/m. Al finalizar el estudio encontraron valores de CE en bovino 2.2, 2.1 y 2.2 dS/m y caprino 2.0, 2.2 y 1.9 dS/m.

## **2.4 Materia orgánica (MO %)**

La materia orgánica del suelo constituye la fracción orgánica que incluye residuos vegetales y animales en diferentes estados de descomposición, tejidos y células de organismos que viven en él, así como sustancias producidas por los organismos del suelo (Bornemisza, 1982). La determinación del contenido de la materia orgánica del suelo se realiza con el método de Walkley y Black (1934) basado en la oxidación de la materia orgánica con un exceso de solución de dicromato de potasio-K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>. La MO es una fracción activa e importante del suelo, químicamente es la fuente de C, N, de 5% a 60% de P, hasta 80% de S y gran parte del B y Mo (Castellanos-Ramos, 1986).

En estudios realizados por Aguilar-Benítez *et al.*, (2012) obtuvieron un incremento en el contenido de materia orgánica al adicionar vermicompost al 1.5 y 3% con 1.57 y 1.66% de MO. Al respecto Quintanilla *et al.*, (2013) evaluaron la incorporación de gallinaza 2503 kg/ha<sup>-1</sup> y bocashi 3128 kg/ha<sup>-1</sup>, y encontraron un aumento de 4.97% en tratamiento con gallinaza y de 5.14% con bocashi. Vázquez-Vázquez *et al.*, (2011) encontraron valores de 1.86, 1.93, 2.05 y 2.47% de MO aplicando estiércol bovino solarizado a las dosis de 20, 40, 60 y 80 t ha<sup>-1</sup>. Al respecto Salazar-Sosa *et al.*, (2010) evaluaron la aplicación de estiércol bovino 20, 80, 120 y 160 t ha<sup>-1</sup>, encontraron valores de 2.79, 4.38, 4.75 y 4.76% de MO a la profundidad de 0-15 cm y 2.79, 4.13, 4.27 y 5.24% de MO en profundidad de 15-30 cm. López-Martínez *et al.*, (2001) al incorporar estiércol bovino y caprino a 20, 30 y 40 t/ha<sup>-1</sup> y composta y gallinaza 4, 8 y 12 t/ha<sup>-1</sup>, encontrando valores en MO de 0.96, 0.62 y 0.96% y con abono caprino de 0.62, 0.96 y 0.62%. Orozco-Corral *et al.*, (2002) encontraron con aplicación de biofertilizante hubo un incremento de 1.27 a 1.58 % en el contenido de MO.

## 2.5 Mineralización del C-CO<sub>2</sub>

La mineralización del C y la descomposición de residuos son características fundamentales del ciclo de nutrientes en los ecosistemas. El C orgánico de los residuos vegetales es la principal fuente de energía para el crecimiento celular y el metabolismo en el suelo (López y Álvarez, 2006). La tasa de mineralización de los residuos orgánicos depositados o incorporados al suelo está relacionada directamente a su labilidad (Binkley y Hart, 1989) o resistencia que ofrecen contra la acción de la biomasa microbiana (Steubing *et al.*, 2001); el tiempo necesario para que sean mineralizados estará en función de la cantidad y calidad de los residuos (Galvis, 1998). La descomposición es un proceso de origen biológico que se lleva a cabo por actividades metabólicas de los organismos del suelo y está determinado por el medio ambiente físico (temperatura, humedad, textura del suelo y los niveles de oxígeno) y la calidad de los residuos vegetales en función de la relación C:N (Tra, 2009). La mineralización consta de tres etapas: a) la aminización, b) la amonificación y c) la nitrificación. Las dos primeras reacciones la utilizan organismos heterótrofos cuya fuente de energía son compuestos carbonados orgánicos, y la tercera reacción es a causa de las bacterias autotróficas, que obtienen su energía de la oxidación de sales inorgánicas y el CO<sub>2</sub> de la atmósfera circundante (Guerrero, 1993).

Pascual (1996) define la mineralización como un proceso de reducción del contenido de materia orgánica en la que al mismo tiempo, aumentan los nutrientes asimilables, previamente inmovilizados en formas orgánicas, es decir, es un proceso opuesto a la humificación, la acción de ambos procesos es simultánea, de tal manera que el estado de la materia orgánica global dependerá el balance entre dichos procesos. La mineralización se puede determinar cuantificando la liberación de C-CO<sub>2</sub>, etapa muy activa que corresponde a la degradación de materiales orgánicos lábiles como son azúcares, amino-azúcares, aminoácidos y ácidos, (García y Rivero, 2008). Durante las etapas iniciales de la descomposición de materiales recientemente incorporados hay un aumento en el número de organismos heterótrofos, acompañado por la emisión de grandes cantidades de C-CO<sub>2</sub> (Havlin *et al.*, 1999). De esta manera, la actividad microbológica global también puede ser considerada como el reflejo del nivel energético de un medio dado. La tendencia de descomposición no es estable durante el período de incubación, por mostrar oscilaciones durante el mismo. Esto evidencia el agotamiento del sustrato carbonado más lábil, los pequeños incrementos hacia el final de la incubación obedecen a la descomposición del material

recalcitrante. Además, se debe considerar la dinámica del C unido a la biomasa microbiana misma: muerte de las células y reutilización del sustrato (García y Rivero, 2008).

El método para medir la mineralización de carbono consiste en la incubación en medio cerrado con 5 mL de NaOH 1N, donde el desprendimiento de C-CO<sub>2</sub> se estima mediante titulación con HCl 0.1N, en presencia de fenoftaleína al 1% y 3mL de BaCl<sub>2</sub> al 2% (Anderson, 1984).

En incubaciones realizadas por Acosta *et al.*, (2006), evaluaron composta estiércol caprino y residuos de procesamiento industrial de sábila, encontraron valores de evolución de 1648.75 mg C-CO<sub>2</sub>/100g<sup>-1</sup>/día<sup>-1</sup> en 106 días de incubación. Almansa *et al.*, (2007), al incorporar estiércol fresco 25 t ha<sup>-1</sup> encontró una liberación de 437.40 mg C-CO<sub>2</sub>/100g en 74 días de incubación. Guerrero-Ortiz *et al.*, (2012) encontraron que materiales sin ningún proceso de descomposición anterior a la incubación con lupinus verde, presentaron un desprendimiento de 649.44 mg de CO<sub>2</sub> g<sup>-1</sup>. Mientras los que sí estuvieron sujeto a una descomposición previa a la incubación vermicompost y composta de lupinus los valores fueron de 474.61 y 381.99 mg de C-CO<sub>2</sub> g<sup>-1</sup>. Arochas y Medina (2007) evaluaron estiércol de equino y caprino 70 t ha<sup>-1</sup> encontraron valores de 779.60 y 3326.6 mg C-CO<sub>2</sub>/100g en 28 días de incubación. Miranda *et al.*, (2014) con la incorporación de estiércol de ovino en dosis de 4, 8, 12, 16, 20, 24, 28 y 30 t ha<sup>-1</sup>, encontraron valores de 926, 1852, 2779, 3779, 4632, 5558 y 6948 mg kg<sup>-1</sup> de C-CO<sub>2</sub> respectivamente. Del Pino *et al.*, (2007) evaluaron la liberación de C-CO<sub>2</sub> con estiércol gallinaza, estiércol bovino y cama de pollo encontraron valores de 430, 380 y 310 mg kg<sup>-1</sup> de C-CO<sub>2</sub>. Al respecto Porfirio V. L. (2014) evaluando sustratos orgánicos fibra de coco y composta a base de cachaza, inorgánicos tezontle y piedra pómez y mezclas de ambos, encontraron valores de 145.20, 535.32 y 413.60 mg C-CO<sub>2</sub> g<sup>-1</sup> muestra. Álvarez-Solís *et al.*, (2010) al evaluar la incorporación de estiércol de ovino a 6 t ha<sup>-1</sup>, encontraron valores de 29.8 µg C-CO<sub>2</sub> g<sup>-1</sup>/día. Guntiñas *et al.*, (2013) evaluaron la liberación de C-CO<sub>2</sub> en suelos forestales y pastizales encontraron valores de 1025 y 1699 mg de CO<sub>2</sub> de 100 g<sup>-1</sup>.

## **2.6 Tasa relativa de mineralización (TRM, %)**

La tasa relativa de mineralización refiere a la degradación completa de un compuesto a sus constituyentes minerales, en donde el carbono orgánico es oxidado hasta CO<sub>2</sub>. Dado que la descomposición de un sustrato orgánico por medio del proceso de respiración aeróbica tiene como productos principales a CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O, la evolución de CO<sub>2</sub> puede utilizarse como un indicador bastante preciso de la actividad respiratoria de comunidades en agua y suelo (Sánchez *et al.*, 2008).

En estudios realizados por Arochas y Medina (2007) evaluaron estiércol de equino y caprino 70 t ha<sup>-1</sup> encontraron una tasa relativa de mineralización de carbono de 2.5 y 7.8% respectivamente en 28 días de incubación. Guerrero-Ortiz, (2012) quien midió el efecto de la adición de los abonos orgánico 25 kg/m<sup>2</sup>, encontró cambios en la tasa relativa de mineralización en tratamientos con lupinus verde y vermicompost con 15.32 y 24.4%. Al respecto Almansa *et al.*, (2007) evaluaron estiércol de bovino fresco y maduro, encontraron valores de 21.93 y 30.95% de mineralización del carbono en 74 días de incubación.

### **3. OBJETIVO**

Evaluar el efecto de la incorporación de los abonos orgánicos de estiércol de bovino, gallinaza y composta de estiércol caprino a las dosis de 2.5 y 5% en base a peso seco, sobre las propiedades químicas del suelo pH, CE y MO y su repercusión sobre la liberación y tasa de mineralización del C-CO<sub>2</sub>.

### **4. HIPÓTESIS**

El mejoramiento de la condición física de suelo, por la incorporación de abonos orgánicos, reflejado por el incremento de la materia orgánica (%), y los cambios favorables en la liberación de CO<sub>2</sub> estará propiciado por el sistema de riego por goteo con caudales uniformes favorables al cultivo.

## **5. MATERIALES Y MÉTODOS**

Las propiedades químicas evaluadas en este estudio fueron: pH y conductividad eléctrica (dS/m), carbono orgánico (%), liberación de CO<sub>2</sub> (mg CO<sub>2</sub> g<sup>-1</sup>).

### **5.1 pH**

Se determinó con el método del potenciómetro (Kaúrichev, 1984). La medición se realizó en muestras compuestas de suelo, con una relación de suelo-agua de 1:2, con el extracto de pasta de saturación. Se utilizó agua destilada y se agitó hasta alcanzar un punto de humedad, se dejó reposar la muestra durante 24 horas. El extracto se filtró, posteriormente se realizó lecturas de pH con el equipo potenciómetro.

### **5.2 Conductividad eléctrica (CE, dS/m)**

Se determinó con el método de conductimetría utilizando el puente Wheatstone YSI (Richards, 1994). La medición se realizó en muestras compuestas de suelo, con una relación de suelo-agua de 1:5. Con el extracto de pasta de saturación, se utilizó agua destilada, se dejó reposar durante 24 horas y el extracto se filtró, realizando lecturas de CE con el equipo Conductronic®.

### **5.3 Determinación del carbono orgánico del suelo a partir del contenido de la materia orgánica**

El contenido de la materia orgánica se determinó por el método de Walkley y Black (1934) basado en la oxidación de la materia orgánica del suelo con un exceso de solución de dicromato de potasio K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> como agente oxidante y la determinación de dicho exceso por medio de una titulación con una solución de sulfato ferroso de normalidad conocida (agente reductor). Para la determinación del carbono orgánico del suelo, se calculó a partir del contenido de la materia, utilizando la siguiente fórmula:



$$\mathbf{M.O} = \mathbf{C.O.} \times 1.724$$

Donde:

M.O = Materia orgánica (%).

C.O. = Carbono orgánico del suelo (%).

1.724 = Factor de conversión, que considera que 58% de la materia orgánica del suelo es carbono (Jackson, 1958).

#### **5.4 Evolución de C-CO<sub>2</sub>**

La evolución o liberación de C-CO<sub>2</sub> se realizó a temperatura ambiente, mediante el método de incubación descrito por Anderson (1984). Se utilizaron 100 g de muestra con los abonos orgánicos y dosis descritas anteriormente, los cuales se transfirieron a frascos de vidrio sellados herméticamente. Cada tratamiento se humedeció al 30% en base a peso seco, considerando tres repeticiones. Para cuantificar el CO<sub>2</sub>, cada tratamiento fue incubado empleando NaOH 1N. El CO<sub>2</sub> liberado, se precipitó con BaCl al 2% y la titulación se realizó con HCL 1N. El suministro periódico de la humedad se realizó en base a la pérdida de peso, manteniéndose hasta el final del experimento. Se consideraron muestras blanco para controlar la presencia de CO<sub>2</sub>. Tanto la liberación como la tasa de mineralización del C-CO<sub>2</sub> se determinaron durante un periodo de 95 días, del mes de mayo a mes de agosto del 2014 en los laboratorios de Física de Suelos, del Colegio de Postgraduados. Con la siguiente formula se determinó el CO<sub>2</sub> liberado (Anderson, 1982):

$$\text{mg CO}_2 = (B - M) * N * 22$$

Dónde:

mg CO<sub>2</sub> = respiración microbiana.

B = mL de HCl empleados en la titulación del blanco.

M = mL de HCl empleados en la titulación de la muestra.

N = Normalidad del HCl.

22 = Es el peso equivalente del CO<sub>2</sub>.

## 5.5 Tasa relativa de mineralización (TRM, %)

La tasa relativa de mineralización del C orgánico fue calculada en base a los porcentajes que representan las cantidades acumuladas de C orgánico desprendido como CO<sub>2</sub>, respecto al contenido inicial de C orgánico de las muestras en estudio (Arochas y Medina, 2007).

$$PM = (A - COS) / COM$$

Donde:

PM = porcentaje de mineralización.

A = acumulado de CO<sub>2</sub>.

COS = porcentaje de carbono orgánico en suelo.

COM = porcentaje de carbono orgánico en cada muestra.

## 6. RESULTADOS Y DISCUSIONES

### 6.1 pH

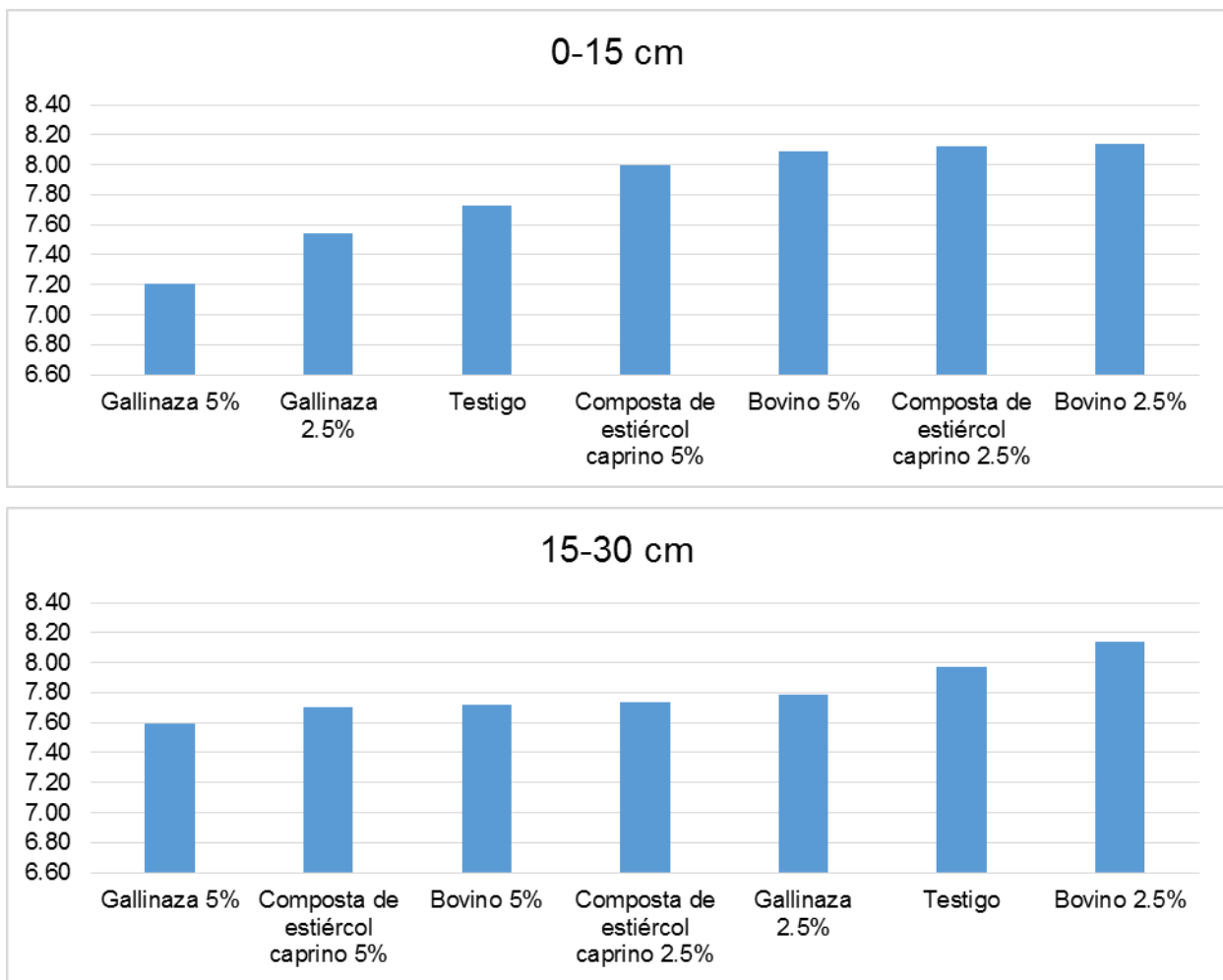
La incorporación de abonos orgánicos aumentó el pH en 1.52% a la profundidad de 0-15 cm (Cuadro 10). El tratamiento bovino y composta de estiércol caprino al 2.5 % aumentó el pH hasta un 5.03 y 4.80% comparado con el testigo. Mientras que en la profundidad 15-30 cm la adición de abonos orgánicos disminuyó en un 2.38%. En esta profundidad el tratamiento bovino 2.5% presentó un aumento de 2.08%, comparado con el testigo (Figura 17). Esto concuerda con Orozco-Corral *et al.*, (2002) quienes al aplicar biofertilización registraron un aumento en pH de 9.34%. Los resultados encontrados coinciden con Aguilar-Benítez *et al.*, (2012) obtuvieron un incremento en pH al adicionar vermicompost al 1.5 y 3% con valores de pH 7.67 y 7.71.

**Cuadro 10.** Comparación de medias de pH para abonos orgánicos incorporados y profundidad.

Tratamiento	Profundidad (cm)			
	0-15		15-30	
Composta de estiércol caprino 2.5%	8.12	a	7.74	abc
Composta de estiércol caprino 5%	8.00	ab	7.70	abc
Bovino 2.5%	8.14	a	8.14	a
Bovino 5%	8.09	a	7.72	abc
Gallinaza 2.5%	7.54	cd	7.79	abc
Gallinaza 5%	7.21	d	7.59	bcd
Testigo	7.73	abc	7.97	abc
Pr > F	0.0001			
C.V.	1.92			

† Los valores de cada columna seguidos por la misma letra no presentan diferencias significativas (Tukey  $\alpha = 0.05$ ).

Este incremento en el pH coincide con lo reportado por Omaliko (1984), Lungo *et al.*, (1993) y Tester (1990), quienes han señalado que la aplicación de estiércol y compost eleva el pH de los suelos por los niveles de bases cambiables que estos presentan, principalmente calcio y magnesio. Igualmente coincide con los resultados reportados por Olivier y Bornemisza (1990), quienes concluyen que la aplicación de residuos orgánicos eleva el pH de los suelos. Pikull y Allmaras (1986) señalan que el aumento del pH se explica por el incremento en el contenido de carbono orgánico, que actúa como un regulador inactivando hidrógeno.



**Figura 17.** Comparación de medias de pH para abonos orgánicos incorporados y profundidades.

El cultivo de brócoli requiere para su crecimiento y desarrollo valores de pH entre 6.8 y 7.5. Como la mayoría de las crucíferas se desarrollan adecuadamente en suelos con tendencia a la acidez (Francescángeli, *et al.*, 2003). La incorporación de abonos orgánicos composta estiércol caprino, bovino y gallinaza en dosis de 2.5 y 5%, tuvieron un incremento en pH, esto se debe a la descomposición de la materia orgánica y liberación de sustancias húmicas dado que la descomposición de la materia orgánica tiende a aumentar los valores de pH (Buckman y Brady, 1966). En los resultados encontrados en este estudio, en general se encontró que al incorporar abonos orgánicos, la tendencia fue a aumentar el valor de pH hacia rangos alcalinos. Un pH alcalino o ácido afecta directamente la disponibilidad de los nutrientes minerales para las raíces de las plantas (Kass, 1998). Los suelos alcalinos con valores de pH cercanos a 7.5 acumulan nitritos por una disminución en el proceso de nitrificación (Kass, 1998). La disponibilidad de fosfatos

solubles en el suelo disminuye a un valor de pH mayor a 7.0; esto se debe a que los iones calcio reaccionan con los iones fosfato para formar sales, lo que afecta la absorción de fósforo en la planta (Kass, 1998).

## 6.2 Conductividad eléctrica (CE, dS/m)

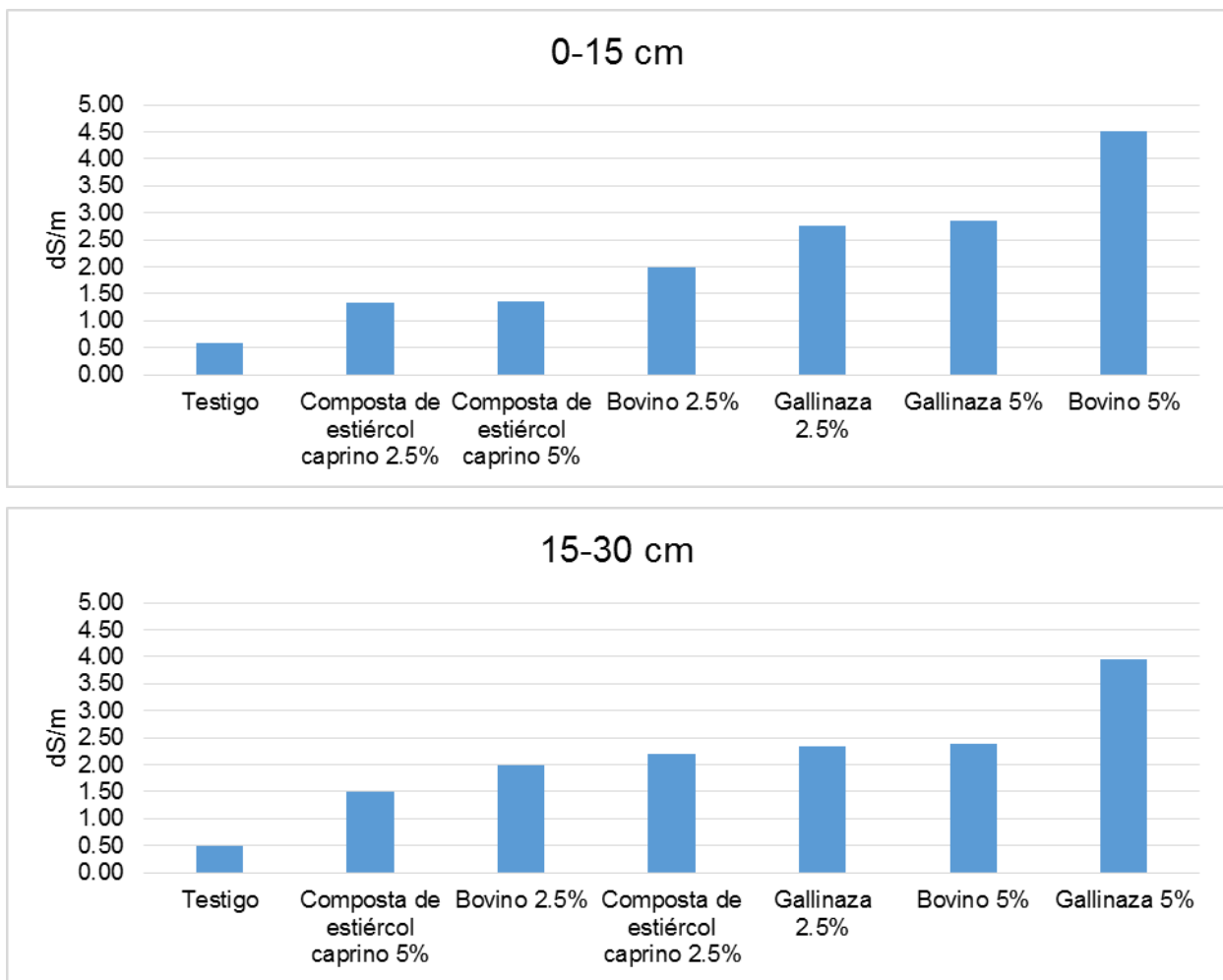
La adición de abonos orgánicos incremento la CE con 76% a la profundidad de 0-15 cm (Cuadro 11). El tratamiento bovino y gallinaza 5 % aumento la CE hasta un 86.9 y 79.2% comparado con el testigo. Mientras que en la profundidad 15-30 cm la adición de abonos orgánicos aumentó la CE en un 79.4%. En esta profundidad el tratamiento bovino y gallinaza 5% presentaron un incremento de 79.4 y 87.5%, comparado con el testigo (Figura 18). Lo anterior, concuerda con Aguilar-Benítez *et al.*, (2012) quienes registraron un aumento de la CE de 1.22 y 1.25 dS/m. Al respecto Orozco-Corral *et al.*, (2002) obtuvieron un incremento de 52.8% en CE al aplicar biofertilizantes.

**Cuadro 11.** Comparación de medias de CE (dS/m) para abonos orgánicos incorporados y profundidad.

Tratamientos	Profundidad (cm)			
	0-15		15-30	
	dS/m			
Composta de estiércol caprino 2.5%	1.33	bc	2.21	abc
Composta de estiércol caprino 5%	1.35	cd	1.50	cd
Bovino 2.5%	1.98	abc	1.98	abc
Bovino 5%	4.51	a	2.39	abc
Gallinaza 2.5%	2.76	abc	2.33	abc
Gallinaza 5%	2.85	abc	3.95	ab
Testigo	0.59	d	0.49	d
Pr > F	0.0004			
C.V.	41.68			

† Los valores de cada columna seguidos por la misma letra no presentan diferencias significativas (Tukey  $\alpha = 0.05$ ).

Los resultados encontrados en la presente investigación concuerdan con estudios realizados por Guerrero-Ortiz, (2012) cuyos resultados con la aplicación de vermicompost fueron de 3.8 dS/m y con compost de 2.9 dS/m. Por otra parte Vázquez-Vázquez *et al.*, (2011) encontraron valores de 3.94 dS/m de CE con estiércol bovino; en tanto que Salazar-Sosa *et al.*, (2010) encontró valores de 4.11 dS/m de CE a la 0-15 cm y de hasta 4.36 dS/m de CE a la profundidad de 15-30 cm.



**Figura 18.** Comparación de medias de CE para abonos orgánicos incorporados y profundidades.

Los resultados registrados para la profundidad de 0-15 cm donde se detectó la mayor concentración de sales, pueden señalar que existió poca lixiviación de sales aunado al tipo de riego por goteo. Al respecto Smith *et al.*, (2001), sugieren que el uso y manejo del estiércol, debe hacerse atendiendo un seguimiento de salinidad mediante el análisis de suelo, ya que las aplicaciones de estiércol en forma indiscriminada pueden incrementar problemas de salinidad, propiciando pérdidas estructurales o a la inhibición del crecimiento vegetal. Eghball *et al.* (2004) señala que con la incorporación de abonos como estiércol de bovino, la CE incrementa por efecto de la descomposición de la MO residual, la cual incrementa la concentración de Ca, Mg y K en el suelo. Castellanos *et al.* (1996) encontró que la CE aumentaba debido a que una tonelada de estiércol contiene alrededor de 50 kg de sales.

### 6.3 Materia orgánica (MO, %)

Con la incorporación de abonos orgánico aumentó la MO en 14.82% a la profundidad de 0-15 cm (Cuadro 12). El tratamiento con composta de estiércol caprino al 5% tuvo un aumento en la MO de hasta 24.82% comparado con el testigo; otro de los tratamientos que produjo un aumento fue el estiércol bovino al 5% en un 28.19%. Respecto a la profundidad 15-30 cm la adición de abonos orgánicos incremento un 26.95%. En esta profundidad el tratamiento bovino 2.5 y 5% presentaron un aumento de 42.66 y 30.57%, comparado con el testigo (Figura 19). En promedio el aumento de materia orgánica por la aplicación de abonos orgánicos fue de 20.88%. Esto concuerda con Quintanilla *et al.*, (2013) quienes al incorporar gallinaza 2503 kg/ha<sup>-1</sup> y bocashi 3128 kg/ha<sup>-1</sup>, encontraron un aumento de MO con 4.97% en gallinaza y 5.14% en bocashi. Orozco-Corral *et al.*, (2002) quienes al aplicar biofertilizante registraron un aumento en la MO de 19.62%.

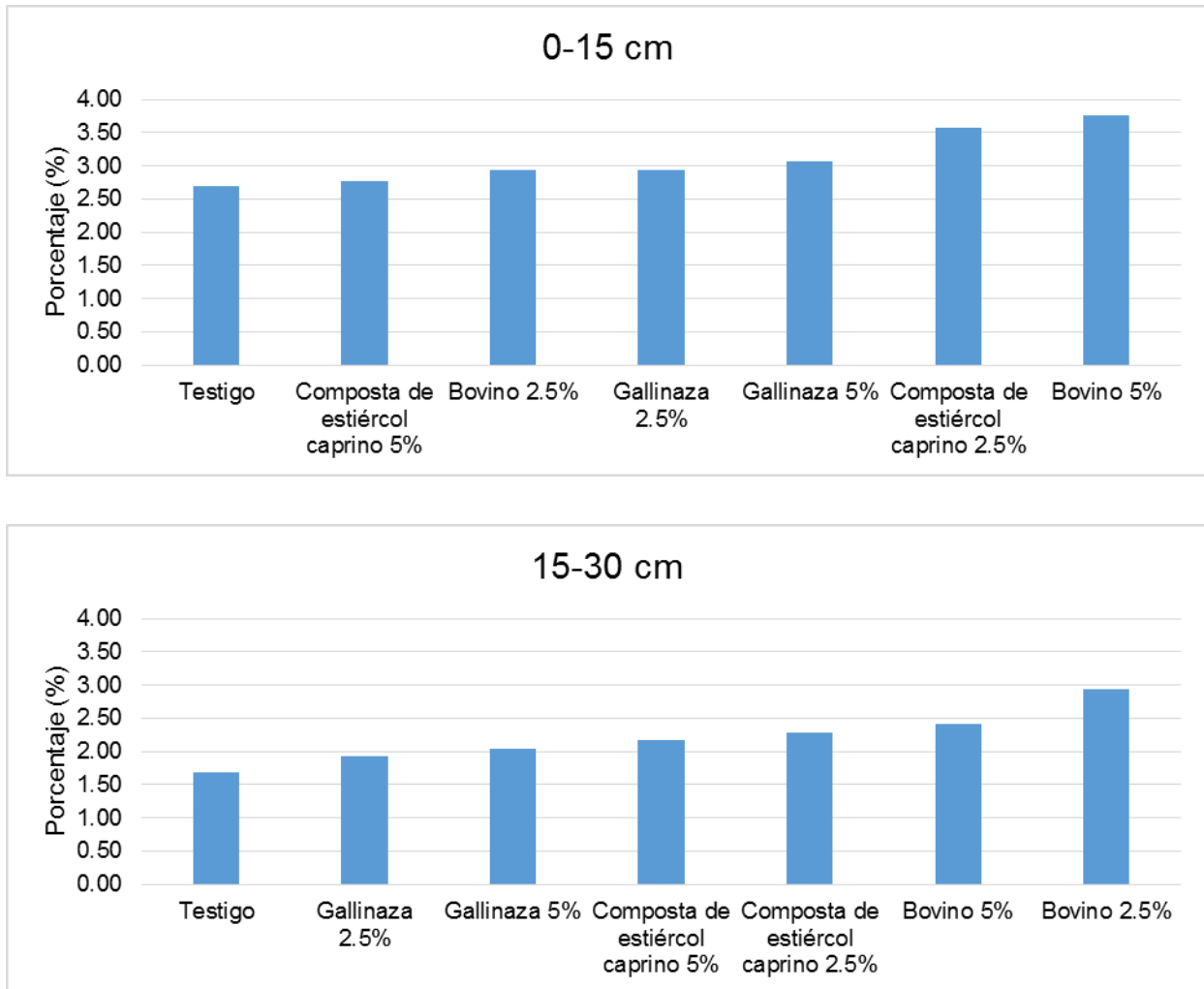
**Cuadro 12.** Comparación de medias de MO para abonos orgánicos incorporados y profundidades.

Tratamiento	Profundidad (cm)			
	0-15		15-30	
	.....%.....			
Composta de estiércol caprino 2.5%	3.58	a	2.28	cde
Composta de estiércol caprino 5%	2.76	bcd	2.17	cde
Bovino 2.5%	2.93	abc	2.93	abc
Bovino 5%	3.76	a	2.42	cde
Gallinaza 2.5%	2.94	abc	1.93	de
Gallinaza 5%	3.06	ab	2.04	de
Testigo	2.70	bcd	1.68	e
Pr > F	0.0001			
C.V.	11.06			

† Los valores de cada columna seguidos por la misma letra no presentan diferencias significativas (Tukey  $\alpha = 0.05$ ).

Los resultados encontrados concuerdan con varias investigación, Salazar-Sosa *et al.*, (2010) evaluaron estiércol bovino 20, 80, 120 y 160 t ha<sup>-1</sup>, encontraron valores de 2.79, 4.38, 4.75 y 4.76% de MO a la profundidad de 0-15 cm y 2.79, 4.13, 4.27 y 5.24% a la profundidad de 15-30 cm. Olivares-Campos *et al.*, (2012), quienes al incorporar composta y lombricomposta 2.62 kg y 875 g de suelo en macetas de 3.5 kg encontró valores de MO con 1.17 y 1.58%. Al respecto Aguilar-Benítez *et al.*, (2012) obtuvo un incremento en el MO al adicionar vermicompost al 1.5 y 3% con 1.57 y 1.66% de MO. Vázquez-Vázquez *et al.*, (2011) encontraron valores de 1.86, 1.93, 2.05 y

2.47% de MO. López-Martínez *et al.*, (2001), encontraron valores de MO al inicio con incorporación de estiércol de bovino 20, 30 y 40 t/ha<sup>-1</sup> de 0.96, 0.62 y 0.96%, al final hubo un aumento de 1.2, 1.3 y 1.5% respectivamente.



**Figura 19.** Comparación de medias de MO para abonos orgánicos incorporados y profundidades.

Los resultados encontrados en la presente investigación mostraron un aumento considerable de la materia orgánica de 14.82% en la profundidad de 0-15 cm. Esto concuerda con Murillo-Amador *et al.*, (2005) quien menciona, que esta diferencia se debe a una mayor concentración y biodegradación del estiércol en el primer estrato, el cual presenta las condiciones adecuadas de temperatura y humedad para que los microorganismos del suelo degradaran el estiércol incorporado. Ortega y Mardonez (2005) mencionan que la mineralización del carbono es llevada a cabo mejor bajo condiciones de conductividad eléctrica no mayores a 4 dS/m.



#### 6.4 Liberación de CO<sub>2</sub> (mg CO<sub>2</sub> g<sup>-1</sup>)

Con la incorporación de abonos orgánicos aumentó la liberación de CO<sub>2</sub> en 50.80% a la profundidad de 0-15 cm (Cuadro 13). El tratamiento bovino 2.5 y 5% incrementó la liberación de CO<sub>2</sub> en 69.49 y 71.11% con una R C/N de 16.47 y 12.87, comparado con el testigo con una R C/N de 11.78; otro de los tratamientos que produjo aumento en la liberación de CO<sub>2</sub> fue la gallinaza al 2.5 y 5% en un 23.30 y 48.83% con una R C/N de 12.75 y 11.80. Respecto a la profundidad 15-30 cm la adición de abonos orgánicos incrementó la liberación de CO<sub>2</sub> en un 36.30%. Para esta profundidad el tratamiento bovino al 2.5 y 5% presentaron un aumento en la liberación de CO<sub>2</sub> de 49.71 y 41.32% con una R C/N de 16.81 y 11.80 comparado con el testigo con una R C/N de 10.34 (Figura 20). El promedio general del incremento de la liberación de CO<sub>2</sub> en las dos profundidades fue del 43.55%.

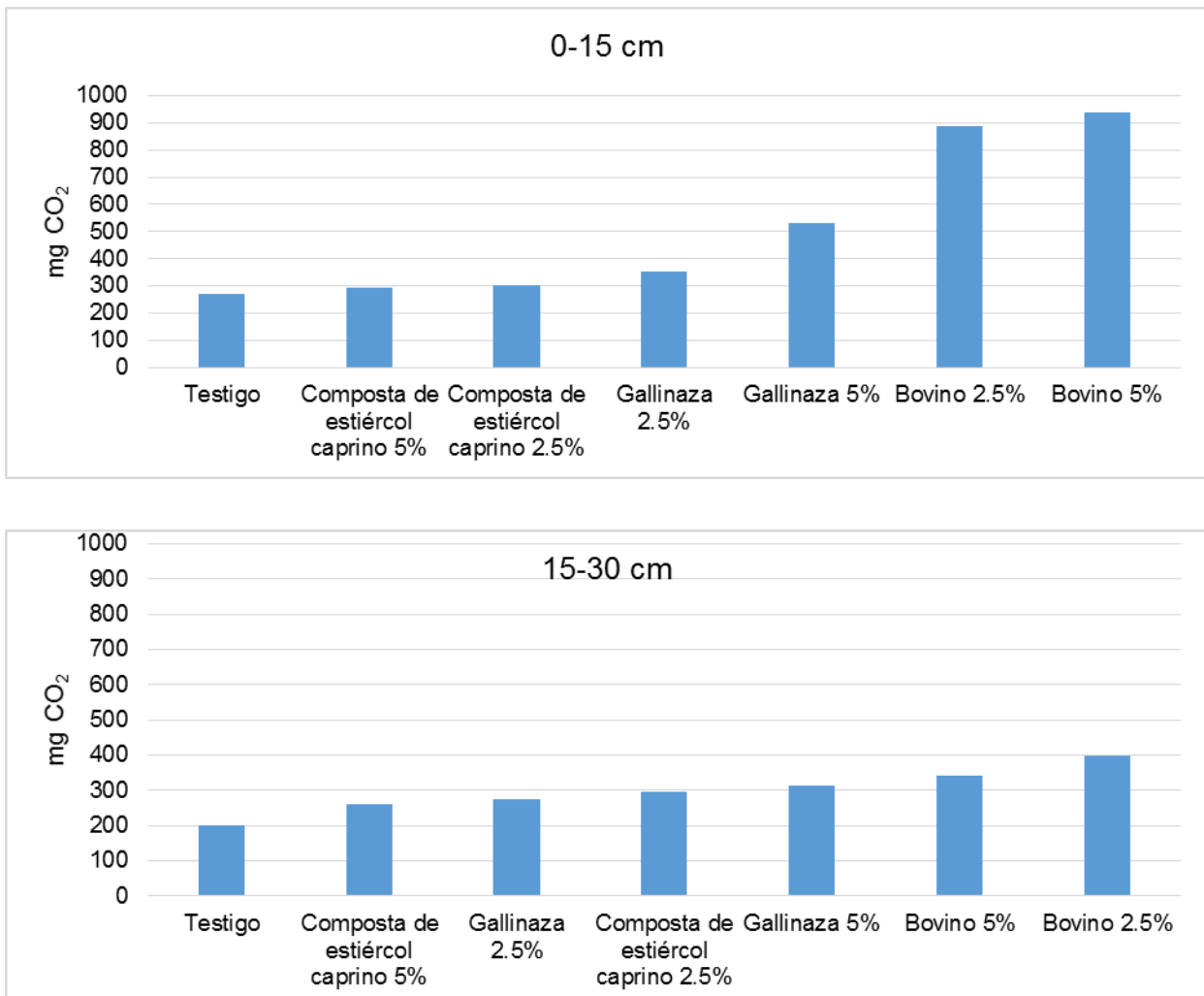
**Cuadro 13.** Comparación de medias de liberación de C-CO<sub>2</sub> para los abonos orgánicos y profundidad.

Tratamientos	Profundidad (cm)			
	0-15		15-30	
	mg CO <sub>2</sub> g <sup>-1</sup> muestra			
Composta de estiércol caprino 2.5%	301.72	cde	294.61	cde
Composta de estiércol caprino 5%	294.61	cde	260.41	de
Bovino 2.5%	889.27	a	397.22	cde
Bovino 5%	939.02	a	340.47	cde
Gallinaza 2.5%	353.69	cde	275.95	cde
Gallinaza 5%	530.14	b	313.27	cde
Testigo	271.29	de	199.78	e
Pr > F	0.0001			
R <sup>2</sup>	0.978			
C.V.	10.31			

† Los valores de cada columna seguidos por la misma letra no presentan diferencias significativas (Tukey  $\alpha = 0.05$ ).

La cantidad de C-CO<sub>2</sub> liberado de los diferentes abonos orgánicos incubados durante un periodo de 95 días, incrementó en 643.24 y 639.75 mg CO<sub>2</sub> g<sup>-1</sup> para el tratamiento bovino 2.5 y 5% respectivamente. Esto coincide con Del Pino *et al.*, (2007) quienes reportaron valores de hasta 430 y 380 mg/kg<sup>-1</sup> C-CO<sub>2</sub>. Al respecto Guerrero *et al.*, (2012), encontró valores de 649.44, 474.61 y 381.99 mg de CO<sub>2</sub> g<sup>-1</sup> en lupinus verde, vermicompost de lupinus y compost de lupinus. Zambrano *et al.*, (2013) obtuvieron valores de liberación de CO<sub>2</sub> de 230.50, 165.00 y 135.63 mg C-CO<sub>2</sub>/100g

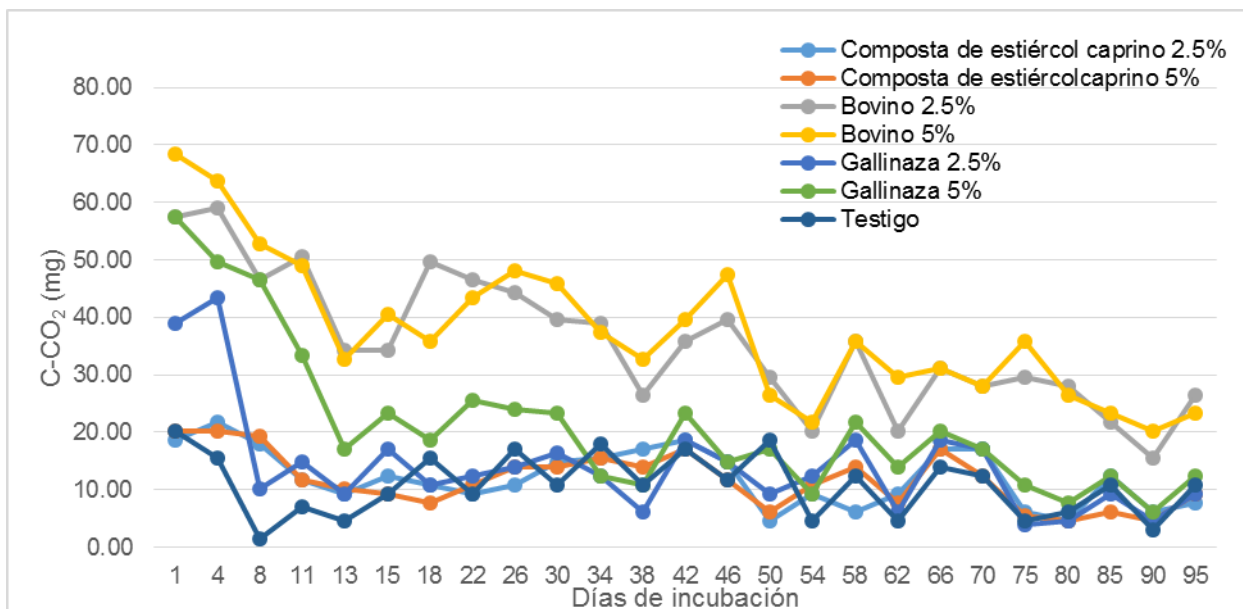
muestra en estiércol bovino, caprino y gallinaza. Balesdent *et al.*, (2000) hace mención que la mayor tasa de liberación de CO<sub>2</sub> podría atribuirse a que existe mayor porción de la fracción lábil, que es de fácil descomposición en mezclas donde predominó el abono orgánico. En la profundidad de 0-15 cm se encontró la mayor liberación de CO<sub>2</sub> esto se debe a la mayor presencia de carbono. Esto coincide con Santibáñez *et al.*, (2006) que mencionan que la alta liberación de CO<sub>2</sub>, se ve reflejado por la alta presencia de carbono de disponibilidad inmediata en los sustratos orgánicos provenientes de compuestos fácilmente degradables.



**Figura 20.** Comparación de medias de liberación de C-CO<sub>2</sub> para los abonos orgánicos y profundidades.

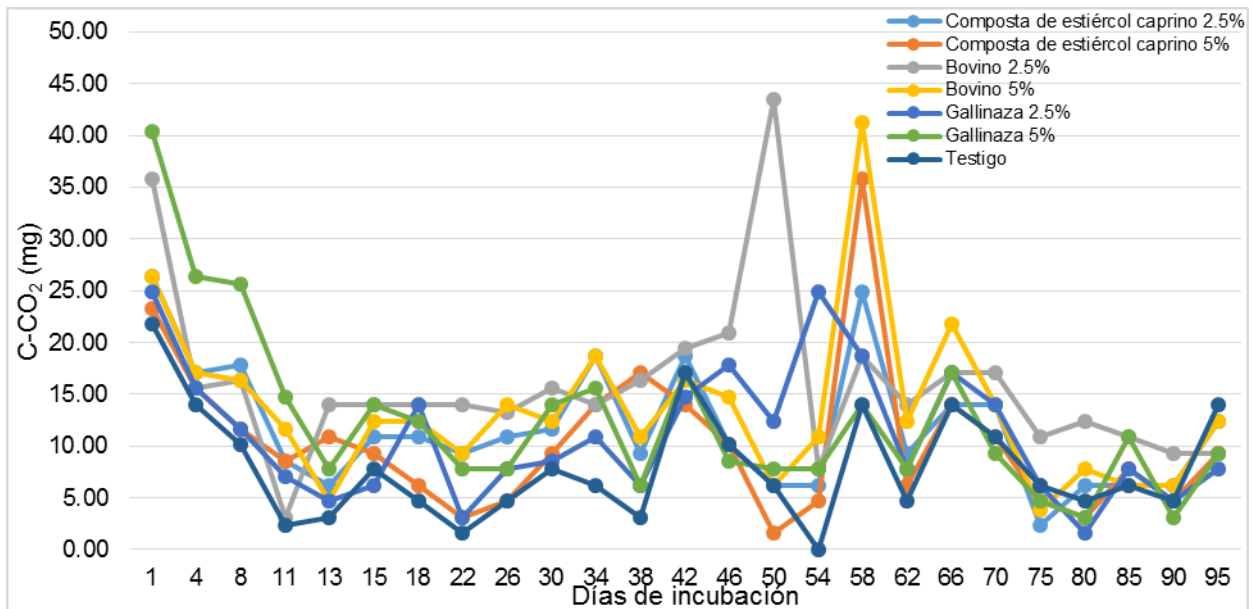
## 6.5 Tendencia de liberación de CO<sub>2</sub>

En los primeros cinco días de la incubación se observaron mayores variaciones, producto de los microorganismos ante la presencia de un material reciente y rico en sustancias fácilmente degradables como proteínas y azúcares que varían con el tipo de material (Lerch *et al.*, 1992). El tratamiento bovino 2.5 y 5% y gallinaza 2.5% presentaron el mayor desprendimiento de C-CO<sub>2</sub> (Figura 21) a la profundidad de 0-15 cm. La cantidad de C-CO<sub>2</sub> desprendido por la actividad biológica de los diferentes abonos orgánicos incubados durante 95 días provocó un incremento de la respiración en el tratamiento bovino y gallinaza 2.5 y 5% respecto al testigo. El tratamiento bovino y gallinaza, los cuales no tuvieron ningún proceso de descomposición previo a la incubación, presentaron mayor liberación de 889.27, 939.02, 353.69 y 539.14 mg de CO<sub>2</sub> g<sup>-1</sup>. Los incrementos registrados en los primeros 13 días posteriores a la incorporación, se podrían relacionar con la degradación inmediata de las fracciones orgánicas lábiles presentes en el material añadido, con la consecuente producción de energía para el crecimiento de los microorganismos (Rivero y Hernández, 2001). Este incremento se puede atribuir al contenido de C orgánico presente en los materiales originales, los cuales suministraron el sustrato necesario para la proliferación de los microorganismos responsables de la descomposición. Al respecto Stott *et al.*, (1986), indicaron que las diferencias significativas en la descomposición de residuos orgánicos, sólo son detectables como máximo hasta treinta días posteriores a la incorporación de los materiales orgánicos. Los tratamientos evaluados bovino, gallinaza y composta caprino 2.5 y 5% contienen 11.48, 12.07, 9.70, 10.73, 10.21 y 12.26 t ha<sup>-1</sup> de carbono orgánico, lo cual representa una liberación potencial de 0.027, 0.035, 0.066, 0.060, 0.027 y 0.024% de C-CO<sub>2</sub> respectivamente.



**Figura 21.** Liberación de C-CO<sub>2</sub> con diferentes abonos orgánicos a la profundidad de 0-15 cm.

La velocidad de mineralización del carbono en los diferentes tratamientos fue elevada en los primeros 13 días de iniciado la incubación en profundidad de 15-30 cm. Esta rápida mineralización del carbono se podría explicar con base a compuestos lábiles presentes en la materia orgánica (Lerch *et al.*, 1992). Una vez que los compuestos poco recalcitrantes son descompuestos, quedan los elementos más resistentes, los mismos serán descompuestos por organismos en días posteriores (Giacomini, 2005). El tratamiento bovino y gallinaza 2.5 y 5% tuvieron la mayor liberación de 397.22, 340.47, 275.95 y 313.27 mg de CO<sub>2</sub> g<sup>-1</sup>. El tratamiento bovino 2.5% tuvo un aumento en el día 50 de incubación con 269.73 mg de CO<sub>2</sub> g<sup>-1</sup> mientras que el resto de los tratamientos tuvieron el repunte en el día 58 (Figura 22). Jamieson *et al.*, (1999) mencionan que la disponibilidad de agua es la principal restricción de crecimiento vegetal y procesos microbianos de mineralización del carbono. La actividad de los microorganismos que intervienen al inicio del proceso es máxima, como consecuencia de tener a su alcance gran cantidad de compuestos fácilmente biodegradables procedentes de los materiales orgánicos de partida (Acosta *et al.*, 2006).



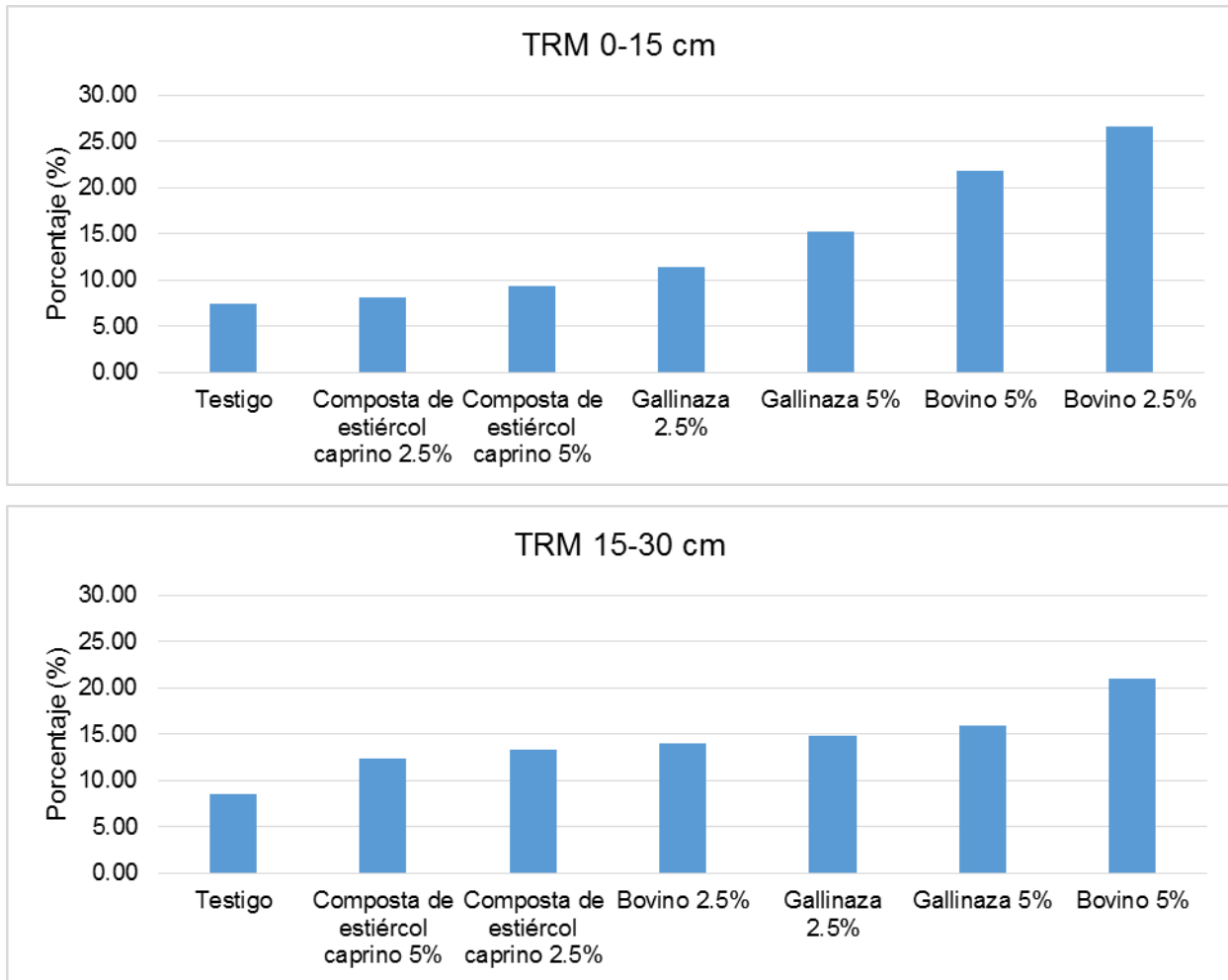
**Figura 22.** C-CO<sub>2</sub> liberado de diferentes abonos orgánicos a la profundidad a la 15-30 cm.

A medida que transcurre la incubación a (95 días), los tratamientos bovino 2.5 y 5% y gallinaza 5% comienzan a entrar en la etapa descendente, por lo cual el material de fácil degradación comienza a agotarse, por lo tanto, el número de microorganismos disminuye al igual que la liberación de C-CO<sub>2</sub>. Los tratamientos caprino 2.5 y 5% con un proceso de compostaje anterior a la incubación muestran un menor incremento de la respiración, esto se debe a que este tratamiento contiene material de más difícil descomposición (Figura 22). Acosta *et al.*, (2006), evaluaron composta de estiércol de caprino encontraron valores de evolución de 1648.75 mg C-CO<sub>2</sub>/100g<sup>-1</sup>/día<sup>-1</sup> en 106 días de incubación. Guerrero *et al.*, (2012) reporta que encontró un incremento en tratamientos evaluados a los día 37 de la incubación, esto debido a que al reponer la humedad perdida se reactivó la actividad microbiana y por lo tanto la producción de CO<sub>2</sub>.

### 6.6 Tasa relativa de mineralización (TRM, %)

La tasa relativa de mineralización fue mayor a la profundidad de 0-15 cm, el tratamiento bovino al 2.5 y 5% con 26.62 y 21.88% al final del ciclo de incubación, seguido del tratamiento gallinaza 2.5 y 5% con 11.46 y 15.18%, esto comparado con el testigo (Figura 23). En la profundidad 15-30 cm, los tratamientos que presentaron la mayor tasa de mineralización fue bovino y gallinaza 2.5 y

5% con 14.04, 21.03, 14.80 y 15.89% respectivamente. Guerrero *et al.*, (2012) encontró con vermicompost la mayor tasa de mineralización con 24.4% a los 58 días de incubación.



**Figura 23.** Tasa relativa de mineralización de CO<sub>2</sub> en los diferentes abonos orgánicos de 95 días de incubación.

Los resultados encontrados en la tasa relativa de mineralización muestran que existe una mayor mineralización de la materia orgánica en la profundidad de 0-15 cm, esto se atribuye a que existen mayor cantidad de carbono orgánico, mientras que en la profundidad de 15-30 cm presentó una menor mineralización para ambos tratamientos.

## **7. CONCLUSIÓN**

La incorporación de abonos orgánicos de bovino, gallinaza y composta de estiércol de caprino en dosis de 2.5 y 5 % incrementaron el pH y la conductividad eléctrica del suelo, debido a la descomposición de la materia orgánica y liberación de sustancias húmicas de los abonos. Aumentando la liberación con 43.55 % de CO<sub>2</sub>, los abonos sin ningún proceso de descomposición previo a la incubación bovino y gallinaza, presentaron mayor liberación de CO<sub>2</sub>. Este incremento se puede atribuir al contenido de C orgánico presente en los materiales originales. La mayor tasa de mineralización se registró con bovino y gallinaza al 2.5 y 5% en las dos profundidades del suelo, aunque existió una mayor mineralización de la materia orgánica.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

- Acosta, Y., J. Cayama, E. Gómez, N. Reyes, D. Rojas y H. García. 2006. Respiración microbiana y prueba de fitotoxicidad en el proceso de compostaje de una mezcla de residuos orgánicos. *Multiciencias* 6: 220-227.
- Aguilar-Benítez G., Peña-Valdivia C., García-Nava J., Ramírez-Vallejo P., Benedicto-Valdés S. y Molina-Galán J. 2012. Rendimiento de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en relación con la concentración de vermicompost y déficit de humedad en el sustrato. *Revista Agrocencia* 46: 37-50.
- Almansa, M., M. Fernández, J. Valero, M. López y M. Soliva. 2007. Velocidad de mineralización del estiércol vacuno según su estabilidad. *Residuos Ganaderos*. 96: 30-36.
- Álvarez-Solís J. D., Díaz-Pérez E., León-Martínez N. S. y Guillén-Velásquez J. 2010. Enmiendas orgánicas y actividad metabólica del suelo en el rendimiento de maíz. *Terra Latinoamericana Volumen 28 Número 3*. 239-245.
- Anderson J. 1982. Soil Respiration, pp. 831-895. In: A. Page, R. Miller y D. Keeney (eds). *Methods of Soil Analysis. Part 2: Chemical and Microbiological Properties*. Soil Science Soc. Am. Inc.
- Anderson, J. 1984. Herbicide degradation in soil: influence of microbial biomass. *Soil Biol. Biochem.* 16:483-489.
- Arochas-López A. y Medina-Almendras P. 2007. Evaluación microbiológica y de fitotoxicidad de relaves mineros de cobre acondicionados con mejoradores orgánicos y no orgánicos. Tesis Ingeniería en Ambiente. Universidad de Santiago de Chile, Departamento de Ingeniería Geográfica. Chile. 51 p.
- Aso, P.A. & Bustos, V.N. 1991. Uso de residuos orgánicos estiércol y cachaza como abonos. *Avance Agroindustrial*. 12 (44): 23-25.
- Balesdent, J., Arrouays, D., Gaillard, J. 2000. Morgane: un modele de simulation des reserves organiques des sols et de la dynamique de carbone des sols. Submitted to *Agronomie*.
- Binkley, D. and P. Vitousek. 1989. Soil nutrient availability. pp. 75-96. In: R. W. Pearcy, J. R. Ehleringer, H. A. Mooney, and P. W. Rundel (eds.). *Plant physiological ecology. Field methods and instrumentation*. Chapman and Hall. London.
- Binkley, D. and S. C. Hart. 1989. The components of nitrogen availability assessments in forest soils. *Adv. Soil Sci.* 10: 57-112.



- Bornemisza E., 1982. Introducción a la Química de Suelos, Universidad de Costa Rica, San José , Costa Rica, Secretaría General de la Organización de los Estados Unidos Americanos Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico, Monografía no. 25 p. 21-47.
- Buckman Harry and N.C. Brady, 1966. The Nature and Properties of Soils. The Macmillan company. 590 pp.
- Castellanos, J. Z., J. J. Márquez O., J. D. Etchevers, A. Aguilar Santelises y J. R. Salinas. 1996. Long-term effect of dairy manure on forage yields and soil properties in an arid irrigated región of northern Mexico. Terra 14: 151-158.
- Castellanos-Ramos, J. Z. 1986. Evaluación del estiércol de bovino y gallinaza como fuente de fósforo en el cultivo de Alfalfa. Agric. Téc. Méx. 12: 247-258.
- Del Pino A., Repetto C., Mori C. y Perdomo C. 2007. Patrones de descomposición de estiércoles en el suelo. TERRA LATINOAMERICANA Vol: 26 Num: 1. 1-10.
- Eghball, B., D. Ginting, and J. E. Gilley. 2004. Residual effects of manure and compost applications on corn production and soil properties. Agron. J. 96: 442-447.
- Epstein, E. 1997. The Science of Composting. CRC Press LLC. Florida. USA.
- Francescángeli, N., Martí, H. y Stoppani M., 2003, “Evaluación de cultivares y fechas de siembra: Producción de Brócoli en Invernadero”, Revista de información sobre Investigación y Desarrollo Agropecuario, 4 (1), 68.
- Galvis, E. A. 1998. Diagnóstico y simulación del suministro de nitrógeno edáfico para cultivos anuales. Tesis. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 327 pp.
- García, A. y C. Rivero. 2008. Evaluación del carbono microbiano y la respiración basal en respuesta a la aplicación de lodo papelerero en los suelos de la Cuenca del Lago de Valencia, Venezuela. Rev. Fac. Agron. (Maracay) 34: 215-229.
- Giacomini, S. J. 2005. Avaliação e modelização da dinâmica de carbono e nitrogênio em solos como o uso de dejetos de suíno. Tese de doutorado do Programa de pós graduação em ciencia do solo, Universidade Federal de Santa Maria. Estado Sul do Brasil. 248 p.
- Guerrero P. A. 1993. Mineralización de Nitrógeno Orgánico en diferentes agro sistemas del Trópico Húmedo. Tesis de Licenciatura. Universidad Veracruzana.
- Guerrero-Ortiz P. 2012. La incorporación de materia orgánica a través de lupinus para la fertilidad del suelo. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillos. Edo. de México. 86 p.

- Guerrero-Ortiz, Pilar Lourdes; Quintero-Lizaola, Roberto; Espinoza-Hernández, Vicente; Benedicto- Valdés, Gerardo Sergio; Sánchez-Colín, María de Jesús. Respiración de CO<sub>2</sub> como indicador de la actividad microbiana en abonos orgánicos de Lupinus. *Terra Latinoamericana*, vol. 30, núm. 4, 2012, pp. 355-362. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. Chapingo, México.
- Gutiñas M. E., Gil-Sotres F., Leirós M. C., Trasar-Cepeda C. 2013. Sensitivity of soil respiration to moisture and temperature. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 2013, 13 (2), 445-461.
- Havlin, J. L., J. D. Beaton, S. L. Tisdale, and W. L. Nelson. 1999. *Soil fertility and fertilizers: An introduction to nutrient management*. Prentice Hall. Upper Saddle River, NJ, USA.
- Jackson, M. L. - *Soil chemical analysis*. Prentice-Hall Inc. Englewood Cliffs, 498 p. 1958.
- Jamieson, N., R. Monaghan, y D. Barraclough. 1999. Seasonal trends of gross N mineralization in a natural calcareous grassland. *Global change Biology*. 5:423-431.
- Kass, D., 1998, "Fertilidad de suelos", 1era. Edición, Editorial Universidad Estatal a Distancia, San José, Costa Rica, pp. 40-105.
- Kaurichev, I. S. N. P. Panov; M. V. Stratonovich; I. P. Grechin; V. I. Savich; N. F. Ganzhara y A. P. Mershin. 1984. *Prácticas de edafología*. Traducción al español: Esther Vicente. De la versión 1980. Edit. MIR. Moscú, URSS.
- Labrador, M. J., 2001. La materia orgánica en los agroecosistemas. Grupo Mundi-Prensa. España. p 11-13, 124, 169-171, 174, 177-178.
- Lerch, R. N., K. A. Barbarick, L. E. Sommers, D. G. Wastfall. 1992. Sewage sludge proteins as labile carbon and nitrogen sources. *Soil Science Society of America Journal*. 56:1470-1476.
- López L. y S. Álvarez. 2006. El ciclo del carbono: la mineralización y la descomposición de residuos. Seminario no. 7. Universidad Nacional del Comahue.
- López, M. J. D., A. Díaz E., E. Martínez R., R. D. Valdés C. 2001. Abonos orgánicos y su efecto en las propiedades físicas y químicas del suelo y rendimiento de maíz. *Universidad autónoma de Chapingo. TERRA Latinoamericana*. 19(4). p 293-299.
- Lungu, O.I, Temba, B.Chirwa y C. Lungu. 1993 Effects of lime and farmyard manure on soil acidity and maize growth on acid Alfisol from Zambia Trop. Agric. (Trinidad) 4:309-314.

- Mengel, K., E.A. Kirkby, H. Kosegarten and T. Appel, Principles of Plant Nutrition (fifth ed.). 2001, Kluwer Academic Publishers., The Netherlands p. 864.
- Miranda C., Alavi M., Aliaga Z., Caballero A. 2014. Mineralización del nitrógeno y generación de CO<sub>2</sub> por descomposición del estiércol ovino. Altiplano central, Bolivia<sup>a</sup>. *Venesuelos* 21:61-71.
- Murillo-Amador, B., A. Flores-Hernández, J. L. García-Hernández, R. D. Valdez-Cepeda, N. Y. Avila-Serrano, E. Troyo-Diéguez, and F. H. Ruiz. 2005. Soil amendment with organic products increases the production of prickly pear cactus as a green vegetable (nopalitos). *J. Profess. Assoc. Cactus Develop.* 7: 97-109.
- Olivares-Campos M., Hernández-Rodríguez A., Vences-Contreras C., Jáquez-Balderrama JL. Y Ojeda-Barrios D. 2012. Lombricomposta y composta de estiércol de ganado vacuno lechero como fertilizantes y mejoradores de suelo. *Universidad y Ciencia Trópico Húmedo.* 28(1):27-37.
- Olivier, R. C. y E. Bornemisza. 1990. Efecto de residuos orgánicos y abonamiento mineral sobre las propiedades químicas de un Typic Humitropept en Turrialba Costa Rica. *Agronomía costarricense.* 14: 237-240.
- Omaliiko, C.P. 1984. Dung decomposition and its effects on the soil component of a tropical grassland ecosystem. *Trop. Ecol.* 25:214-220.
- Orozco-Corral A.L. y M.I. Valverde-Flores. 2002. Impacto ambiental del manejo del agua de riego con sondas de capacitancia sobre la contaminación de acuíferos por nitratos. *Revista Tecnología y Ciencias del Agua*, vol. III, número especial TyCA-RETAC, febrero-marzo de 2012, pp 23-35.
- Ortega, B.; Mardonez, R. 2005. Variabilidad Espacial de la Mineralización de Nitrógeno en un Suelo Volcánico de la Provincia de Ñuble, VIII Región, Chile. *Agric. Téc.* 65: 221-231.
- Pascual, J. 1996. Efectividad de los residuos orgánicos en la mejora de la calidad de los suelos áridos: Aspectos biológicos y bioquímicos. Tesis Doctoral. Universidad de Murcia. España. 428 p.
- Pérez B., P., G. Ouro, A. Merino y F. Macías. 1998. Descomposición de materia orgánica, biomasa microbiana y emisión de CO<sub>2</sub> en un suelo forestal bajo diferentes manejos sevícolas. *Edafología* 5: 83-93.
- Pikull, J.L. y R.R. Allmaras. 1986. Physical and chemical properties of a haploxeroll after fifty years of residue management. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 52:214-219.

- Porfirio-Victoriano L. 2014. Relaciones hídricas y mineralización de la fracción orgánica en sustratos con base en cachaza. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillos. Edo. de México. 132 p.
- Porta, C. J., R. M. López-Acevedo y L. C. Roquero. 1999. Edafología para la agricultura y el medio ambiente. Ediciones Mundi-Prensa. México. p 183-184, 778-787.
- Quintanilla Menjívar F., Yanes Vilorio C., Monge de Castro C. 2013. Incidencia del bocashi, gallinaza y su combinación con fertilizantes químicos en la mejora de la fertilidad del suelo y en los rendimientos de maíz (*zea mays* l.), san juan opico, la libertad. Tesis de Ingeniero Agronomo. Universidad de el Salvador, Facultad de Ciencias Agronómicas, Departamento de Recursos Naturales y Medio Ambiente. Ciudad Universitaria. 123 p.
- Richards, L.A. 1994. Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos. Laboratorio de salinidad de los E.U.A. UTEHA Noriega Editores, México, D.F.
- Rivero, C. y E. Hernández. 2001. Efecto de la aplicación de dos tipos de compost en la evolución de CO<sub>2</sub> y la actividad de fosfatasa en un suelo inceptisol. *Venesuelos* 9: 24-32.
- Romero-Lima, M. R., Trinidad-Santos, A., García-Espinosa, R. y Ferrera-Cerrato, R., 2000. Producción de papa y biomasa microbiana en suelo con abonos orgánicos y minerales. *Agrociencia* 34: 261-269.
- Salazar-Sosa, Enrique; Trejo-Escareño, Héctor Idilio; López-Martínez, José Dimas; Vázquez-Vázquez, Cirilo; Serrato-Corona, J. Santos; Orona-Castillo, Ignacio; Flores-Márgez, Juan Pedro Efecto residual de estiércol bovino sobre el rendimiento de maíz forrajero y propiedades del suelo *Terra Latinoamericana*, vol. 28, núm. 4, octubre-diciembre, 2010, pp. 381-390 Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. Chapingo, México.
- Sánchez, S., G. Crespo, M. Hernández y Y. García. 2008. Factores bióticos y abióticos que influyen en la descomposición de la hojarasca en pastizales. *PastosForrajes* 31: 99-108.
- Santibañez, C., M. T. Varnero y R. Ginocchio. 2006. Mineralización de carbono y nitrógeno en relaves mineros acondicionados con biosólidos. pp. 337-343. *In*: J. F. Gallardo L. (ed). Medio ambiente en Iberoamerica. Visión desde la física y la química en los árboles del siglo XXI. Tomo III. Sociedad Iberoamericana de Física y Química Ambiental. Badajoz, España.
- Smith, D. C.; Beharee, V.; Hughes, J. C. 2001. The effects of composts produced by a simple composting procedure on the yields of Swiss chard (*Beta vulgaris* L. var. *flavescens*) and common bean (*Phaseolus vulgaris* var. *nanus*). *Sci. Hortic.* 91: 393-406.

- Steubing, L., R. Godoy y M. Alberdi. 2001. Métodos de ecología vegetal. Universitaria. Santiago, Chile.
- Stoffella, P.J., A Kahn B. 2005. Utilización de compost en los sistemas de cultivo Horticola. Edt. Mundi-Prensa. Barcelona. ISBN: 84-8476-186-X.
- Stott, D. E., Elliott, L., Papendick, R., and Campbell, G.: Lowtemperature or low water potential effects on the microbial decomposition of wheat residue, *Soil Biol. Biochem.*, 18, 577–582, 1986.
- Tang C. y Yu Q. 1999. Impact of chemical composition of legume residues and initial soil pH on pH change of a soil after residue incorporation. Centre for Legumes in Mediterranean Agriculture. *Plant and Soil* 215: 29–38.
- Tester, C.F. 1990. Organic amendments effects on physical and chemical properties of a sandy Soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54: 827-831.
- Tra Thi Thang Duong. 2009. Dynamics of plant residue decomposition and nutrient release. Thesis for the Degree of Master of Agricultural Science. University of Adelaide, Australia.
- Vázquez-Vazquez C., García-Hernández J.L., Salazar-Sosa E., López-Martínez J.D., Valdez-Cepeda R.D., Orona-Castillo I., Gallegos-Robles M.A. y Preciado-Rangel P. Aplicación de estiércol solarizado al suelo y la producción de chile jalapeño (*Capsicum annuum* L.). *Revista Chapingo Serie Horticultura* 17(Especial 1): 69-74, 2011.
- Walkley, A. and I. A. Black. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.* 37: 29-38.
- Zambrano A., Rivero C., Paolini J. y Contreras F. 2013. Evaluación de la estabilidad química de enmiendas orgánicas a través de la mineralización de carbono. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)*. 2013, 30: 242-265.
- Zapata N.; Guerrero, F. Polo, A. 2005. Evaluación de corteza de pino y residuos urbanos como componentes de sustratos de cultivo. *Agricultura Técnica*, vol. 65 N° 4, 378-387.

## CAPITULO III. CARACTERÍSTICAS AGRONÓMICAS DEL CULTIVO DE BRÓCOLI

### 1. INTRODUCCIÓN

La creciente demanda que presenta el mercado local e internacional por productos hortícolas de excelente calidad, nos conlleva a esforzarnos cada vez más. Proponiendo nuevas y mejores técnicas en el manejo de los diferentes cultivares para obtener mayores rendimientos. El brócoli (*Brassica oleracea*) es una hortaliza que ha experimentado un desarrollo extraordinario, siendo una de las verduras de más amplio consumo. Debido en gran parte a sus propiedades nutricionales, lo que ha situado como uno de los productos de mayor explotación agrícola (Carrillo-Riofrio, 2010). El estado de Guanajuato tiene la mayor producción nacional del brócoli, así como en la exportación del mismo, dando como resultado que el 75 por ciento del brócoli que se consume en el mercado americano es proveniente de la entidad antes mencionada. Los rendimientos de brócoli en el Bajío con el manejo convencional son ligeramente superiores a 12 Mg ha<sup>-1</sup> (SIAP, 2014).

El uso y aplicación de abonos orgánicos en la agricultura fue experimentando un decrecimiento considerable, a causa de la introducción de los fertilizantes químicos que producían mayores cosechas a menor costo; marginando a los abonos orgánicos, que fueron la base y sustento de la agricultura por siglos (Arredondo, 1996). Sin embargo, durante los últimos años se ha observado un creciente interés sobre la materia orgánica, aunado a la aplicación de nuevas tecnologías (Meléndez G. y Soto G. 2003). Que permita la preservación y mejora de la capacidad productiva desde el punto de vista agronómico, económico y ambiental, además de la calidad de los recursos involucrados (Manosalvas Arias, 2012).

El uso de los estiércoles en la agricultura proporcionan varios nutrimentos para los cultivos, pues contiene elementos que les falta a los fertilizantes y mantiene la materia orgánica del suelo, ambos vitales para garantizar el uso eficiente de los fertilizantes, que justifica la búsqueda de intervenciones para ayudar a los agricultores a tomar mejores decisiones en cuanto al uso de estiércol (Rufino *et al.*, 2007). El estiércol contiene macro y microelementos necesarios para el crecimiento de las plantas, sin embargo, representa uno de los recursos más sub utilizados en los cultivos (Araji *et al.*, 2001). Desde este punto de vista, el objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la incorporación de los abonos orgánicos estiércol de bovino, gallinaza y composta de estiércol caprino en dosis de 5% en base a peso seco sobre las características agronómicas y rendimiento del cultivo de brócoli bajo diferentes sistemas de riego por goteo por gravedad.

## **2. REVISIÓN DE LITERATURA**

### **2.1 El cultivo de Brócoli**

El brócoli *Brassica oleracea L. var. Waltham*, es una crucífera nativa de Asia Occidental y de las costas del Mediterráneo Oriental. Este se desarrolló a partir de un repollo salvaje que, mediante procesos de mejoramiento genético realizado desde 1920 en Estados Unidos, se transformó en una planta similar a la coliflor, aunque la pella que forma es más pequeña. La raíz es pivotante con raíces secundarias y superficiales. Las hojas son de color verde oscuro, algo rizado y festoneado, (Cuaspa y Mage, 1994; Cuatin y Lucero, 1998). El brócoli es uno de los cultivos de mayor demanda en el mercado, pues año tras año la superficie sembrada ha ido incrementado, debido a su alta demanda en el mercado internacional, especialmente en los países desarrollados gracias a los nuevos hábitos alimenticios (Francescángeli *et al.*, 2003).

México es uno de los principales exportadores de hortalizas frescas y congeladas a Estados Unidos de Norte América. Actualmente en nuestro país se siembran aproximadamente 38 mil hectáreas, siendo la zona del bajío con la mayor superficie sembrada (SIAP, 2014). El estado de Guanajuato tiene la mayor producción nacional del brócoli, así como en la exportación del mismo, dando como resultado que el 75 por ciento del brócoli que se consume en el mercado americano es proveniente de la entidad. Los rendimientos de brócoli en el Bajío con el manejo convencional son ligeramente superiores a 12 Mg ha<sup>-1</sup> (SIAP, 2014).

### **2.2 Composición nutricional del brócoli**

El brócoli es una verdura muy apetecida por su alto valor vitamínico y si fue cultivado con abonos orgánicos, este sería un producto de calidad total. La parte comestible, cabeza o pella, está formada por un conjunto de yemas florales junto con sus pedúnculos carnosos y a diferencia de la coliflor, puede producir otras pequeñas laterales que salen de las axilas de las hojas del tallo principal (Cassola *et al.*, 2000). Cerdas (2002), menciona que el brócoli es considerado como la hortaliza de mayor valor nutritivo por unidad de peso y supuestamente posee la cualidad de prevenir enfermedades como el cáncer. Alvarado (2007), manifiesta que el agua y la fibra son la clave para que este alimento sea considerado como anticancerígeno y antioxidante. En el siguiente cuadro se

indica el valor nutritivo y contenido calórico del brócoli, en base a 100 g de porción comestible Krarup (1992).

**Cuadro 14.** Valor nutrimental del brócoli (Krarup, 1992).

<b>Valor nutritivo y contenido calórico del Brócoli. Principios inmediatos</b>		
<b>Componente</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>
Agua	89	%
Energía	32	cal
Proteína	3.6	g.
Gracias	0.3	g.
Carbohidratos	5.9	g.
<b>Sales minerales</b>		
Calcio	103	mg
Fosforo	78	mg
Hierro	1.1	mg
Sodio	15	mg
Potasio	382	mg
<b>Vitaminas</b>		
Tiamina	0.1	mg
Riboflamina	0.23	mg
Niacina	0.9	mg
A. Ascórbico	113	mg
Vitamina A1	2500	IU

### 2.3 Agricultura orgánica

La agricultura orgánica conocida también como agricultura ecológica, biológica, biodinámica o agroecología constituye una alternativa al uso de los agroquímicos proponiendo un manejo adecuado de los recursos naturales que intervienen en los procesos productivos dentro del concepto de la sostenibilidad de los agroecosistemas sin descuidar las relaciones culturales y económicas que se dan en el interior de éstos (Suquilanda, 1996). La agricultura orgánica se define como una visión sistemática de la producción agrícola que usa los procesos biológicos de los ecosistemas naturales. Es un sistema de producción agropecuaria cuyo fin principal es la producción de alimentos de la máxima calidad, conservando y mejorando la fertilidad del suelo utilizando básicamente abonos orgánicos en la producción (Suquilanda, 1996).



## 2.4 Abonos orgánicos

El abono orgánico es el producto de la descomposición de materia vegetal, animal y residuos industriales. La materia orgánica, mejora la labranza, fertilidad y productividad del suelo, a través del efecto favorable que ejerce sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (Gross, 1986). Los abonos orgánicos constituyen una buena alternativa para el manejo adecuado de los desechos que resultan de la producción diaria, la incorporación de estos abonos orgánicos incrementa la cantidad de microorganismos generando un suelo equilibrado (Padilla, 2000). Teniendo como base lo anterior, los estiércoles de diferentes especies de animales, los residuos de cosecha y las compostas pueden considerarse como abonos y también como fertilizantes orgánicos (Chaney *et al.*, 1992).

Los estiércoles en la agricultura son ampliamente usados, debido a que proporcionan varios nutrimentos para los cultivos, pues contiene elementos que les falta a los fertilizantes y mantiene la materia orgánica del suelo, ambos vitales para garantizar el uso eficiente de los fertilizantes, que justifica la búsqueda de intervenciones para ayudar a los agricultores a tomar mejores decisiones en cuanto al uso de estiércol (Rufino *et al.*, 2007). El estiércol contiene macro y microelementos necesarios para el crecimiento de plantas, sin embargo, representa uno de los recursos más sub utilizados en los cultivos (Araji *et al.*, 2001). Se calcula que el estiércol de los animales proporcionan alrededor del 11 % total de Nitrógeno (N) necesario para la producción mundial de alimentos (Smil, 1999). Además se les considera como productos fertilizantes de lenta liberación cuya acción se prolonga en el tiempo (acción residual), que contribuyen a mejorar la calidad del medio ambiente y favorecer la producción sostenible de alimentos (Schröder, 2005).

Actualmente la producción orgánica está siendo reconocida como una alternativa a muchos de los problemas agrícolas de países latinoamericanos, y puede contribuir al desarrollo sustentable tanto social, económico y ecológico (Garibay, 2003). La agricultura orgánica ha adquirido importancia dentro del sistema agroalimentario en más de 154 países. Existen alrededor de 67 millones de hectáreas certificadas en forma orgánica, por lo menos 560 000 unidades de producción atendidas por 1.4 millones de productores (Willer y Kilcher, 2010). Aunque en su desarrollo participan también grandes agricultores y se ha priorizado su fomento a través de cultivos con potencial de exportación, por los beneficios económicos más altos cuando se conecta a los mercados mundiales

(Nelson *et al.*, 2008), en México la agricultura orgánica se vincula en mayor medida a pequeños agricultores caracterizados por su estado de pobreza y de marginación. De 128 862 productores orgánicos ubicados, 99.95% son pequeños agricultores, 82.77% pertenece a algún grupo indígena y el 34.6% son mujeres. (Gómez *et al.*, 2010).

Los principales estados productores de alimentos orgánicos son Chiapas, Oaxaca, Michoacán, Chihuahua y Guerrero, que concentran 82.8% de la superficie orgánica total. Chiapas y Oaxaca cubren 70% del total. En el país se cultivan más de 45 productos orgánicos, de los cuales el café es el más importante por superficie cultivada, con 66% del total 70 838 ha<sup>-1</sup>; en segundo lugar se ubica el maíz azul y blanco, con 4.5% de la superficie 4 670 ha<sup>-1</sup>, y en tercer lugar está el ajonjolí, con 4% de la superficie 4 124 ha<sup>-1</sup> y una producción de 2 433 t ha<sup>-1</sup>; a estos cultivos les siguen en importancia las hortalizas con 3 831 ha<sup>-1</sup> (SIAP, 2014).

## **2.5 Los abonos orgánicos en la producción y calidad del brócoli**

En comparación con los fertilizantes minerales, la disponibilidad de nitrógeno en abonos orgánicos suele ser muy inferior, fósforo y potasio similar o incluso superior así como el efecto residual (Gómez-Córdova, 2007). Suponiendo un contenido similar de nitrógeno se puede esperar un rendimiento del 80 al 90% del que se obtiene con fertilizante mineral, aunque los resultados varían con la nutrición de las plantas (Albrecht, 2001). El N es un elemento de gran importancia para las crucíferas, ya que promueve un desarrollo rápido y vigoroso del cultivo; además de ser un elemento básico en el proceso de formación de la pella (Domínguez, 1982). Otro de los macro nutrientes como el potasio actúa como un activador de enzimas, además de tener un efecto benéfico en la síntesis del ATP (Arias, 2007). Influye directamente sobre la calidad de las pellas de brócoli, tanto en su firmeza como en su sabor (Domínguez, 1982).

## **2.6 Requerimientos del cultivo de Brócoli**

Generalmente esta especie se cultiva bajo riego, ya que es muy susceptible a la falta de humedad en el suelo. Requiere de 800 a 1200 mm durante el ciclo de producción (FAO, 1994). Las plantas de brócoli requieren de un periodo de vernalización para una adecuada floración, se considera que existe una devernización a temperaturas por arriba de 26.5°C (Friend, 1985).

## 2.7 Fases del cultivo de Brócoli

En el desarrollo del brócoli se puede considerar las siguientes fases.

**Fase de crecimiento.** La semilla germina entre los 6 y 10 primeros días dependiendo de las condiciones en las que se encuentre, emitiendo un par de hojas cotiledonales. Las hojas y tallos alcanzan una altura de 12 - 15 cm con 3 a 5 pares de hojas (Frutos-Pinto, 2015).

**Fase de inducción floral.** Posteriormente la planta inicia la formación de la flor y al mismo tiempo continúan brotando hojas de menor tamaño que en la fase de crecimiento (Frutos-Pinto, 2015).

**Formación de pellas.** Expone que la planta en la yema terminal desarrolla una pella y al mismo tiempo, en las yemas axilares de las hojas está ocurriendo la fase de inducción floral con la formación de nuevas pellas, que serán bastante más pequeñas que la pella principal (Zamora-Vaca, 2014).

**Fruto.** Es una pequeña vaina (silicua) de color verde oscuro cenizo, que mide en promedio de 3 a 4 cm. y que contiene de tres a ocho semillas por silicua. (Zamora-Vaca, 2014).

En estudios realizador por Torres-Nava (2011) con incorporación de gallinaza 300 kg N-ha<sup>-1</sup>, en el cultivo de brócoli, obtuvo valores de materia seca de hoja con 148 gr/planta, materia seca de tallo 9.5%, materia seca fruto 49 gr/planta y rendimiento 11.90 t ha<sup>-1</sup>. Al evaluar estiércol de bovino solarizado 20, 40, 60 y 80 Mg ha<sup>-1</sup> en el cultivo de chile jalapeño obtuvieron una producción de 53.49, 58.07, 54.66 y 52.89 Mg·ha<sup>-1</sup>, Vázquez-Vázquez *et al.*, (2011). Pantoja-Gordón (2014), evaluó la aplicación de gallinaza, bovinaza y cuinaza 9, 12 y 15 t ha<sup>-1</sup> en el cultivo de brócoli encontraron altura de planta en gallinaza 80.80, 73.57 y 77.83 cm, bovinaza 77.97, 73.49 y 76.72 cm y cuinaza 79.53, 77.87 y 75.42 cm y rendimiento en gallinaza de 1390, 1070 y 1380 gr/planta, bovinaza 1210, 1410 y 1120 gr/planta y cuinaza 1390, 1420 y 1510 gr/planta.

Ruíz *et al.*, (2007) con la incorporación de abonos orgánicos estiércol de bovino, caprino y gallinaza 30 t ha<sup>-1</sup> obtuvieron altura de planta con 69.25, 71.74 y 66.28 cm en el cultivo de la cebolla. Mora *et al.*, (2010) al evaluar la aplicación de vinaza en dosis de 25, 50, 75, 100 y 125 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> obtuvieron 60.38, 62.88, 58.65, 57.38, 59.50 y 58.52 cm de altura de planta y en rendimiento con 33.48, 34.44, 35.08, 36.21, 39.80 y 44.33 t ha<sup>-1</sup> en el cultivo de papa. Torres-Saavedra (2013)

evaluó la incorporación de gallinaza 30, 45 y 60 t ha<sup>-1</sup> encontró valores de longitud de raíz de 21.39, 22.12 y 20.11 cm, rendimiento por planta con 340.83, 357.50 y 265.00 gr, área foliar 84.72, 91.90 y 68.02 cm<sup>2</sup> y altura de planta 48.38, 46.92 y 37.60 cm en el cultivo de brócoli. Por otra parte Ramírez (2009), encontró que los tratamientos con fertilización combinada: fertilización química + organic mix (T4) y estiércol de borrego + organic mix, mejoraron significativamente la altura de planta, diámetro de inflorescencia, peso fresco y seco de planta, follaje e inflorescencia de brócoli.

### **3. OBJETIVO**

Evaluar el efecto de la incorporación de los abonos orgánicos estiércol de bovino, gallinaza y composta de estiércol caprino en dosis 5% en base a peso seco sobre las características agronómicas y rendimiento del cultivo de Brócoli bajo diferentes sistemas de riego por goteo por gravedad.

### **4. HIPÓTESIS**

El cambio de la condición física y química del suelo, por la incorporación de abonos orgánicos, y el uso de sistemas de riego por goteo por gravedad propicia un mejoramiento en las características agronómicas y rendimiento del brócoli *Brassica oleracea L. var. Waltham*.

## 5. MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó del 25 de octubre 2014 al 27 de febrero del 2015 en un suelo franco arcilloso arenoso del Campo Experimental del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Municipio de Texcoco, Estado de México. Está ubicado a 19° 29' LN y 98° 53' de LW a una altitud de 2240 msnm. El clima es del tipo C (Wo) (w) b (1) g' que corresponde a templado subhúmedo con lluvias en verano, con una precipitación media anual de 750 mm y una temperatura media anual de 15.5°C, cuya oscilación térmica es de 5 a 7°C (García, 2004). El material utilizado fue: composta de estiércol de caprino, estiércol de bovino y gallinaza, obtenidos de los establos del Colegio de Postgraduados Campus Montecillo. El cultivo indicador para la fase experimental fue *Brócoli cv. "Waltham"*. Las unidades experimentales establecidos fueron de 3 metros de largo por 3 metros de ancho y un metro entre parcelas para evita el efecto de traslape. Las principales características de los abonos evaluados se describen en el Cuadro 9.

### 5.1 Diseño experimental

El diseño experimental que se utilizó para la evaluación del trabajo fue factorial 3x2, con el factor abono orgánico, composta de estiércol de caprino, estiércol de bovino y gallinaza y los niveles de incorporación 2.5 y 5% en base a peso seco. Se consideraron 3 repeticiones para las características agronómicas del cultivo; se realizaron los análisis de varianza y las comparaciones de medias utilizándose el Sistema de Análisis Estadístico (SAS, versión 1998).

### 5.2 Variables Estudiadas

Las variables evaluadas durante el crecimiento de la planta fueron: materia seca de hoja (MSH), materia seca del tallo (MST), materia seca de raíz (MSR), altura planta (AP), longitud de raíz (LR), área foliar (AF) y rendimiento por planta (RP).

### **5.3 Materia seca de hoja, tallo y raíz (MSH, MST y MSR)**

Las mediciones se realizaron al final del periodo experimental por ocasión única. Para determinar la materia seca de hoja, tallo y raíz, respectivamente, se depositó en una bolsa de papel cada estructura y se colocaron en una estufa de aire forzado para su secado hasta peso constante durante 72 horas a una temperatura de 70 °C y posteriormente se pesaron en una balanza analítica (Core Balance®). El peso se expresó en miligramos (mg). Previamente la raíz fue lavada para eliminar residuos que pudieran afectar el peso.

### **5.4 Longitud de raíz (LR)**

La longitud de raíz se determinó midiendo con una regla, de la corona hasta la raíz más larga. Esta medición se realizó al final del experimento.

### **5.5 Área Foliar Total de la Planta**

Para la medición del área foliar se utilizó un Integrador de Área Foliar, Marca LI-COR, Modelo L-2000, tomándose cada una de las hojas fotosintéticamente activas. La medición se realizó en las hojas previamente separadas del foliolo, los valores obtenidos se sumaron para obtener el área foliar total de la planta en cm<sup>2</sup>.

## 6. RESULTADOS Y DISCUSIONES

A continuación se presentan los resultados correspondientes a la características agronómicas del brócoli por tipo de sistema de riego, artesanal, cintilla y armado.

Las características agronómicas del cultivo de brócoli solo fue posible determinarlas en los tratamientos con la dosis de 5 %.

En la Cuadro 15, se presentan los resultados obtenidos para las características agronómicas del cultivo de brócoli con sistema de riego por goteo por gravedad artesanal.

**Cuadro 15.** Comparación de medias para las características agronómicas del cultivo de brócoli con sistema de riego por goteo por gravedad artesanal.

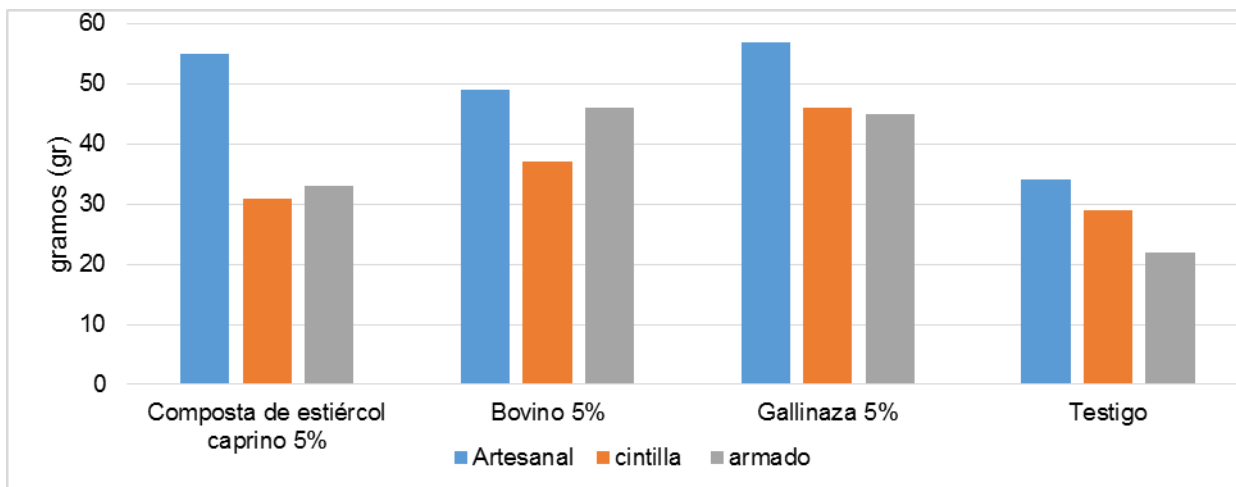
Tratamientos	Materia seca			Altura	Longitud	Área Foliar	Rend. por planta
	Hoja	Tallo	Raíz	Planta	Raíz		
	-----gr-----			-----cm-----		--cm <sup>2</sup> --	--gr--
Composta de estiércol caprino 5%	55 a	49 a	14 a	46 ab	16 a	1275 ab	118 ab
Bovino 5%	49 ab	49 a	14 a	52 a	16 a	1299 a	115 ab
Gallinaza 5%	57 a	48 a	16 a	48 a	16 a	1332 a	127 a
Testigo	34 b	36 b	12 a	41 b	16 a	1003 b	70 b

† Los valores de cada columna seguidos por la misma letra no presentan diferencias significativas (Tukey  $\alpha = 0.05$ ).

### 6.1 Materia seca de hoja (MSH)

La incorporación de abonos orgánicos incrementó la acumulación de materia seco de hoja hasta un 36.5% (Figura 24). La mayor acumulación de MSH se registró en los tratamientos gallinaza y composta de estiércol caprino 5% con 40.35 y 38.18%, comparado con el testigo bajo sistema de riego por goteo artesanal. Con el sistema de riego con cintilla, la mayor acumulación de MSH se obtuvo en el tratamiento gallinaza y bovino 5% con 36.9 y 21.6% comparado con el testigo (Cuadro 16). La adición de abonos orgánicos incrementó la MSH hasta un 46.8%, la mayor acumulación de MSH se obtuvo en el tratamiento bovino y gallinaza 5% con 52.1 y 51.1% comparado con el testigo (cuadro 17) con el riego por goteo armado. Esto concuerda con Porfirio V. L. (2014), cuya mayor acumulación de MSH fue con composta + fibra de coco con 6.64 gramos en planta de fresa. Al respecto Torres-Nava (2011) encontraron valores de MSH 148 gr/planta de brócoli en tratamiento con gallinaza 300 kg N-ha<sup>-1</sup>.

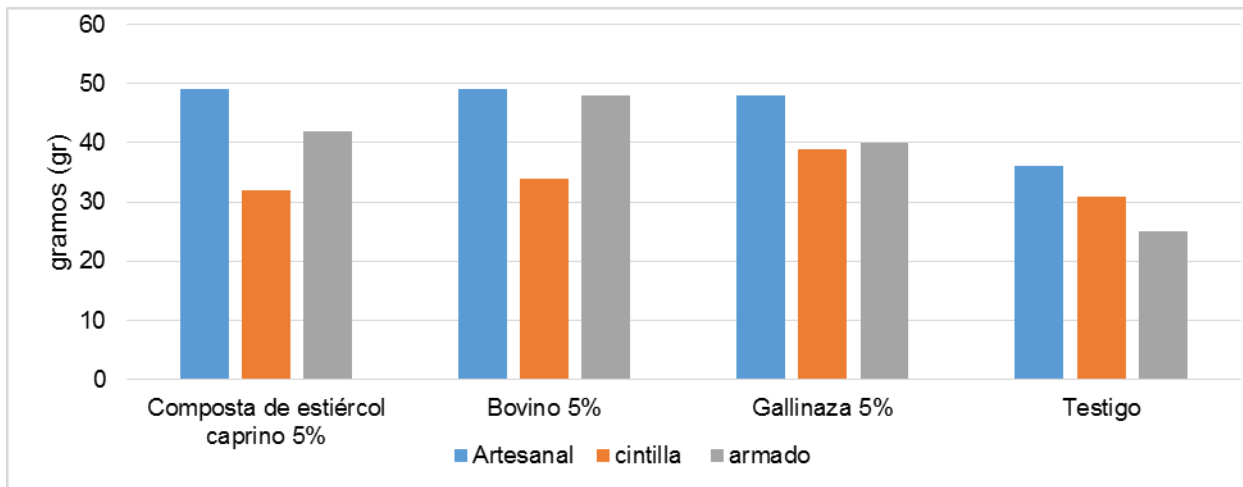




**Figura 24.** Comparación de medias de materia seca de hoja (MSH) del cultivo de brócoli con los diversos sistemas de riego por goteo por gravedad.

## 6.2 Materia seca tallo (MST)

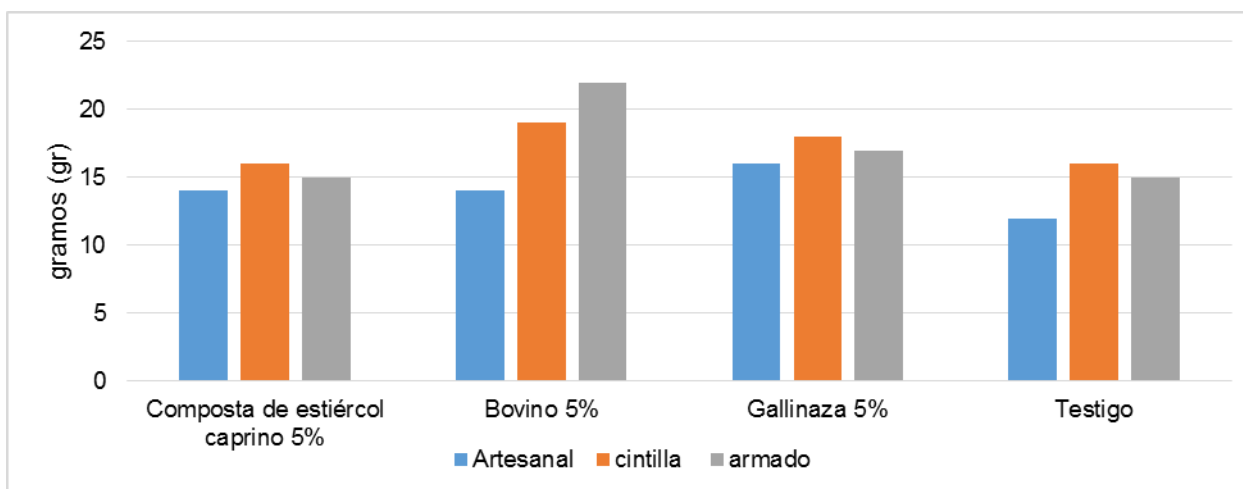
La mayor acumulación de MST se obtuvo en el tratamiento composta de estiércol caprino, bovino y gallinaza 5% con 26.5 y 25% esto comparado con el testigo (Figura 25) en riego por goteo artesanal. En el sistema de riego con cintilla, la mayor acumulación de MST se obtuvo en el tratamiento gallinaza y bovino 5% con 20.1 y 8.8% comparado con el testigo (Cuadro 16). La adición de abonos orgánicos incrementó la MST hasta un 42.3%, la mayor acumulación de MST se obtuvo en el tratamiento bovino y composta de estiércol caprino 5% con 47.9 y 40.4% comparado con el testigo (Cuadro 17) con riego por goteo armado. Esto concuerda con Torres-Nava (2011) quien encontró un incremento de MST con 9.5% en tratamiento gallinaza 300 kg N-ha<sup>-1</sup> en el cultivo de brócoli. Al respecto Ullé (2009) encontró valores de MST con 8.18% en cultivo de repollo.



**Figura 25.** Comparación de medias de materia seca de tallo (MST) del cultivo de brócoli con los diversos sistemas de riego por goteo por gravedad.

### 6.3 Materia seca de raíz (MSR)

La incorporación de abonos orgánicos incrementa la acumulación de materia seca de raíz hasta un 18.2%. La mayor acumulación de MSR se registró en los tratamientos gallinaza 5% con 25%, bovino y composta de estiércol caprino 5% con 14.2%, comparado con el testigo (Figura 26) en riego por goteo artesanal. En el riego por goteo con cintilla se obtuvo la mayor acumulación de MSR en el tratamiento gallinaza y bovino 5% con 11.1 y 15.7%, comparado con el testigo (Cuadro 16). La aplicación de abonos orgánicos incrementó la MSR hasta un 16.6% (Cuadro 17), la mayor acumulación de MSR se obtuvo en el tratamiento bovino y gallinaza 5% con 31.8 y 11.7% comparado con el testigo con riego por goteo armado. Esto concuerda con Porfirio V. L. (2014) quien encontró valores de MSR en tratamiento piedra pómez + fibra de coco con 1.70 gr/planta en cultivo de fresa. Quesada-Méndez (2005) encontraron valores de MSR en tratamiento aserrín de melina maduro + fibra de coco + ceniza con una proporción de 50-40-10 con 22 gramos, bagazo + fibra de coco + piedra pómez en proporción de 40-40-20 con 6 gramos y fibra de coco con 4 gramos en plantas de brócoli.



**Figura 26.** Comparación de medias de materia seca de raíz (MSR) del cultivo de brócoli con los diversos sistemas de riego por goteo por gravedad.

En la Cuadro 16, se presentan los resultados obtenidos para las variables agronómicas del cultivo de brócoli con sistema de riego por goteo por gravedad con cintilla.

**Cuadro 16.** Comparación de medias para las características agronómicas del cultivo de brócoli con sistema de riego por goteo por gravedad con cintilla.

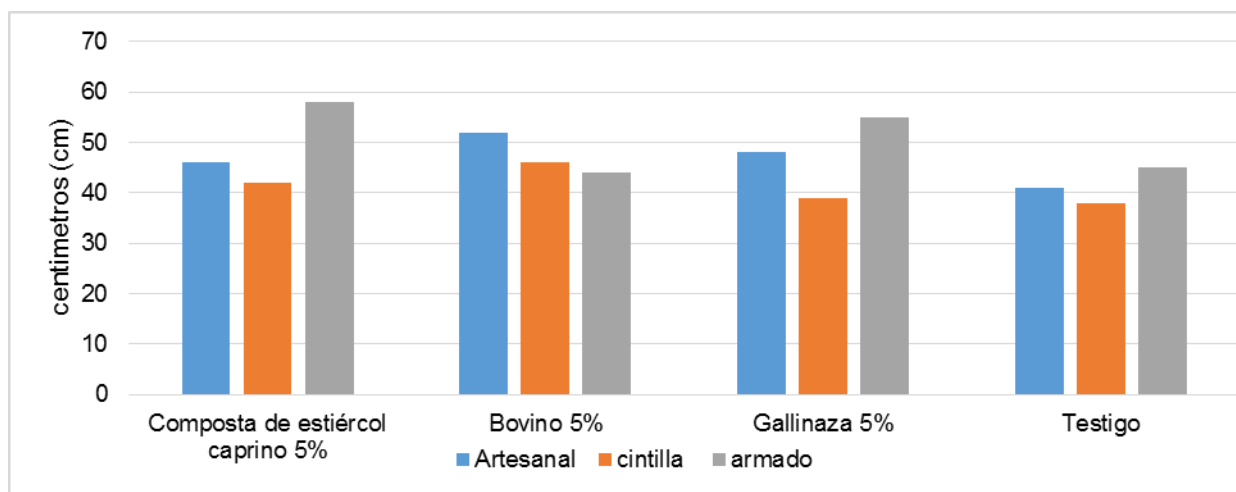
Tratamientos	Materia seca			Altura	Longitud	Área	Rend. por
	Hoja	Tallo	Raíz	Planta	Raíz	Foliar	planta
	-----gr-----			----cm-----		--cm <sup>2</sup> --	--gr--
Composta de estiércol caprino 5%	31 b	32 b	16 a	42 ab	16 a	1298 ab	126 ab
Bovino 5%	37 ab	34 ab	19 a	46 a	17 a	1371 a	132 a
Gallinaza 5%	46 a	39 a	18 a	39 b	17 a	1262 ab	129 a
Testigo	29 b	31 b	16 a	38 b	14 a	1019 b	97 b

† Los valores de cada columna seguidos por la misma letra no presentan diferencias significativas (Tukey  $\alpha = 0.05$ ).

#### 6.4 Altura planta (AP)

La incorporación de abonos orgánicos incrementa la altura de la planta hasta un 15.6%. La mayor altura de planta se registró en los tratamientos bovino, gallinaza y composta de estiércol caprino 5% con 52, 48 y 46 cm respectivamente, comparado con el testigo (Figura 27). En el sistema de riego por goteo cintilla el tratamiento bovino y composta de estiércol caprino 5% con 46 y 42 cm de altura, comparado con el testigo (Cuadro 16). Mientras que en riego por goteo armado el tratamiento composta de estiércol caprino y gallinaza 5% con 58 y 55 cm de altura de planta,

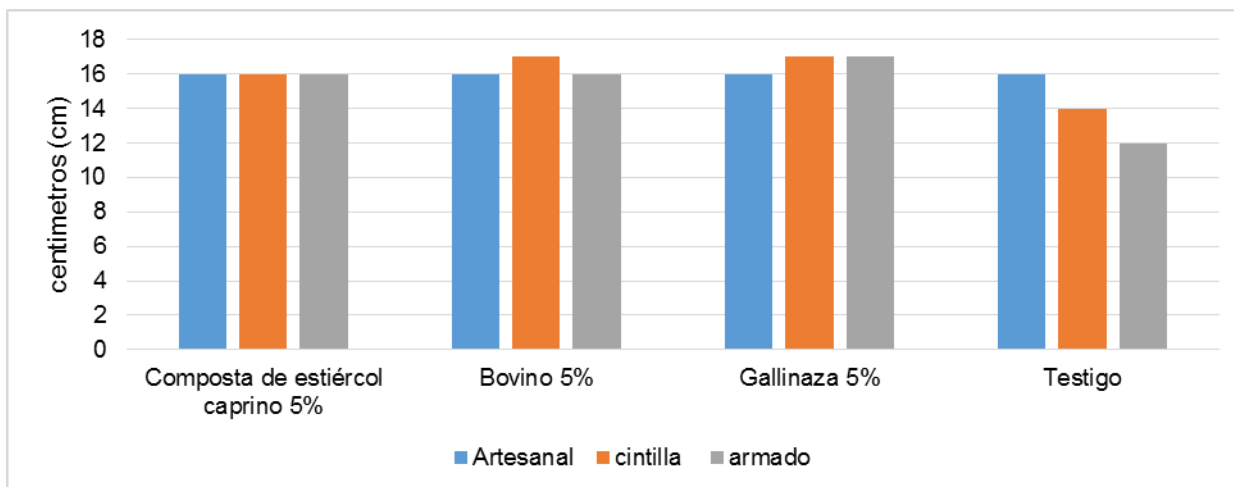
comparado con el testigo (Cuadro 17). Esto concuerda con Torres-Saavedra (2013) encontró valores de AP en tratamiento gallinaza 30, 45 y 60 t ha<sup>-1</sup> con 48.38, 46.92 y 37.60 cm en el cultivo de brócoli. Al respecto Montero-Yáñez (2013) obtuvo un incremento en AP en tratamiento 100% humus de lombriz con 36.87 cm en plantas de brócoli. Al respecto Pantoja-Gordón (2014), encontró valores de AP en tratamiento gallinaza 80.80, 73.57 y 77.83 cm, bovinaza 77.97, 73.49 y 76.72 cm y cuinaza 79.53, 77.87 y 75.42 cm en plantas de brócoli.



**Figura 27.** Comparación de medias de altura de planta (AP) del cultivo de brócoli con los diversos sistemas de riego por goteo por gravedad.

### 6.5 Longitud raíz (LR)

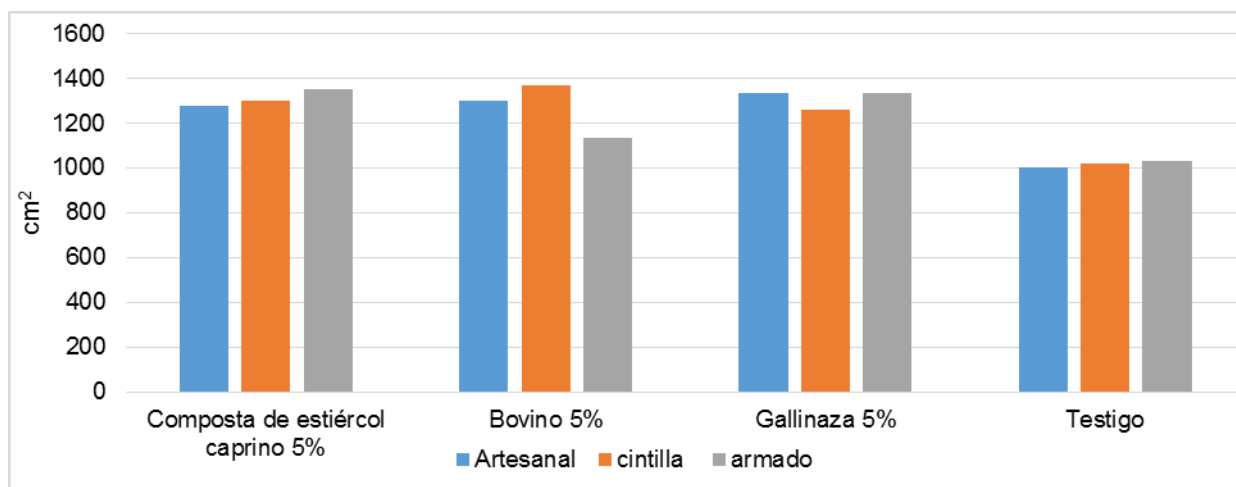
En la variable LR estadísticamente no hubo diferencias significativas por efecto de tratamientos (Cuadro 15). En todos los tratamientos se obtuvo en promedio 16 cm de longitud de raíz (Figura 28) en riego por goteo artesanal. En el riego por goteo con cintilla el tratamiento bovino y gallinaza 5% registraron en promedio 17 cm de LR que estadísticamente fueron iguales (Cuadro 16). Mientras que en el riego por goteo armado el tratamiento gallinaza, bovino y composta de estiércol caprino 5% se obtuvieron valores de 17 y 16 cm de LR (Cuadro 17). Torres-Saavedra (2013) encontró valores de LR en tratamiento gallinaza 30, 45 y 60 t ha<sup>-1</sup> de 21.39, 22.12 y 20.11 cm en el cultivo de brócoli. Al respecto Porfirio V. L. (2014), encontró mayor LR en tratamiento piedra pómez + fibra de coco con 33.77 cm en planta de fresa.



**Figura 28.** Comparación de medias de longitud raíz (LR) del cultivo de brócoli con los diversos sistemas de riego por goteo por gravedad.

## 6.6 Área foliar (cm<sup>2</sup>)

La mayor área foliar se registraron en los tratamiento gallinaza y bovino 5% con 1332 y 1299 cm<sup>2</sup>, comparado con el testigo en el sistema de riego por goteo artesanal (Figura 29). Bajo el sistema de riego por goteo cintilla el tratamiento bovino y composta de estiércol caprino 5% presento mayor área foliar con 1371 y 1298 cm<sup>2</sup> comparado con el testigo (Cuadro 16). La mayor área foliar en el sistema de riego por goteo armado se registró en el tratamiento gallinaza y composta de estiércol caprino 5% con 1334 y 1354 cm<sup>2</sup> comparado con el testigo (Cuadro 17). Al respecto Torres-Saavedra (2013) encontró valores de AF en tratamiento gallinaza 30, 45 y 60 t ha<sup>-1</sup> con 84.72, 91.90 y 68.02 cm<sup>2</sup> en cultivo de brócoli. Porfirio V. L. (2014) encontró valores de AF en tratamiento composta, composta + fibra de coco, composta + tezontle negro y composta + piedra pómez con 1511.55, 1399.82, 1138.63 y 1360.14 cm<sup>2</sup> en plantas de fresa. Quezada-Méndez (2005) encontraron valores de AF en tratamiento aserrín de melina maduro + fibra de coco + ceniza en dosis 50-40-10 con 79.82 cm<sup>2</sup>, bagazo + fibra de coco + piedra pómez en proporción 40-40-20 con 55.65 cm<sup>2</sup> y fibra de coco con 52.63 cm<sup>2</sup> en plantas de brócoli.



**Figura 29.** Comparación de medias de área foliar del cultivo de brócoli con los diversos sistemas de riego por goteo por gravedad.

En la Cuadro 17, se presentan los resultados obtenidos para las características agronómicas del cultivo de brócoli con sistema de riego por goteo por gravedad armado.

**Cuadro 17.** Comparación de medias para las características agronómicas del cultivo de brócoli con sistema de riego por goteo por gravedad armado.

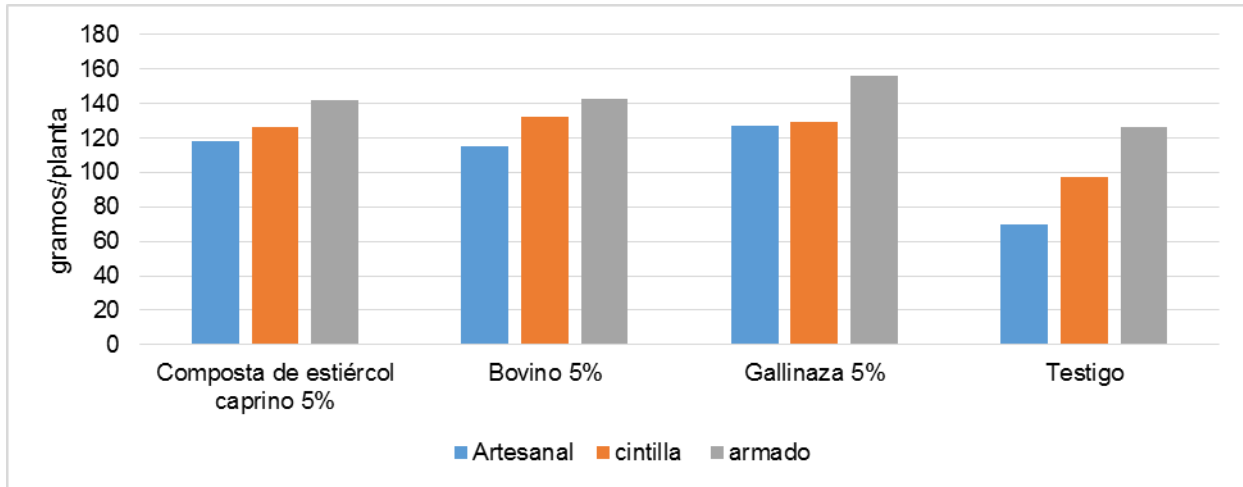
Tratamientos	Materia seca			Altura	Longitud	Área foliar	Rend. por planta
	Hoja	Tallo	Raíz	Planta	Raíz		
	-----gr-----			-----cm-----		--cm <sup>2</sup> --	--gr--
Composta de estiércol caprino 5%	33 ab	42 ab	15 a	58 a	16 a	1353 a	142 ab
Bovino 5%	46 a	48 a	22 a	44 b	16 a	1134 b	143 ab
Gallinaza 5%	45 a	40 ab	17 a	55 a	17 a	1334 a	156 a
Testigo	22 b	25 b	15 a	45 b	12 a	1034 c	126 b

† Los valores de cada columna seguidos por la misma letra no presentan diferencias significativas (Tukey  $\alpha = 0.05$ ).

## 6.7 Rendimiento por planta (RP)

El rendimiento por planta para los diferentes tratamientos gallinaza, composta de estiércol caprino y bovino 5% con 127, 118 y 115 gr/planta comparado con el testigo bajo riego por goteo artesanal (Figura 30). En riego por goteo cintilla se encontró un incremento del 11.15% comparado con el sistema de riego artesanal, el mayor RP se encontró tratamiento bovino, composta de estiércol caprino y gallinaza 5% con 132, 126 y 129 gr/planta comparado con el testigo. En el sistema de riego por goteo armado se presentó un incremento de 14.6% comparado con el riego cintilla. El

mayor RP se obtuvo en el tratamiento gallinaza, bovino y composta de estiércol caprino 5% con 156, 143, y 142 gr/planta. Esto concuerda con Torres-Saavedra (2013) quien encontró incremento en rendimiento por planta en el tratamiento gallinaza 30, 45 y 60 t ha<sup>-1</sup> con 340.83, 357.50 y 265.00 gr/planta respectivamente en cultivo de brócoli. Al respecto Pantoja-Gordón (2014), encontró valores de RP en tratamiento gallinaza de 1390, 1070 y 1380 gr/planta, bovinaza 1210, 1410 y 1120 gr/planta y cuinaza 1390, 1420 y 1510 gr/planta en el cultivo de brócoli.



**Figura 30.** Comparación de medias de rendimiento del cultivo de brócoli con los diversos sistemas de riego por goteo por gravedad.

## **7 CONCLUSIÓN**

El efecto de los abonos orgánicos en las características agronómicas el sistema de riego por goteo armado mostro mejor respuesta de la planta obteniendo el mayor rendimiento por planta y área foliar en el tratamiento gallinaza 5%, comparado con el sistema de riego artesanal y cintilla. Esto puede ser atribuido que el sistema de riego por goteo armado se obtuvo el mejor coeficiente de uniformidad de riego. La respuesta de los abonos orgánicos en la aplicación al cultivo de brócoli es muy beneficiosa siendo así que se generan buenos resultados en cada una de las variables fue superior que el tratamiento testigo. Finalmente se demuestra que con la aplicación de abonos orgánico en el cultivo de brócoli particularmente con gallinaza se evidenció un adecuado comportamiento agronómico de la planta.



## 8. BIBLIOGRAFÍA

- Albrecht, B. 2001. Agricultura Orgánica Fundamentos para la Región Andina, Neckar-Verlag, Villingen. P.205, 222, 232.
- Alvarado, D. 2007. Brócoli ecuatoriano nadie lo detiene en el mercado mundial por su calidad.
- Araji, A. A., Abdo Z. O., Joyce P. 2001. Efficient use of animal manure on cropland – economic analysis. *Bioresource Technology*. 79(2)179-191.
- Arias, A., 2007, “Suelos tropicales”, 1era. Edición, Editorial Universidad Estatal, San José, Costa Rica, pp. 82-95.
- Arredondo V., C. 1996. Aplicación de estiércol bovino como complemento a la fertilización química del maíz de temporal. p. 194. *In: Memorias del XXVII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo*. Cd. Obregón, Sonora, México.
- Carrillo Riofrio F. M. 2010. Evaluación de la eficacia de seis mezclas de fertilizantes inorgánicos en el rendimiento del cultivo de brócoli (*Brassica oleracea* Var. *Itálica*). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba Ecuador. 77 p.
- Cassola, I.A; Peralta, J.G: “Desarrollo del Mercado de Cultivos Orgánicos en el Ecuador con la producción del brócoli” (Proyecto de Grado, Instituto de Ciencias Humanísticas y Económicas, ESPOL) 2000.
- Cerdas, M. 2002. Guía técnica poscosecha. Calidad en los productos hortofrutícolas. San José, CR. Dirección de calidad agrícola.
- Chaney, D.E., Drinkwater, L.E. and Pettygrove, G.S. 1992. Organic soil amendments and fertilizers. University of California, Division of Agriculture and Natural Resources. Publication 21505. 36 p.
- Cuaspa, S. y Mage, N. 1994. Evaluación de cuatro materiales de brócoli (*Brassica oleracea* var *Italia* L) en diferentes agroecosistemas del municipio de Pasto. Tesis de grado Ingeniero Agrónomo, Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Nariño, Pasto. 96 p.
- Cuatin, A. y Lucero, E. 1998. Evaluación de diferentes densidades de población en brócoli (*Brassica oleracea* var *Italica* L Híbrido Legacy) en el altiplano de Pasto. Tesis de grado Ingeniero Agrónomo, Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Nariño, Pasto. 110 p.
- Domínguez, 1982, “Abonado de hortalizas de hoja, tallo, bulbo y raíz”, Hojas Divulgadoras-MARM, 8 (1), 4.

- FAO. 1994. ECOCROP 1. The adaptability level of the FAO crop environmental requirements database. Versión 1.0. AGLS. United Nations Food and Agriculture Organization.
- Francescángeli, N., Martí, H. y Stoppani M., 2003, “Evaluación de cultivares y fechas de siembra: Producción de Brócoli en Invernadero”, Revista de información sobre Investigación y Desarrollo Agropecuario, 4 (1), 68.
- Friend, D.J.C. 1985. *Brassica*. In: CRC Handbook of flowering. Volume II (Abraham H. Halevy Ed.). CRC Press, Inc., Boca Raton, Florida, USA. pp. 48-77.
- Frutos-Pinto J.V. 2015. Efecto de la utilización del mulch natural, maíz (*zea mays l.*), caña de azúcar (*Saccharum officinarum l.*), vicia (*Vicia sativa l.*), y avena (*Avena sativa l.*) sobre la producción del brócoli (*Brassica oleracea l.*). Tesis Ingeniería Agronomica. Universidad Técnica de Ambato Facultad de Ciencias Agropecuarias. Ambato, Ecuador. 101 p.
- García, E. 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köeppen 2a Ed. Instituto de Geografía. UNAM. México. D.F. pp: 33:40.
- Garibay Salvador V. La investigación en la agricultura orgánica y su importancia. I Encuentro mesoamericano y del caribe y III Encuentro costarricense de agricultores experimentadores e investigadores en producción orgánica 25 al 27 de agosto de 2003 - Alajuela, Costa Rica.
- Gómez, C. M. A.; Schwentesius, R. R.; Ortigoza, R. J. y Gómez, T. L. 2010. Agricultura, apicultura y ganadería orgánica 2009. UACH-CONACYT. 112 p.
- Gómez-Córdova R. C. 2007. Respuesta de la coliflor (*Brassica oleracea, var.botritis*) a la aplicación de tres fuentes y cuatro niveles de abonos orgánicos en Quiroga – Imbabura. Tesis Ingeniera Agropecuaria. Universidad Técnica del Norte, Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales, Escuela de Ingeniería Agropecuaria. Ibarra-Ecuador. 132 p.
- Gross A. (1986), “Abonos” guía práctica de la fertilización, Edición Mundi Prensa. Madrid España, 560 Pág.
- Krarup, CH. 1992. Seminario sobre la producción de brócoli. Quito EC.PROEXANT.
- Manosalvas Arias R. X. 2012. Determinación de la efectividad de “biol biogest potencializado”, como fuente nutricional complementaria en el cultivo de brócoli (*Brassica oleracea*) en la provincia de Cotopaxi. Tesis de Licenciatura. Escuela Politecnica Nacional, Facultad de Ingeniería Química y Agroindustria. 113 p.
- Meléndez G. y Soto G., Taller, Abonos Orgánicos/CATIE/GTZ/UCR/CANIAN. 3 y 4 de marzo, 2003.

- Montero Yáñez I.N. 2013. Comportamiento agronómico de cinco hortalizas de hojas con tres abonos orgánicos en el centro experimental “la playita”, de la universidad técnica de cotopaxi - la maná. Tesis Ingeniería Agropecuario. Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Quevedo, Ecuador. 99 p.
- Mora X., Valverde F., Parra R., Cartagena Y., Alvarado S., y Jaramillo R. 2010. Respuesta del cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) variedad INAP-Estala a la aplicación de vinaza y riego por goteo. XII congreso Ecuatoriano de la ciencia del suelo. Santo Domingo. 1-13.
- Nelson, E.; Schwentesius, R. R.; Gómez, T. L. y Gómez, C. M. A. 2008. Participatory organic certification in Mexico: an alternative approach to maintaining the integrity of the organic label”. *Agriculture and Human Values*. 36:123-134.
- Padilla, W. 2000. Fisiología, estudios de extracción de nutrientes y fertirrigación en el cultivo de Brassicaceae (brócoli y romanesco). Quito, Ecuador. Primer Seminario Internacional de Brassicaceae. Fundación Ecuatoriana de Tecnología Apropiaada (FEDETA) 70p.
- Pantoja Gordón R.F. 2014. Evaluación de diferentes dosis de abonos orgánicos de origen animal en el comportamiento agronómico, del cultivo de brócoli en la zona de Huaca, Provincia del Carchi. Tesis de ingeniero agrónomo. Universidad Técnica de Babahoyo Facultad de Ciencias Agropecuarias Escuela de Ingeniería Agronómica. El Ángel, Ecuador. 85 p.
- Porfirio-Victoriano L. 2014. Relaciones hídricas y mineralización de la fracción orgánica en sustratos con base en cachaza. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillos. Edo. de México.132 p.
- Quesada Roldán G., y Méndez Soto C. 2005. Evaluación de sustratos para almácigos de hortalizas. *Agronomía MESOAMERICANA* 16(2): 171-183.
- Ramírez, G.M. 2009. Efecto de la fertilización orgánica y combinada en el rendimiento de brócoli (*Brassica oleracea* L. var. *italica*) y coliflor (*Brassica oleracea* L. var. *botrytis*), y características del suelo. Tesis de Maestro en Fitomejoramiento. Universidad Autónoma del Estado de México, Facultad de Ciencias Agrícolas. El Cerrillo Piedras Blancas, Toluca, México. 57 p.
- Rufino, M.C., Tittonell P., Wijk van M.T., Castellanos-Navarrete A., Dolve R.J., Ridder de N., Giller K.E. 2007. Manure as a key resource within smallholder farming systems: Analysing farm-scale nutrient cycling efficiencies with the NUANCES framework. *Livestock Science* 112. 273–287.
- Ruiz C., Russián T., y Tua D. 2007. Efecto de la fertilización orgánica en el cultivo de la cebolla. *Agronomía Trop.* v.57 n.1 Maracay. 1-10.

- SAS Institute. 1988. SAS/STAT user's guide. Version 6.03 ed. SAS Inst., Cary, NC.
- SIAP. 2014. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), con información de los estados productores de brócoli en México. Disponible en: [http://reportes.siap.gob.mx/agricola\\_siap/icultivo/index.jsp](http://reportes.siap.gob.mx/agricola_siap/icultivo/index.jsp). Revisado en diciembre 2015.
- Schroder, Jaap. 2005. Revisiting the agronomic benefits of manure: a correct assessment and exploitation of its fertilizer value spares the environment. *Bioresource Technology* 96 253–261.
- Smil, V. 1999. Nitrogen in crop production: An account of global flows. *Glob. Biogeochem. Cyc.* 13: 647–662.
- Suquilanda, M. 1996. Agricultura Orgánica Alternativa del Futuro Ediciones UPS FUNDAGRO Quito, Ecuador p 105,194-195,172.
- Torres Saavedra L.A. 2013. Fertilización orgánica mineral en el cultivo de *Brassica oleraceae var. itálica* plenck brócoli zungarococha - distrito san juan bautista. Tesis ingeniero agrónomo. Universidad nacional de la Amazonía peruana Facultad de agronomía. iquitos, peru. 71 p.
- Torres-Nava D. 2011. Caracterización del sistema de producción de brócoli y efecto de la fertilización órgano-mineral en la dinámica del nitrógeno. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillos. Edo. de México.148 p.
- Ullé Jorge A. 2009. Evaluación del crecimiento, de plantines de hortalizas de hojas con diferentes edades, en sustratos orgánicos. Desarrollo y difusión de tecnología para la producción ecológica. Informe técnico 2009 del centro regional Buenos Aires Norte. Buenos Aires. 263 p.
- Vázquez-Vazquez C., García-Hernández J.L., Salazar-Sosa E., López-Martínez J.D., Valdez-Cepeda R.D., Orona-Castillo I., Gallegos-Robles M.A. y Preciado-Rangel P. Aplicación de estiércol solarizado al suelo y la producción de chile jalapeño (*Capsicum annuum* L.). *Revista Chapingo Serie Horticultura* 17(Especial 1): 69-74, 2011.
- Willer, H. and Kilcher, L. 2010. The world of organic agriculture. Statistics and Emerging Trends 2010. IFOAM, FiBL, ITC. Suiza. 239 p.
- Zamora-Vaca F.V. 2014. E valuación del efecto a la aplicación de ácidos húmicos y fúlvicos en el cultivo de brócoli (*Brassica oleracea* var. itálica). Tesis de Ingeniero Agronomo. Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Carrera de Ingeniería Agronómica. Ambato, Ecuador. 83 p.