



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCION DE ENSEÑANZA E INVESTIGACION EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO DE EDAFOLOGIA

EFFECTO DE LA ADICIÓN DE COMPOST DE BAGAZO DE AGAVE EN LA TASA DE ABSORCIÓN DEL NITRÓGENO Y SU IMPACTO EN EL ALMACENAMIENTO DE AGUA EN SUELOS AGRÍCOLAS

JOSÉ CONCEPCIÓN GARCÍA PRECIADO

T E S I S
PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRÍA EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MEXICO

2015

La presente tesis titulada: **Efecto de la adición de compost de bagazo de agave en la tasa de absorción del nitrógeno y su impacto en el almacenamiento de agua en suelos agrícolas**, realizada por el alumno: **José Concepción García Preciado**, 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
EDAFOLOGIA

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO



ARTURO GALVIS SPINOLA

ASESOR



TERESA MARCELA HERNÁNDEZ MENDOZA

ASESOR



MARIANGUÁDALUPE HERNÁNDEZ ARENAS

Montecillo, Texcoco, Estado de México, Noviembre de 2015

EFFECTO DE LA ADICIÓN DE COMPOST DE BAGAZO DE AGAVE EN LA TASA DE ABSORCIÓN DEL NITRÓGENO Y SU IMPACTO EN EL ALMACENAMIENTO DE AGUA EN SUELOS AGRÍCOLAS

José Concepción García Preciado M. en C.

Colegio de Posgraduados, 2015

RESUMEN

Los subproductos generados por la agroindustria mexicana pueden ser una fuente de contaminación cuando no se dispone de ellos de manera apropiada. Una alternativa para su reutilización es el compostaje, proceso por el cual, se reincorporan en los campos agrícolas con la idea de mejorar las condiciones edáficas. Por tal razón, en el presente estudio se determinó el efecto del compost de bagazo de agave (C_{BA}) sobre el contenido de humedad y nitrógeno en el suelo, usando como cultivo de referencia el pasto raigrás (*Lolium perenne*). Los tratamientos consistieron en mezclar el C_{BA} a diferentes dosis (0 t ha^{-1} , 5.3 t ha^{-1} , 17.6 t ha^{-1} , 26.4 t ha^{-1} y 43.9 t ha^{-1}) en tres suelos de uso agrícola con diferente proporción de arcilla/arena (0.7, 1.3 y 4.0) con tres repeticiones cada uno, distribuidos en un invernadero bajo un diseño completamente al azar. Con la adición del C_{BA} no hubo diferencias en la cantidad de humedad del suelo respecto a los testigos; sin embargo, en la disponibilidad del nitrógeno y la producción de biomasa aérea se observaron cambios significativos de manera directa y positiva. De igual manera se comprobó que la temperatura ambiental influyó sobre el rendimiento del raigrás.

Palabras clave: Compost, bagazo de agave, humedad, nitrógeno, raigrás.

EFFECT OF ADDING COMPOST AGAVE BAGASSE ABSORPTION RATE NITROGEN AND ITS IMPACT ON WATER STORAGE IN AGRICULTURAL SOILS

José Concepción García Preciado M. en C.

Colegio de Posgraduados, 2015

ABSTRACT

Products generated by mexican agribusiness can be a source of contamination when not available them appropriately. An alternative for reuse is the composting process by which returning in the fields with the idea of improving soil conditions. For this reason, in this study the effect of agave bagasse compost (CBA) on the moisture content and soil nitrogen was determined using as reference crop grass raigrás (*Lolium perenne*). Treatments consisted of mixing the CBA at different doses (0 t ha⁻¹, 5.3 t ha⁻¹, 17.6 t ha⁻¹, 26.4 t ha⁻¹ and 43.9 t ha⁻¹) in three soils for agricultural use with different proportions clay / sand (0.7, 1.3 and 4.0) with three repetitions each, distributed in a greenhouse under a completely randomized design. With the addition of the CBA there was no difference in the amount of soil moisture compared to the controls; however, the availability of nitrogen and biomass production itself significant changes will directly and positively observed. Similarly it was found that ambient temperature influenced raigrás performance.

Key words: Compost, agave bagasse, moisture, nitrogen, raigrás

DEDICATORIA

A mis padres, por sus enseñanzas y valores inculcados, que son para toda la vida.

A mis abuelas Tila y María, que se fueron de este mundo durante mi estancia en la maestría.

AGRADECIMIENTOS

El autor deja constancia de su agradecimiento a todas las personas que compartieron sus conocimientos, enseñanzas y su apoyo brindado para la realización de esta investigación, pero de manera espacial:

Al Colegio de Posgraduados (CP), institución de excelencia académica, que me otorgó herramientas para desenvolverme profesionalmente.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por haberme otorgado el apoyo necesario para realizar mi estancia de maestría sin complicaciones económicas.

Al Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), por ofrecerme la oportunidad de prepararme a nivel maestría.

Al Dr. Arturo Galvis Spinola, por ser mi consejero, por compartirme experiencias, aportes científicos, por guiarme de manera oportuna y correcta en esta fabulosa experiencia.

A la Dra. Teresa Marcela Hernández Mendoza por ser mi asesora, por facilitarme procesos para la ejecución del trabajo de campo y por resolver mis dudas de manera clara y prudente.

A la Dra. Marianguadalupe Hernández Arenas por ser mi asesora, apoyarme con sus aportes científicos y técnicos para la realización de esta investigación.

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA	2
2.1. Efecto de la arcilla y de los materiales orgánicos en la humedad de los suelos agrícolas	2
2.1.1. El contenido de arcilla y su efecto en la humedad de los suelos agrícolas	2
2.1.2. Efecto de la aplicación de compost y materiales orgánicos sobre la humedad en los suelos.....	3
2.1.3. Efecto de la humedad sobre la cantidad de riegos al suelo	6
2.2. El contenido de arcilla, y la aplicación de abonos orgánicos sobre la disponibilidad del nitrógeno en los suelos	6
2.2.1. Efecto de la humedad del suelo en la disponibilidad del nitrógeno.....	7
2.3. Efecto de la arcilla, la adición de compost y abonos orgánicos sobre los rendimientos de los cultivos	9
2.3.1. Impacto del contenido de nitrógeno y la humedad generada en suelos agrícolas, con la adición de compost y abonos orgánicos sobre los rendimientos de los cultivos	10
3. OBJETIVOS E HIPÓTESIS	13
3.1. Objetivo.....	13
3.2. Hipótesis.....	13
4. MATERIALES Y MÉTODOS	14
4.1. Instalación del experimento	14
4.2. Manejo del experimento	21
4.3. Variables evaluadas	26
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	33
5.1. Efecto del compost de bagazo de agave y del índice arcilla/arena en la humedad de los suelos	34
5.1.1. Efecto del índice arcilla/arena en la humedad de los suelos	34
5.1.2. Efecto de la adición de compost de bagazo de agave (C_{BA}) en la humedad de los tratamientos durante cinco ciclos del cultivo.....	35
5.1.3. Efecto de la humedad del suelo en los riegos	44
5.1.4. Efecto de la adición de compost bagazo de agave en la temperatura de los suelos	

5.2. Efecto de la aplicación del compost de bagazo de agave sobre el contenido de nitrógeno en la biomasa aérea del <i>L. perenne</i>	50
5.2.1. Efecto del índice arcilla/arena del suelo en la cantidad de nitrógeno de la biomasa aérea	50
5.2.2. Efecto de la adición de compost de bagazo de agave en el contenido de nitrógeno de la biomasa aérea	51
6.2.3. Efecto de la humedad en el contenido de nitrógeno de la biomasa aérea del pasto	53
5.3. Efecto del índice arcilla/arena y del compost de bagazo de agave en el rendimiento y la producción de biomasa	56
5.3.1. El efecto de la arcilla en los rendimientos en peso fresco de pasto <i>L. perenne</i>	56
5.3.2. Efecto de la relación arcilla/arena y adición de compost de bagazo de agave sobre el rendimiento	57
5.3.3. Rendimiento en peso fresco.....	59
5.3.4. Rendimiento en peso seco	62
5.3.5. Efecto de la adición de compost en altura de la planta.....	65
5.3.6. Efecto de la adición de compost en la población de plantas por metro cuadrado.	67
5.4. Efecto del contenido de humedad en el rendimiento en peso fresco	68
5.5. Efecto del nitrógeno sobre la producción de materia seca	71
5.6. Comportamiento del rendimiento en peso fresco respecto a las unidades calor (UC)	73
6. CONCLUSIONES	76
7. LITERATURA CITADA	77
8. ANEXOS	85
8.3. Programación SAS	89

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Obtención de los tratamientos de acuerdo a la cantidad de nitrógeno total (N), derivado del análisis del compost.....	16
Cuadro 2. Tratamientos de acuerdo a la cantidad de compost de bagazo de agave. ..	17
Cuadro 3. Características físicas y químicas de suelos, tratamientos y compost de bagazo de agave.....	33
Cuadro 4. Efecto de la adición de compost de bagazo de agave en la humedad de los suelos evaluados a los 81 días después de la siembra (DDS) ($\alpha=0.05$).	36
Cuadro 5. Efecto de la adición de compost de bagazo de agave en la humedad de los suelos evaluados a los 117 DDS ($\alpha=0.05$).	37
Cuadro 6. Efecto de la adición de compost de bagazo de agave en la humedad de los suelos evaluados a los 148 DDS ($\alpha=0.05$).	38
Cuadro 7. Efecto de la adición de compost de bagazo de agave en la humedad de los suelos evaluados a los 170 DDS ($\alpha=0.05$).	39
Cuadro 8. Efecto de la adición de compost de bagazo de agave en la humedad de los suelos evaluados a los 195 DDS ($\alpha=0.05$).	40
Cuadro 9. Efecto de la adición de compost de bagazo de agave en la humedad de los suelos, durante 195 días de evaluación ($\alpha=0.05$).	41
Cuadro 10. Efecto de la humedad del suelo (x) en los riegos (y) durante 195 días..	45
Cuadro 11. Variación de la temperatura del suelo (y) como consecuencia de la adición del C _{BA} (x). El lapso considerado fue de 195 días en cada tipo de suelo estudiado.	49
Cuadro 12. Efecto del compost de bagazo de agave en el contenido de nitrógeno del tejido vegetal aéreo del pasto, durante 195 días de evaluación ($\alpha=0.05$). ...	52
Cuadro 13. Efecto de la humedad (x) en el contenido de nitrógeno de la biomasa aérea (y) del pasto durante 195 días.....	55
Cuadro 14. Efecto que obtuvo la adición del compost de bagazo de agave sobre el rendimiento en peso fresco del pasto durante 195 días de evaluación ($\alpha=0.05$).	58

Cuadro 15.	Variación del rendimiento en peso fresco del pasto (y) por la adición de compost de bagazo de agave, en un lapso de 195 días (x).	61
Cuadro 16.	Variación del rendimiento en peso seco del pasto <i>L. perenne</i> (y) en un lapso de 195 días (x).	64
Cuadro 17.	Efecto de la adición del C _{BA} en la altura de <i>L. perenne</i> durante 195 días, en los suelos y tratamientos evaluados ($\alpha=0.05$).	65
Cuadro 18.	Efecto de la adición del compost de bagazo de agave en la población de plantas (m ²) durante 195 días ($\alpha=0.05$).	67
Cuadro 19.	Rendimiento de la biomasa área fresca de pasto <i>Lolium</i> (y), respecto al contenido de humedad (x), durante el periodo de evaluación.	70
Cuadro 20.	Efecto de la adsorción del nitrógeno en la biomasa aérea (x) sobre la producción de biomasa seca de pasto <i>Lolium perenne</i> (y).	72
Cuadro 21.	Efecto de las unidades calor (x) sobre la producción de biomasa seca de pasto <i>L. perenne</i> (y)	75

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Variables que son modificadas positivamente por la aplicación de compost al suelo (figura elaborada con base en diversas fuentes).	4
Figura 2. Dos de los sitios seleccionados para la extracción de las muestras de suelo de acuerdo al levantamiento de García (2005).	14
Figura 3. Procedimiento de secado, fragmentación, tamizado y homogenización de las muestras de suelos seleccionadas para la investigación.	15
Figura 4. Compost elaborado de bagazo de agave para la producción de Tequila.	16
Figura 5. Proceso de pesado de los suelos, compost y sulfato de amonio para la obtención de los tratamientos.	17
Figura 6. Revolvedora manual que se construyó para homogeneizar cada uno de los tratamientos de la presente investigación.	18
Figura 7. Demostración del suelo homogenizado junto con el compost de bagazo de agave.	19
Figura 8. Proceso de llenado de bolsas y distribución de los tratamientos.	20
Figura 9. Proceso de siembra del pasto <i>L. perenne</i> en las unidades experimentales (tratamientos).	22
Figura 10. Riego por aspersión (realizado antes de la germinación en todos los tratamientos).	23
Figura 11. Proceso de los riegos con una jeringa de 100 mL, en los tratamientos.	24
Figura 12. Riego con instrumento graduado para llevar el control de cuánta agua se aplica.	24
Figura 13. Colocación de trampas amarillas para combatir mosca blanca.	25
Figura 14. Daño en hojas de pasto raigrás (<i>L. perenne</i>) por pulgón.	26
Figura 15. Proceso de cosecha del pasto <i>L. perenne</i>	28
Figura 16. Proceso de cosecha del pasto, para la determinación de los rendimientos.	28
Figura 17. Cuadrícula utilizada para el conteo de la población a los 29 días después de la siembra.	29
Figura 18. Muestra de la toma de información de la humedad volumétrica y temperatura en los tratamientos.	30

Figura 19. Proceso de molienda del pasto seco para la determinación del nitrógeno en el tejido vegetal.	31
Figura 20. Efecto del índice arcilla/arena en la humedad de los diferentes suelos evaluados ($\alpha=0.05$).	35
Figura 21. Comportamiento de la humedad (y) respecto a la dosis de compost de bagazo de agave (x) durante el periodo de evaluación ($\alpha=0.05$).	42
Figura 22. Comparativo de humedad acumulada por tratamientos y tipo de suelo durante 195 días de evaluación (T1= suelo, T2= 5.3 t ha ⁻¹ de compost, T3= 17.5 t ha ⁻¹ de compost, T4= 26.4 t ha ⁻¹ de compost, T5= 43.9 t ha ⁻¹ de compost y T6= 200 kg ha ⁻¹ de sulfato de amonio).....	43
Figura 23. Comportamiento de la humedad acumulada (m ³ /m ³) respecto al riego acumulado (mL), en suelo con índice arcilla/arena de 4.0, durante 195 DDS, en el tratamiento seis (T6).....	44
Figura 24. Riego acumulado por tratamientos y tipos de suelo durante 195 días de evaluación, T1= solo suelo, T2= 5.3 t ha ⁻¹ de compost, T3= 17.5 t ha ⁻¹ de compost, T4= 26.4 t ha ⁻¹ de compost, T5= 43.9 t ha ⁻¹ de compost y T6= 200 kg ha ⁻¹ de sulfato de amonio.	46
Figura 25. Riego acumulado en los distintos tipos de suelos evaluados durante los 195 días de evaluación ($\alpha=0.05$).	47
Figura 26. Ejemplo de la variación de la temperatura del suelo °C durante 195 días de evaluación, usando como ejemplo el suelo con índice arcilla/arena de 0.7 (Tratamiento 1).....	48
Figura 27. Relación entre el índice arcilla/arena y el contenido acumulado de nitrógeno en la biomasa aérea del pasto <i>L. perenne</i> , al cabo de cinco cortes ($\alpha=0.05$).	51
Figura 28. Relación entre las adiciones de compost (x) y el contenido de nitrógeno en la biomasa aérea del pasto <i>L. perenne</i> (y), durante los 195 días de evaluación ($\alpha=0.05$).	53
Figura 29. Variación de la humedad acumulada y el contenido de nitrógeno de la biomasa aérea, en el T1 del suelo con 0.7 (índice arcilla/arena), durante 195 días (DDS).....	54

Figura 30. Efecto del índice arcilla/arena sobre los rendimientos en peso fresco del pasto raigrás durante el periodo de evaluación ($\alpha=0.05$).	57
Figura 31. Variación del rendimiento en peso fresco del pasto (y), en relación con la dosis de compost de bagazo de agave (x), en los diferentes suelos evaluados durante 195 días ($\alpha=0.05$).	59
Figura 32. Diferenciación del rendimiento en peso fresco del pasto <i>L. perenne</i> durante 195 días de evaluación, en el suelo con 0.7 de índice arcilla/arena (T1= suelo, T2= 5.3 t ha ⁻¹ de compost, T3= 17.5 t ha ⁻¹ de compost, T4= 26.4 t ha ⁻¹ de compost, T5= 43.9 t ha ⁻¹ de compost y T6= 200 kg ha ⁻¹ de sulfato de amonio).	60
Figura 33. Diferencias del rendimiento en peso seco de pasto <i>L. perenne</i> durante 195 días de evaluación, en el suelo con 0.7 de índice arcilla/arena (T1= solo suelo, T2= 5.3 t ha ⁻¹ de compost, T3= 17.5 t ha ⁻¹ de compost, T4= 26.4 t ha ⁻¹ de compost, T5= 43.9 t ha ⁻¹ de compost y T6= 200 kg ha ⁻¹ de sulfato de amonio).	62
Figura 34. Relación de la altura de planta (y) con la adición del compost de bagazo de agave (x), durante 195 días ($\alpha=0.05$).	66
Figura 35. Variación de la población en miles (m ²), con la adición del compost de bagazo de agave durante 195 días, en los suelos evaluados ($\alpha=0.05$).	68
Figura 36. Humedad acumulada (x) y su efecto sobre el rendimiento en peso fresco del raigrás (y) a los 81 días después de la siembra, en suelo con índice arcilla/arena de 0.7.	69
Figura 37. Variación entre la cantidad de nitrógeno en el tejido vegetal de <i>L. perenne</i> respecto a la producción de materia seca, en el T1 (tratamiento uno) del suelo con índice 4.0, durante 195 días después de la siembra (DDS).	71
Figura 38. Variabilidad del rendimiento en peso seco (y) respecto a las unidades calor (UC) (x), durante 195 días de evaluación, en suelo con 0.7 de índice arcilla/arena.	74

ÍNDICE DE CUADROS DEL ANEXO

Cuadro A. 1. Descripción e identificación de los tratamientos evaluados durante la investigación.....	87
--	----

ÍNDICE DE FIGURAS DEL ANEXO

Figura A. 1. Mapa de caracterización realizada por García (2005), en donde fueron extraídas las muestras de suelos (M1=Suelo con índice arcilla/arena 0.7, M22=Suelo con índice de 1.3, M18=Suelo con índice de 4.0).	86
Figura A. 2. Croquis de la distribución de tratamientos en invernadero.....	87

ÍNDICE DE PROGRAMACIÓN EN SAS DEL ANEXO

Programación A. 1. Análisis de varianza de la variable humedad involucrados los tratamientos y tipos de suelo, bajo un diseño completamente al azar.	90
Programación A. 2. Análisis de varianza de la variable nitrógeno involucrando los tratamientos de un solo tipo de suelo, bajo un diseño completamente al azar.	

1. INTRODUCCIÓN

Las actividades agroindustriales en México como la cañera, cafetalera y tequilera, representan una fuente valiosa de ingresos para las familias y empresas que de manera directa e indirecta intervienen con ellas; sin embargo, como consecuencia de la transformación de la materia prima al principal producto de interés económico, se generan grandes volúmenes de subproductos que cuando no son reutilizados se convierten en fuente de basura y ocasionan problemas severos de contaminación.

En la agroindustria tequilera se generan como subproductos el bagazo de agave por la extracción de los azúcares fermentables de las cabezas de la planta y las aguas residuales, más conocidas como vinazas, que se forman durante la destilación del tequila. Aunque se les da cierta reutilización a estos materiales (bagazo y vinazas), no es suficiente para ocupar todos los que se producen y esto se aprecia en los tiraderos formales y clandestinos de la región donde se ubican las empresas de este ramo, con la consecuente problemática ambiental. Lo anterior da cabida a la búsqueda de alternativas dirigidas hacia la reutilización del bagazo y las vinazas, entre las que destaca el compostaje y a través de dicho proceso transformar el material a insumos útiles para el medio agrícola, los cuales favorecen los procesos de interacción entre los componentes bióticos y abióticos del suelo.

Es por ello que en el presente estudio se determinó el efecto del compost de bagazo de agave sobre la disponibilidad de humedad y nitrógeno en suelos agrícolas, utilizando como cultivo indicador el pasto raigrás (*Lolium perenne* L.).

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Efecto de la arcilla y de los materiales orgánicos en la humedad de los suelos agrícolas

La agricultura es el sector que utiliza más agua, y representa alrededor del 70% del agua dulce consumida procedente de ríos y acuíferos (FAO, 2008). Para reducir la demanda de agua en el sector agrícola se proponen varias medidas, como el riego eficiente, reducción de las pérdidas de distribución, la maximización de la reutilización de efluentes, y la conservación de la humedad del suelo (Shiklomanov, 2000). La cantidad de agua disponible en el suelo para las plantas se determina por la distribución de las raíces y la capacidad de almacenamiento de humedad del suelo, estando esta última relacionada con la porosidad; por lo tanto la textura y la estructura son los factores críticos (Rawls *et al.*, 2003), lo que significa que la mala estructura, el bajo contenido de materia orgánica, y carbono, así como la presencia de piedras, reduce la capacidad de almacenamiento de humedad de una determinada textura o clase de suelo, ya que la adición de materia orgánica aumenta el número de microporos y macroporos (Bot y Benites, 2005).

2.1.1. El contenido de arcilla y su efecto en la humedad de los suelos agrícolas

La variabilidad del agua contenida en una unidad de masa o volumen de suelo, y el estado de energía de esta en el mismo, son factores importantes que afectan el crecimiento de las plantas (Barver *et al.*, 1980). Hillel (2004), describió que numerosas propiedades del suelo dependen del contenido de agua; entre estas se encuentran las propiedades mecánicas, tales como la consistencia, plasticidad, resistencia, compactibilidad, penetrabilidad, pegajosidad, y la transitabilidad.

La presencia de agua sobre las partículas del suelo es más importante en suelos arcillosos y está influenciada por la doble capa eléctrica y los cationes intercambiables presentes; en suelos arenosos, la adsorción es relativamente poco importante ya que la

capilaridad es predominante, sin embargo, los potenciales de presión negativa resultado del efecto combinado de los dos mecanismos, no se pueden separar fácilmente, ya que están en un estado de equilibrio interno con la adsorción sobre las partículas y no pueden cambiarse sin afectar a los demás (Hillel, 2004).

La saturación con agua es relativamente fácil de definir en el caso de suelos arenosos, y puede ser difícil de definir en el caso de los suelos arcillosos, debido a que tales suelos pueden seguir adsorbiendo agua y expandirse incluso después de que todos los poros se han llenado de agua (Barver *et al.*, 1980). Diferentes texturas en suelos pueden tener diferencias de humedad (por ejemplo, un suelo arenoso puede retener menos del 5% de humedad, mientras que un suelo arcilloso puede retener tres veces más), este fenómeno en parte es explicado debido a que la entrada del aire es generalmente pequeña en suelos bien agregados o de textura gruesa (que contienen poros grandes), pero tiende a ser mayor en suelos densos, mal agregados, de textura media o de textura fina (Hillel, 2004). Debido a que en los suelos de textura gruesa los poros tienden a ser bastante uniformes en tamaño, en estos suelos se presentan típicamente fenómenos críticos de entrada de aire más claramente que en los suelos con una gama más amplia de tamaños de poros (Gavande, 1987).

2.1.2. Efecto de la aplicación de compost y materiales orgánicos sobre la humedad en los suelos

El compost es un producto obtenido mediante el proceso de la descomposición aerobia o anaerobia, en el que comúnmente intervienen microorganismos del lugar en donde se realiza dicho proceso. Varios estudios indican que el uso de compost puede mejorar parámetros para las plantas y del suelo (Figura 1), lo que hace del compost una opción interesante no sólo para la agricultura, sino también para fines de restauración del suelo (Davies y Lennartsson, 2005).

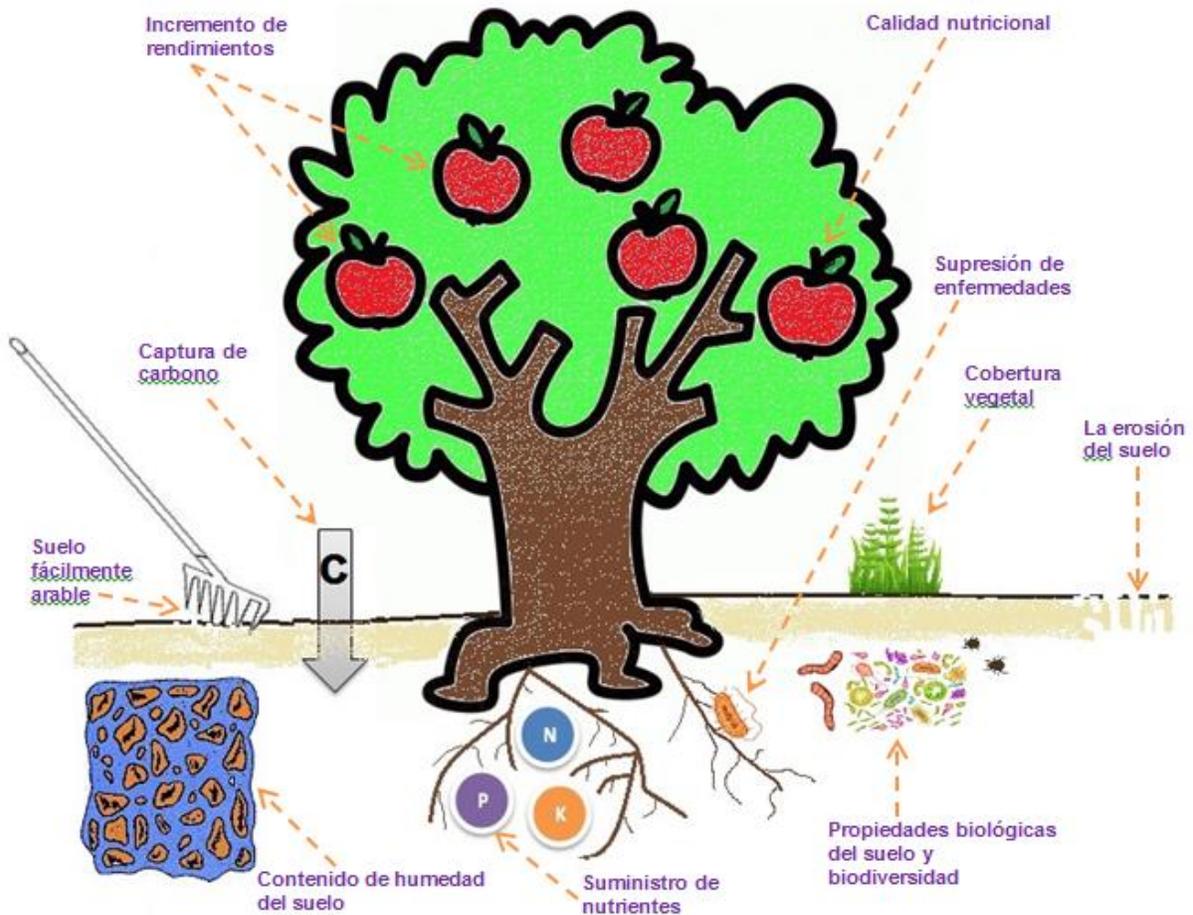


Figura 1. Variables que son modificadas positivamente por la aplicación de compost al suelo (figura elaborada con base en diversas fuentes).

Por otra parte, el aumento de los niveles de materia orgánica en el suelo promueve la captura de carbono (Favoino y Hogg, 2008; Marmo 2008). Otros beneficios potenciales de la aplicación de compost es que se mejora la actividad biológica (Bastida *et al.*, 2008; Hargreaves *et al.*, 2008), el aumento de la disponibilidad de nutrientes (Boldrin *et al.*, 2009), y la supresión de las enfermedades transmitidas por el suelo (Bonanomi *et al.*, 2007). Sin embargo, la aplicación del compost también puede producir inconvenientes ambientales y agronómicos, como los más relevantes están las emisiones de gases y lixiviados, la inmovilización del N mineral del suelo, aumento en el contenido de sales, y la acumulación de metales pesados en los suelos (Hargreaves *et al.*, 2008). Estos temas son, en general, directamente asociados a la calidad de los

residuos por la materia prima utilizada, la madurez del compost, y la aplicación del compost (por ejemplo, la rotación de cultivos, el tipo de suelo, etc.).

Debido a que el compost aumenta el contenido de la materia orgánica en el suelo, mejorando la estabilidad de los agregados del suelo y con ello la estructura del mismo (Diacono y Montemurro, 2010), además la adición de materia orgánica impide sellado de la superficie del suelo, mejora la infiltración de agua y la capacidad de retención de esta, que a su vez reduce la generación de escorrentía y la erosión (Pandey y Shukla, 2006; ROU, 2007). Debido a su contenido de materia orgánica el compost tiene una alta capacidad de retención de agua, y que al aplicarse al suelo mejora esta variable (Hargreaves *et al.*, 2008). Por ejemplo, la aplicación de dosis altas de compost en suelos con bajo contenido inicial de materia orgánica, representa un gran aumento en su capacidad de retención de agua (Glab *et al.*, 2009; Olness y Archer, 2005; Rawls *et al.*, 2003; ROU, 2007).

Después de 16 años de aplicación de estiércol o residuos de corral, se mejoró sustancialmente las propiedades físicas del suelo (retención de agua), debido a una mayor concentración de coloides húmicos (Dorado *et al.*, 2003). El bagazo de agave fue sometido a un proceso de compostaje y posteriormente utilizado como agente de relleno (agregante o de enmienda), y el resultado fue que las mezclas con el compost mejoraron las características de los parámetros evaluados como el agua fácilmente asimilable en un 247%, el agua de reserva un 637% y el agua difícilmente asimilable en un 14.4 % (Iñiguez *et al.*, 2006). Se demostró que el biochar aumenta tanto la capacidad de retención de agua del suelo y la capacidad disponible de agua para las plantas (Martinsen *et al.*, 2014 y Mukherjee y Lal, 2013). Sin embargo, otros estudios no encontraron efecto del biochar, en la capacidad de retención de agua (Carlsson *et al.*, 2012).

2.1.3. Efecto de la humedad sobre la cantidad de riegos al suelo

Las condiciones de humedad en los suelos agrícolas y especies cultivadas, propician la cantidad de riego aplicado. Un estudio en Oregón (EUA), demostró que el rendimiento de semilla de diferentes variedades de pasto raigrás (*L. perenne*), aumento conforme el riego se aplicó en base al monitoreo de la humedad del suelo y las condiciones climáticas presentadas (Chastain *et al.*, 2015). Analizando en campo la variabilidad del rendimiento del trigo, con la capacidad de almacenamiento de agua de los suelos en el sur de Australia, se encontró que la capacidad de almacenamiento de agua tuvo un gran impacto en los rendimientos de este cultivo (Wong y Asseng, 2006). Un estudio llevado a cabo en la pampa argentina en el cultivo de trigo describe que el aumento del rendimiento anual promedio fue del 4% por año en el período 1995-2004, este aumento puede atribuirse tanto a la mejora genética (Calderini *et al.*, 1995) y mejores prácticas de manejo (Satorre y Slafer, 1999), entre las que destaca el monitoreo del clima y de la humedad en los suelos (Álvarez, 2009).

2.2. El contenido de arcilla, y la aplicación de abonos orgánicos sobre la disponibilidad del nitrógeno en los suelos

El destino del nitrógeno (N) después de la aplicación del compost, depende generalmente de la calidad de este (contenido de nutrientes y el proceso de compostaje), junto con el establecimiento y manejo de factores tales como las condiciones climáticas, la época del año al momento de la siembra, propiedades del suelo, aireación mecánica, rotación de cultivos, y las interacciones planta-suelo (Sadras, 2005). Todos estos elementos intervienen conjugadamente para que este mineral que es extremadamente móvil, sea asimilado o no por las raíces del cultivo a través de la solución del suelo.

Lemaire y Meynard (1997), señalaron que el N disponible para la absorción por la planta no sólo se define por la cantidad del N mineral contenido en la zona de enraizamiento, sino también por las condiciones del suelo que definen crecimiento y la

actividad de la raíz. Dichas atribuciones en mayor medida son propiciadas por las partículas de arcilla, presentadas como un cristal relativamente grande e insoluble denominado “micela” alrededor del cual se encuentra una aglomeración de cationes que pueden ser intercambiables con el medio que los rodea (Cepeda, 2012).

Por otro lado, el compost puede proporcionar minerales esenciales a la tierra que no se suministran cuando se añaden fertilizantes minerales (Favoino y Hogg, 2008), además aumenta la capacidad de intercambio catiónico (Diacono y Montemurro, 2010). Esto favorece una mejor retención de nutrientes en el suelo, creciendo así la eficiencia de la fertilización. El contenido de nutrientes en el compost es muy variable, dependiendo de la composición de materia prima y las condiciones de compostaje. Por ejemplo, Boldrin *et al.* (2009), reportaron que los contenidos típicos de N, P y K en compost de biorresiduos son 7-28, 1-9 y 3-23 kg por tonelada de estiércol seco, respectivamente. Sin embargo, estos nutrientes no están disponibles de inmediato a la planta en crecimiento (Favoino y Hogg, 2008). Debido a las bajas tasas de mineralización que propician una lenta disponibilidad de los nutrientes contenidos en el abono orgánico, por ello algunos autores afirman que el compost no es un buen proveedor de nutrientes (Fitzpatrick, 2004; Moral y Muro, 2008). De hecho se informó de un período de inmovilización neta del N después de la aplicación de compost para algunos estudios de caso, requiriéndose una aplicación extra de nitrógeno mineral para prevenir la deficiencia de este elemento (Fitzpatrick 2004; Moral y Muro, 2008). Sin embargo, la inmovilización del N es menos probable en un compost maduro por la baja relación C/N, ya que la inmovilización de este elemento se ha producido durante el proceso de compostaje (Bar-Tal *et al.*, 2004; Hargreaves *et al.*, 2008).

2.2.1. Efecto de la humedad del suelo en la disponibilidad del nitrógeno

Por otro lado, existe evidencia en la literatura que muestra cómo el estado del nitrógeno (N) se ve alterado por déficit de agua, tanto en el corto y largo plazo. En un experimento de riego en girasol, durante el período de evaluación se estableció la relación entre el crecimiento de los brotes y el contenido de N en estos, con tres

tratamientos de riego que recibieron 210 kg N ha^{-1} , se demostró claramente que para la misma cantidad de N aplicado al suelo, se manifestó una concentración en la biomasa aérea de la planta inferior en los tratamientos con menor riego, especialmente en la última fecha de medición (Álvarez de Toro, 1987).

Onillon *et al.* (1995), analizaron el efecto de la sequía en festuca alta (*Festuca arundinacea*) en relación con el crecimiento de brotes y el contenido de nitrógeno; y los tratamientos sin riego generalmente exhibieron contenidos más bajos de nitrógeno que los tratamientos regados; estos autores encontraron que en la mayoría de los casos, la rehidratación o la recuperación del estado hídrico de los cultivos aumentaron el contenido de N a valores similares de los que fueron medidos en parcelas irrigadas.

González-Dugo *et al.* (2005), explicaron la variabilidad en el estado de nutrición del nitrógeno (N) resultante (establecido por medio del índice de nutrición del nitrógeno), en dos especies de forrajeras (raigrás italiano y festuca alta), sembradas en el mismo tipo de suelo, mostrando la arquitectura de la raíz y la tasa de crecimiento de estos forrajes con agua y N limitados, obteniendo que el pasto raigrás tiene una tasa de crecimiento más lento con un alto porcentaje de las raíces finas en las capas superiores, mientras que la festuca mostró una mayor tasa de crecimiento, pero con raíces más gruesas y más profundas. También se encontró que la festuca (*F. arundinacea*) inducida por la escasez de agua es más sensible a la deficiencia del N, ya que su tasa de crecimiento fue mayor y su sistema de raíces realizó menos absorción de N, destacando la importancia de la biomasa, el N extraído de la planta, así como la distribución del sistema radicular; en el raigrás italiano la capacidad de recuperación (determinada por la tasa de aumento en el índice de nutrición de nitrógeno) durante un período de rehidratación fue tres veces mayor que la festuca, destacando que la eficiencia de uso del nitrógeno (biomasa producida por unidad de N absorbido), está relacionada con el índice final de nutrición de este elemento obtenido en la cosecha, y que se ve afectado por la escasez de agua (González-Dugo *et al.*, 2005).

Contrariamente Fan y Li, (2001), encontraron que la eficiencia en el uso del N se incrementó en un déficit de agua y disminuyó por la dosis de N aplicado en trigo. Pirmoradian *et al.* (2004), llegaron a las mismas conclusiones en el arroz, pero el efecto

fue sólo significativo en las tasas de aplicación altas de fertilización. Pero Gajri *et al.* (1993), encontraron una marcada interacción entre el suministro de N, del agua y el rendimiento, de modo que de la eficiencia en el uso del agua y en la dosis de N dependerá el rendimiento.

2.3. Efecto de la arcilla, la adición de compost y abonos orgánicos sobre los rendimientos de los cultivos

La productividad del suelo depende en gran medida de sus componentes químico-biológicos, como la arcilla y los materiales orgánicos; por lo tanto, los abonos orgánicos y minerales deben agregarse al suelo para compensar dichas pérdidas con el fin de mantener/aumentar los rendimientos (Bridges *et al.*, 2001; Doolette y Magrath, 1990).

La textura del suelo está relacionada con el tamaño de partículas minerales, esta propiedad ayuda a determinar la facilidad del abastecimiento de nutrientes, el contenido de agua y del aire, que son determinantes para la vida de las plantas, y que según su tamaño las partículas han sido clasificadas en fracciones (Gavande, 1987), dentro de estas fracciones se encuentra la arcilla, donde algunos autores han llegado a la conclusión de que el tipo de mineral en la arcilla es más importante que la cantidad de esta (Ribero *et al.*, 2015). Por ejemplo un estudio en la zona oriente del estado de México, estableció la génesis de dos suelos arcillosos; denominados como “cacahuatudos” que tienen un origen lacustre, con arcillas esmectíticas, kaolinita y metahaloisita, con orientación horizontal como resultado de su depósito lento y baja productividad relacionada con drenaje deficiente, pH alcalino, sodio en los sitios de intercambio, poca materia orgánica, presencia o ausencia de costras y reciente incorporación a la agricultura (10 años); en cambio las “tierras de barro” que son de origen aluvial con aluviones activos intermitentes y estables, con arcillas esmectíticas que se orientan aleatoriamente, y su productividad está relacionada con un drenaje eficiente, pH neutros a ligeramente ácidos, calcio en los sitios de intercambio y estructuras granulares y los 70 años que tienen con actividades agrícolas (Segura *et al.*, 2000).

Por otra parte Herencia *et al.* (2008), mencionan que los aumentos en rendimiento de campos en transición (de lo convencional a sistemas de producción orgánica), por lo general requieren de 3-5 años de aplicaciones de compost para detectar cambios. Por ejemplo, el rendimiento de grano de trigo se incrementó en un promedio de 246%, con respecto al control, con una dosis alta (80 t ha⁻¹) de compost de residuos sólidos urbanos aplicado anualmente durante 5 años (Cherif *et al.*, 2009). Del mismo modo, Erhart *et al.* (2005), investigaron el comportamiento agronómico de los cereales y las patatas aplicando compost los residuos biológicos, mostrando que la aplicación más alta (23 t h⁻¹), aumento el rendimiento de estos cultivos en un 10% en comparación con el control sin fertilizar (promedio de 10 años). Estos resultados contrastan con los de Mantovi *et al.* (2005), que encontraron que las aplicaciones de lodos de aguas residuales durante 12 años, en una rotación trigo-maíz durante el periodo de invierno, no generaron aumentos significativos en los rendimientos de estos cultivos. Por otra parte, la aplicación de compost no tuvo efecto significativo sobre la biomasa total de la planta de brócoli (*Brassica oleracea* var. Grupo Itálica) y Zanahoria (*Daucus carota*) en un sitio de Bélgica (Willekens *et al.*, 2014).

Pero, Shiralipour *et al.* (1992), mencionan que generalmente la aplicación de compost tiene efectos positivos sobre el crecimiento y el rendimiento de una amplia variedad de cultivos. Y al igual que el compost, existe una variedad de enmiendas de origen orgánico que se pueden implementar para mejorar los rendimientos de los cultivos por ejemplo: Cornelissen *et al.* (2013), describen los efectos del biochar como un mejorador de las propiedades físicas del suelo, impactando en el aumento de la producción de cultivos en suelos de textura ligera.

2.3.1. Impacto del contenido de nitrógeno y la humedad generada en suelos agrícolas, con la adición de compost y abonos orgánicos sobre los rendimientos de los cultivos

Una de las condiciones físicas del suelo más importantes para la producción de cultivos es la capacidad de disponibilidad de agua, que es la diferencia entre el contenido de agua a capacidad de campo y el contenido de agua a punto de marchitez permanente (Obiaa *et al.*, 2016). Por ejemplo las adiciones de compost mejoran la estabilidad de las

partículas en el suelo, la retención de humedad, mayor aireación, aumento de la porosidad causa por una densidad aparente más baja, conserva y restaura el carbono orgánico del suelo, lo que conlleva a causar un efecto positivo sobre los rendimientos de los cultivos, y este efecto permanece durante varios años (Martínez-Blanco *et al.*, 2013).

A medida que el costo de los fertilizantes es pequeño en comparación con el costo de la pérdida en la producción, los agricultores prefieren sobre-fertilizar sus cultivos con nitrógeno en lugar de correr el riesgo de fertilizar adecuadamente por la resultante pérdida de ingresos (Del Amor, 2007). Por otra parte, los productores agrícolas a menudo afirman que las cosechas son mucho más bajas con la fertilización orgánica que con fertilizantes inorgánicos (Mäder *et al.*, 2002). Sin embargo, el exceso de nitrógeno dispara la proliferación de malezas, por consecuencia una mayor competencia con el cultivo de interés generando mermas en la producción. Además, el nitrógeno no absorbido por el cultivo, se traslada en forma de pérdida hacia el medio ambiente, lo que contribuye potencialmente a la contaminación de las aguas subterráneas y la atmosfera (FAO, 1998; Roy *et al.*, 2006), al igual que las pérdidas económicas por el uso inadecuado de dicho insumo. Por ello el uso optimizado de los fertilizantes debe ser realizado considerando varios factores como: el pool de nutrientes del suelo, el manejo, composición del compost y la madurez del mismo, las tasas y los métodos de aplicación, especies de cultivo y la variedad, las tasas de fertilizantes, y los intervalos entre la aplicación y la siembra (Amlinger *et al.*, 2003; Diacono y Montemurro, 2010; ROU, 2007).

Por otra parte, se encontró que el mejor comportamiento agronómico del compost se obtiene con dosis altas y una alta frecuencia de aplicación, además alternando el abono orgánico con fertilizantes minerales se logra un suministro equilibrado de nutrientes (Amlinger *et al.*, 2003; Diacono y Montemurro, 2010; ROU, 2007). Cuando se utiliza solo el compost para la fertilización de cultivos se requiere de un largo plazo y aplicaciones repetidas para alcanzar un estado constante que garantice un rendimiento cerca del esquema de fertilización inorgánica.

Por ejemplo, en un estudio de 7 años se confirmó que la concentración de fósforo (P) disponible en la superficie del suelo, puede contribuir al cultivo de maíz la absorción requerida de este elemento por más de 4 años después de la última aplicación de compost, siendo este 241% más alto que el de control que fue solo aplicación de P mineral (Eghball *et al.*, 2004). Otro estudio en la región mediterránea de Turquía en el cultivo de olivo, demostró que el compostaje de residuos sólidos de la agroindustria de dicho cultivo, dio lugar a la producción de un fertilizante orgánico altamente eficaz que aumento la biomasa de la planta de 34.2 a 264.4% (Killi y Kavdir, 2013).

3. OBJETIVOS E HIPÓTESIS

3.1. Objetivo

Determinar el efecto del compost de bagazo de agave sobre el contenido de humedad y nitrógeno en el medio edáfico, usando como cultivo de referencia el pasto raigrás (*Lolium perenne*), en diferentes suelos de uso agrícola.

3.2. Hipótesis

La adición de compost de bagazo de agave tiene un efecto positivo sobre la humedad y disponibilidad del nitrógeno en el suelo.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Instalación del experimento

La investigación se realizó en un invernadero tipo campana, dentro de las instalaciones del Campo Experimental Tlapeaxco, del Departamento de Irrigación de la Universidad Autónoma Chapingo (UACH), municipio de Texcoco de Mora, Edo. de México, con coordenadas geográficas a 19° 28' 58" de latitud norte, y 98° 53' 27" de longitud oeste, a 2250 m. sobre el nivel del mar.

Se seleccionaron suelos agrícolas con porcentajes contrastantes de arcilla y arena, los cuales se extrajeron en tres sitios a una profundidad de 0-20 cm, en el campo experimental Montecillos propiedad de la Universidad Autónoma Chapingo, de acuerdo a la caracterización realizada por García (2005), de dicho lugar. Se extrajeron 200 kg de muestra por cada tipo de suelo (Figura 2), y se trasladaron para ser secados al aire y por separado durante 28 días. Una vez secos se fragmentaron con un martillo y fueron cernidos en una criba metálica de 8 x 8 milímetros de separación entre alambres, después se homogenizaron utilizando una pala y para su identificación se etiquetaron con la nomenclatura del levantamiento antes mencionado (Figura 3).



Figura 2. Dos de los sitios seleccionados para la extracción de las muestras de suelo de acuerdo al levantamiento de García (2005).



Figura 3. Procedimiento de secado, fragmentación, tamizado y homogenización de las muestras de suelos seleccionadas para la investigación.

El compost utilizado fue adquirido en el Instituto Tecnológico Superior de la ciudad de Tequila, Jalisco. Siendo la materia prima los residuos del procesamiento del agave para producción de tequila (bagazo y vinazas), que es el resultado del proceso de fragmentación y extracción de los jugos fermentables para la producción de dicho licor. El tiempo de compostaje fue de siete meses en una pila de 5,350 kg, regada con agua de la llave, que periódicamente se removió para facilitar la aireación y la incorporación del agua, manteniendo la humedad entre 40 y 60 %, (Iñiguez *et al.*, 2005). Finalmente se obtuvo un producto con una humedad gravimétrica de 21.6% (Figura 4), y del mismo modo que los suelos fue cernido en una criba metálica, con orificios de 8 x 8 mm de longitud.



Figura 4. Compost elaborado de bagazo de agave para la producción de Tequila.

Para realizar la combinación del compost de bagazo de agave con los suelos agrícolas, se determinó la cantidad de nitrógeno total de este mediante un análisis de laboratorio (Cuadro 1), adicionalmente se optó por combinar cada tipo de suelo con sulfato de amonio ((NH₄)₂ SO₄), con la intención de romper la inmovilización del nitrógeno en los mismos.

Cuadro 1. Obtención de los tratamientos de acuerdo a la cantidad de nitrógeno total (N), derivado del análisis del compost.

	Tratamientos					
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Compost de bagazo de agave (N kg ha ⁻¹)	0	43.99	146.08	219.12	364.37	0
Sulfato de amonio (N kg ha ⁻¹)	0	0	0	0	0	42

La proporción del compost en t ha⁻¹ para cada tratamiento (Cuadro 2), se realizó pesando los suelos con una báscula de cocina, mientras que el compost y el sulfato de amonio se pesaron en una balanza analítica (Figura 5).

Cuadro 2. Tratamientos de acuerdo a la cantidad de compost de bagazo de agave.

	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Compost de bagazo de agave (t ha ⁻¹)	0.0	5.3	17.6	26.4	43.9	0.0



Figura 5. Proceso de pesado de los suelos, compost y sulfato de amonio para la obtención de los tratamientos.

Una vez pesados cada combinación (tratamientos), se procedió a homogeneizar cada uno y para ello se construyó una revoladora mecánica (Figura 6 y 7), después se depositaron en bolsas de polietileno (para 5 litros), asignándose previamente un

número al azar para su identificación, este procedimiento fue repetido tres veces para cada tratamiento y previamente se realizó un sorteo para establecer el acomodo de cada bolsa (unidad experimental), en un espacio de 40m² dentro del invernadero (Figura 8).



Figura 6. Revolvedora manual que se construyó para homogeneizar cada uno de los tratamientos de la presente investigación.



Figura 7. Demostración del suelo homogenizado junto con el compost de bagazo de agave.

Se emplearon bolsas de polietileno negro calibre 600 las cuales fueron llenadas con los tratamientos correspondientes, cada bolsa constituyó una unidad experimental y los tratamientos se replicaron tres veces, lo que dio un total de 54 unidades experimentales distribuidas en el invernadero bajo un diseño completamente al azar (Figura 8).



Figura 8. Proceso de llenado de bolsas y distribución de los tratamientos.

Cada tratamiento constituyó de la mezcla de suelo y compost correspondiente (cf. Cuadro 2), del cual una vez elaborado y agregado a su respectiva unidad experimental se colectó una muestra para realizar en el laboratorio de agua-suelo-planta del Colegio de Postgraduados los siguientes análisis, de acuerdo con la metodología descrita en Carter y Gregorich (2006): materia orgánica (Walkley y Black), textura (Bouyoucos), pH y la conductividad eléctrica (CE) se utilizó una relación 1:2 (Cuadro 3).

4.2. Manejo del experimento

La toma de información de campo se llevó a cabo de diciembre del 2014 a junio del 2015, utilizando como cultivo indicador el pasto *L. perenne*. Y el manejo agronómico que recibieron los tratamientos durante el periodo fue homogéneo.

La siembra se efectuó el 12 de diciembre del 2014, colocando 1485 semillas (1.68 gr) en cada unidad experimental, lo que equivale a una proporción de 35 kg ha⁻¹ (Velasco *et al.*, 2005), distribuyéndolas homogéneamente sobre la superficie del suelo, después se colocó sobre las semillas una capa de un centímetro de suelo o compost con suelo, según sea el tratamiento que le corresponde (Figura 9), finalmente cada bolsa se cubrió con plástico oscuro para conservar el calor y humedad.

Es de suma importancia aclarar que no se adicionaron nutrientes de origen orgánico o mineral, después de la obtención de los tratamientos o de la siembra (tanto a los adicionados con el compost de bagazo de agave, como a los suelos sin el abono orgánico).



Figura 9. Proceso de siembra del pasto *L. perenne* en las unidades experimentales (tratamientos).

Después de la siembra la humedad fue monitoreada en cada uno de los tratamientos, realizando los riegos cuando la superficie de la unidad experimental aparentemente no presentaba humedad hasta que se homogeneizó la germinación. Las aplicaciones de agua se realizaron con un aspersor portátil, procurando que las semillas no se corrieran y que no existieran escurrimientos hacia el exterior (Figura 10).



Figura 10 Riego por aspersión (realizado antes de la germinación en todos los tratamientos).

Cuando la germinación del pasto se homogeneizó en todos los tratamientos (142 días después de la siembra), los riegos se efectuaron después de las 6 p.m., cuidando que la humedad en cada tratamiento se mantuviese por encima del 50% de su punto de marchitez permanente (PMP), basándose en la propuesta del intervalo de agua óptimo (IAO), (Paiva *et al.*, 2005). Se obtuvo la curva característica de humedad con el método de olla y membrana de presión y así obtener la capacidad de campo y el PMP; para con ello determinar el punto crítico de humedad de acuerdo a la propuesta anterior. En campo, la humedad de los tratamientos fue monitoreada con un equipo TDR portátil (DECAGON DEVICES®), con este equipo más el aspecto visual se decidió cuantos mililitros (mL) de agua colocar por tratamiento, de igual manera se tuvo la precaución de que no se generaran escurrimientos de este líquido hacia el exterior de la unidad experimental. Las adiciones de agua fueron con una jeringa para llevar el control de la cantidad de agua aplicada (Figura 11 y 12).

En el transcurso del ensayo se manifestaron como plagas la mosca blanca (*Bemisia tabaci*) y pulgón amarillo (*Melanaphis spp*). La primera de ellas se combatió con tres aplicaciones quincenales consecutivas de Tetrametrina d-Fenotrina, después de dichas aplicaciones la mosca blanca se mantuvo en poblaciones que no implicaron daño alguno para los pastos, también se colocaron trampas amarillas pegajosas (Figura 13), y se realizaron aplicaciones mensuales con repelente orgánico a base de chile y ajo. El pulgón amarillo solo se manifestó en el mes de mayo, causando daños importantes a algunos tratamientos (Figura 14), pero este se combatió con una aplicación de espuma de jabón biodegradable sobre las hojas, pocos días de dicha aplicación se procedió a realizar la cosecha y con ella después el rebrote del pasto, en el que ya no se manifestó el daño de dicho insecto.



Figura 13. Colocación de trampas amarillas para combatir mosca blanca.



Figura 14. Daño en hojas de pasto raigrás (*L. perenne*) por pulgón.

Especies de plantas diferentes al cultivo de interés se extrajeron manualmente conforme se manifestaron. En el primer ciclo (hasta los 81 días después de la siembra), el control de malezas se realizó cada diez días, posteriormente las especies vegetales indeseables se manifestaron con menor frecuencia, realizando la eliminación de dichas plantas cada mes (las plantas extraídas se fragmentaron y regresaron a la unidad experimental correspondiente).

4.3. Variables evaluadas

Los datos de rendimientos o producción de biomasa aérea se obtuvieron en cinco cortes del pasto *L. perenne* durante 195 días, después de la siembra. Dichos cortes se efectuaron cuando fueron observadas entre 2 y 3 hojas totalmente elongadas (Figura 15 y 16), para asegurar la disponibilidad, persistencia y calidad productiva en este cultivo (Villalobos y Sánchez, 2010).

El rendimiento de la biomasa, en peso aéreo fresco, se calculó pesando las muestras de pastos inmediatamente después de haber sido cortadas con una balanza analítica (OHAUS®), después se realizaron las siguientes determinaciones para convertir los rendimientos en $t\ ha^{-1}$:

$$RBF = ((Pb1-Pbpp)/1000) * ((120 * 10000)/1000)$$

Dónde:

RBF=Rendimiento en biomasa aérea fresca en t ha⁻¹

Pb1=Peso en gramos de la bolsa donde se almacenó la biomasa aérea fresca

Pbpp= Peso en gramos de la bolsa donde se almacenó la biomasa aérea fresca más el peso de la biomasa aérea fresca

1000= Gramos contenidos en un kilo

120= Superficie cm² por unidad experimental

10000= m² contenidos en una hectárea

1000= centímetros en un metro

Para determinar la biomasa aérea seca, las muestras fueron colocadas en una estufa de circulación forzada de aire a 60°C durante 72 horas, hasta obtener peso constante correspondiente a cada tratamiento. Una vez secas se pesaron en la misma balanza analítica utilizada para peso fresco y se calculó el rendimiento en toneladas por hectárea con la formula anterior, pero con la siguiente sustitución:

Pb2=Peso en gramos de la bolsa donde se almacenó la biomasa aérea fresca después de haberse colocado en la estufa

Pbpp= Peso en gramos de la bolsa donde se almacenó la biomasa aérea fresca más el peso de la biomasa aérea después de haberse colocado en la estufa.



Figura 15. Proceso de cosecha del pasto *L. perenne*.



Figura 16. Proceso de cosecha del pasto, para la determinación de los rendimientos.

La altura de planta (mm) se realizó en diez plantas seleccionadas al azar al momento de la cosecha utilizando una regla de 30 cm. El conteo de la población se realizó al

momento que se observó la primera hoja elongada, después de la siembra o del corte según fue el caso. Para contar las plantas en cada unidad experimental se colocó cinco veces una cuadrícula de 4 cm² contabilizando únicamente las plantas que se encontraron dentro de este objeto (Figura 17).



Figura 17. Cuadrícula utilizada para el conteo de la población a los 29 días después de la siembra.

La humedad y temperatura del suelo en los tratamientos se monitoreó con un equipo TDR portátil (sensor ProCheck, DECAGON DEVICES®), (Figura 18). Esta información se midió durante cinco ciclos del pasto y se dividió en dos periodos de muestreo, con la intención de comprobar cambios notorios en la cantidad de humedad en los tratamientos; el primer periodo comprendió hasta los 148 días después de la siembra (DDS), y se tomó después de las 15:00 hrs., en el segundo periodo la información de campo se recopiló entre las 6:00 am. y 12:00 pm., a partir de los 149 hasta 195 DDS.

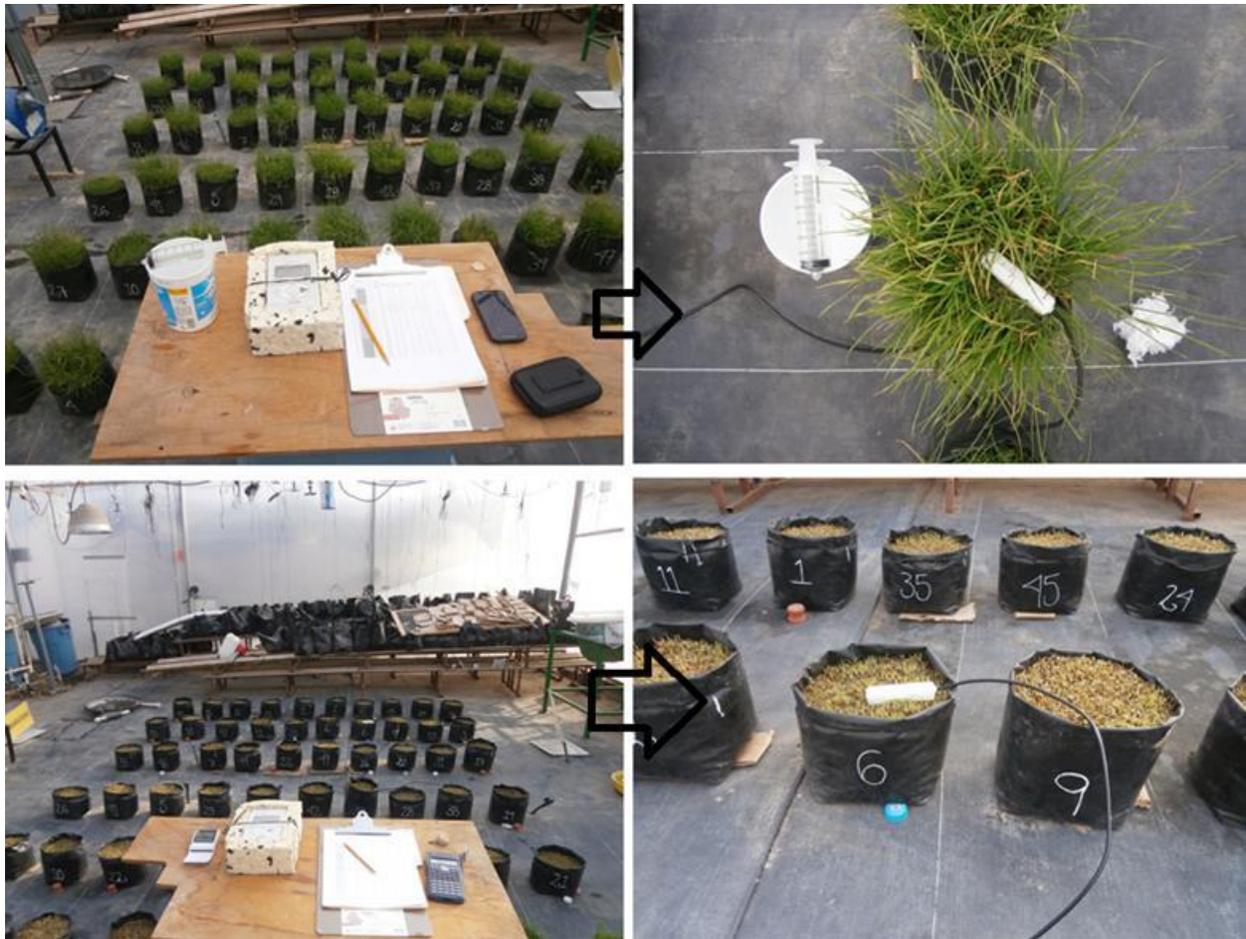


Figura 18. Muestra de la toma de información de la humedad volumétrica y temperatura en los tratamientos.

Después de la determinación del rendimiento en peso seco, las muestras del pasto se pulverizaron utilizando un molino Wiley (Figura 19), y se transportaron al laboratorio para la determinación de nitrógeno total en el tejido vegetal por el método de digestión H_2SO_4 ácido salicílico (Nelson y Sommers, 1973).



Figura 19. Proceso de molienda del pasto seco para la determinación del nitrógeno en el tejido vegetal.

Para la determinación de las unidades calor (UC) se utilizó la propuesta de Vázquez *et al.* (2008), utilizando el criterio de que la temperatura umbral máxima del pasto *L. perenne* que es inferior a la temperatura máxima ambiental y que la temperatura umbral mínima del cultivo es superior a la temperatura ambiental, con la siguiente fórmula:

$$^{\circ}\text{D} = \left[\frac{6(\text{Tmax} + \text{Tumin})^2}{\text{Tmax} - \text{Tumin}} - \frac{6(\text{Tmax} - \text{Tumin})^2}{\text{Tmax} - \text{Tumin}} \right] \div 12$$

Dónde: °D = Unidades calor; Tmax = temperatura máxima; T_{umax} = temperatura umbral máxima; T_{min} = temperatura mínima; T_{umin} = temperatura umbral mínima. La T_{umin} se consideró de 4 °C y la T_{umax} de 35 °C, con base a ECOCROP (2007). La medición de UC se llevó a cabo por ciclo de cultivo desde la siembra hasta el primer corte y del primer corte al segundo consecutivamente hasta el quinto corte (26 de junio de 2015), al cumplir 196 días.

Los datos de temperatura se midieron con un Data Logger (WatchDog®), colocado dentro de una caseta de abrigo a una altura de 1.50 m y los intervalos de medición fueron cada 15 minutos, como lo marca la Norma Mexicana (NMX-AA-166/1-SCFI-2013) de estaciones meteorológicas, climatológicas e hidrológicas, para los equipos climáticos de medición automatizada.

Los resultados obtenidos de los muestreos en los tratamientos se sometieron a un análisis de varianza bajo una prueba de medias Tukey ($P \leq 0.05$) utilizando el paquete estadístico SAS 9.0®.

De igual manera se efectuó un análisis de regresión lineal para conocer la relación entre las variables recolectadas en campo.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro 3 se presenta las características físicas y químicas de los suelos estudiados, del compost de bagazo de agave (C_{BA}) empleado en la presente investigación, así como de cada uno de los tratamientos que resultaron de sus combinaciones.

Cuadro 3. Características físicas y químicas de suelos, tratamientos y compost de bagazo de agave.

ID	pH	CE	MO	Arena	Arcilla	Limo	IA/A	CT
		dS m ⁻¹	%	%	%	%		
T1	7.14	0.42	1.82	44	30	26	0.7	Franco arcillosa
T2	7.36	0.39	1.96	46	30	24		
T3	7.41	0.48	2.37	46	26	28		
T4	7.46	0.49	2.57	46	28	26		
T5	7.49	0.54	3.16	46	28	26		
T6	7.22	0.38	1.95	46	28	26		
T1	6.86	0.44	2.82	14	56	30	4.0	Arcillosa
T2	6.99	0.51	3.26	12	58	30		
T3	7.03	0.64	3.22	12	54	34		
T4	7.14	0.65	4.35	10	54	36		
T5	7.16	0.68	5.12	16	46	38		
T6	6.90	0.53	3.00	12	56	32		
T1	7.07	0.45	2.95	30	40	30	1.3	Arcillosa
T2	7.17	0.53	3.12	32	40	28		
T3	7.23	0.60	3.44	30	36	34		
T4	7.30	0.61	3.83	32	42	26		
T5	7.27	0.63	4.96	34	36	30		
T6	7.13	0.50	2.83	28	40	32		
C _{BA}	8.09	0.82	23.26	58	14	28	0.2	Franco arenosa

ID=Identificación o tratamientos (T1= suelo, T2= 5.3 t ha⁻¹ de compost, T3= 17.5 t ha⁻¹ de compost, T4= 26.4 t ha⁻¹ de compost, T5= 43.9 t ha⁻¹ de compost y T6= 200 kg ha⁻¹ de sulfato de amonio), CE=Conductividad eléctrica, MO= Materia orgánica, IA/A= Índice arcilla/arena, CT=Clasificación textural y compost de bagazo de agave (C_{BA}).

Con la adición del C_{BA}, los suelos con los índices arcilla/arena de 0.7, 1.3 y 4.0, no manifestaron gran cambio en cuanto la variable de pH. En cuanto la conductividad

eléctrica y la materia orgánica se observó un cambio notorio, debido a que la adición del compost aumenta de la disponibilidad de nutrientes en el suelo (Boldrin *et al.*, 2009), al igual que aumenta el contenido de sales (Hargreaves *et al.*, 2008), y por su contenido de materia orgánica, el compost aumento dicha variable en los tratamientos adicionados con el abono orgánico (Diacono y Montemurro, 2010).

5.1. Efecto del compost de bagazo de agave y del índice arcilla/arena en la humedad de los suelos

5.1.1. Efecto del índice arcilla/arena en la humedad de los suelos

No hubo diferencias significativas en el contenido de humedad ($P \leq 0.05$) entre los suelos con índice arcilla/arena de 1.3 y 4.0, lo cual es atribuido al contenido similar en arcilla con una variación de 0.26% entre ambos, y la arena no repercutió en la modificación de la humedad. En contraste, el suelo con el índice de 0.7 si fue diferente estadísticamente en el contenido de humedad (Figura 20). Por sus propiedades coloidales, las arcillas al ponerse en contacto con el agua en estado líquido, la absorben y aumentan su volumen en un proceso denominado hinchazón imbibición (Gardner, 1982). Desde el punto de vista agrícola el contenido de arcilla es fundamental para que los suelos retengan mayor humedad respecto a los suelos arenosos, debido a que las arcillas manifiestan cargas eléctricas en su superficie, exponiéndolas a la capacidad bipolar del agua.

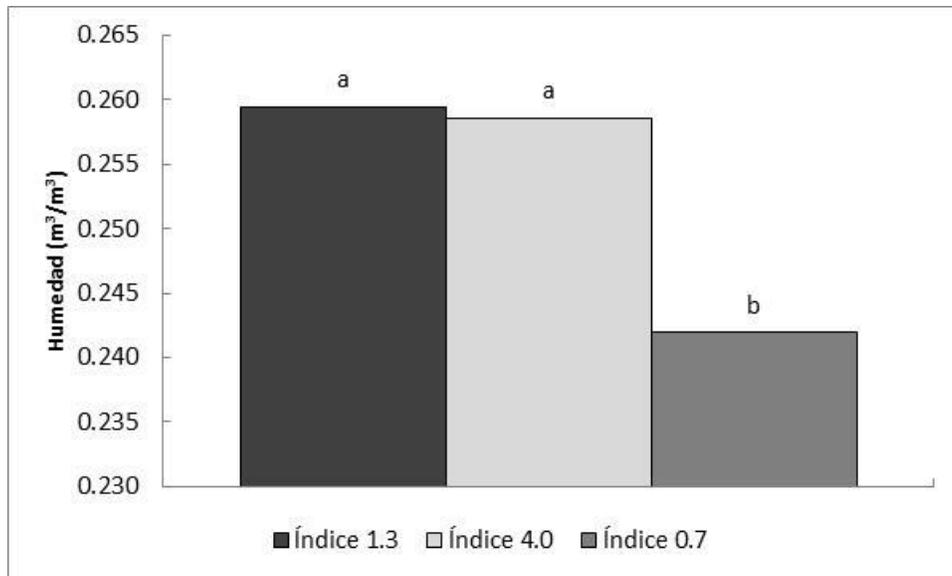


Figura 20. Efecto del índice arcilla/arena en la humedad de los diferentes suelos evaluados ($\alpha=0.05$).

5.1.2. Efecto de la adición de compost de bagazo de agave (C_{BA}) en la humedad de los tratamientos durante cinco ciclos del cultivo

Durante el primer ciclo del *L. perenne* (del día 1 al 81), la humedad obtenida entre los tratamientos con el C_{BA} y sin la adición del mismo manifestaron diferencias significativas Tukey ($P \leq 0.05$), en el contenido volumétrico de humedad en los suelos con índices arcilla/arena de 1.3, 0.7 y 4.0 (Cuadro 4).

Cuadro 4. Efecto de la adición de compost de bagazo de agave en la humedad de los suelos evaluados a los 81 días después de la siembra (DDS) ($\alpha=0.05$).

Tratamiento	Compost t ha ⁻¹	Índice arcilla/arena		
		0.7	1.3	4.0
		m ³ /m ³	m ³ /m ³	m ³ /m ³
T1	0	0.265ab	0.297a	0.288a
T6	0	0.287a	0.274b	0.257b
T2	5.3	0.245bc	0.251c	0.260ab
T3	17.5	0.238cd	0.239c	0.224c
T4	26.4	0.223d	0.239c	0.237bc
T5	43.9	0.219d	0.231c	0.221c

T1= suelo, T2= 5.3 t ha⁻¹ de compost, T3= 17.5 t ha⁻¹ de compost, T4= 26.4 t ha⁻¹ de compost, T5= 43.9 t ha⁻¹ de compost y T6= 200 kg ha⁻¹ de sulfato de amonio.

Durante el segundo ciclo, que se presentó del día 82 al 117, según el análisis no se obtuvieron diferencias significativas en los contenidos de humedad en los tratamientos de los suelos con índice de 0.7 y 1.3, mientras que en el suelo con índice arcilla/arena de 4.0 se presentaron diferencias mínimas entre tratamientos. Y para los suelos con índice 0.7 y 4.0 el mayor contenido de humedad se obtuvo en los tratamientos sin la adición del C_{BA} (Cuadro 5).

Cuadro 5. Efecto de la adición de compost de bagazo de agave en la humedad de los suelos evaluados a los 117 DDS ($\alpha=0.05$).

Tratamiento	Compost t ha ⁻¹	Índice arcilla/arena		
		0.7	1.3	4.0
		m ³ /m ³	m ³ /m ³	m ³ /m ³
T1	0	0.242a	0.273a	0.274a
T6	0	0.261a	0.268a	0.258ab
T2	5.3	0.243a	0.263a	0.260ab
T3	17.5	0.253a	0.277a	0.245b
T4	26.4	0.243a	0.267a	0.267a
T5	43.9	0.249a	0.272a	0.248b

T1= suelo, T2= 5.3 t ha⁻¹ de compost, T3= 17.5 t ha⁻¹ de compost, T4= 26.4 t ha⁻¹ de compost, T5= 43.9 t ha⁻¹ de compost y T6= 200 kg ha⁻¹ de sulfato de amonio.

Del día 83 al 148 (tercer ciclo) se presentaron diferencias estadísticas en los suelos con índice de 0.7 y 1.3, no obstante en el suelo con índice de 4.0 fueron estadísticamente iguales. En los tres suelos evaluados, los tratamientos sin la incorporación del C_{BA} presentaron menor contenido de humedad respecto al resto. Como ya se mencionó anteriormente en el suelo con índice de 4.0 no se presentaron diferencias significativas según el análisis, pero se observa que la adición de 26.4 t ha⁻¹ de compost (T4), manifestó una mayor humedad que el resto de los tratamientos, esta situación se repite en los suelos con índice de 0.7 y 1.3 (Cuadro 6).

Cuadro 6. Efecto de la adición de compost de bagazo de agave en la humedad de los suelos evaluados a los 148 DDS ($\alpha=0.05$).

Tratamiento	Compost t ha ⁻¹	Índice arcilla/arena		
		0.7	1.3	4.0
		m ³ /m ³	m ³ /m ³	m ³ /m ³
T1	0	0.206c	0.215bc	0.234a
T6	0	0.222ab	0.207c	0.232a
T2	5.3	0.225ab	0.225b	0.235a
T3	17.5	0.212bc	0.227a	0.236a
T4	26.4	0.235a	0.242a	0.238a
T5	43.9	0.207c	0.213bc	0.235a

T1= suelo, T2= 5.3 t ha⁻¹ de compost, T3= 17.5 t ha⁻¹ de compost, T4= 26.4 t ha⁻¹ de compost, T5= 43.9 t ha⁻¹ de compost y T6= 200 kg ha⁻¹ de sulfato de amonio.

Dentro del ciclo cuatro que se presentó del día 149 al 170, la humedad volumétrica no manifestó diferencias estadísticas notorias en todos los tratamientos, pero en suelos con los índices arcilla/arena de 0.7 y 1.3 la mayor cantidad de humedad se presentó en la dosis de 26.4 t ha⁻¹ de C_{BA} (Cuadro 7), tal como se observó en los datos en el ciclo anterior.

Cuadro 7. Efecto de la adición de compost de bagazo de agave en la humedad de los suelos evaluados a los 170 DDS ($\alpha=0.05$).

Tratamiento	Compost t ha ⁻¹	Índice arcilla/arena		
		0.7	1.3	4.0
		m ³ /m ³	m ³ /m ³	m ³ /m ³
T1	0	0.219b	0.263ab	0.262ab
T6	0	0.242ab	0.252ab	0.291 ^a
T2	5.3	0.234ab	0.258ab	0.266ab
T3	17.5	0.230ab	0.256ab	0.250b
T4	26.4	0.246a	0.278a	0.272ab
T5	43.9	0.227ab	0.240b	0.260ab

T1= suelo, T2= 5.3 t ha⁻¹ de compost, T3= 17.5 t ha⁻¹ de compost, T4= 26.4 t ha⁻¹ de compost, T5= 43.9 t ha⁻¹ de compost y T6= 200 kg ha⁻¹ de sulfato de amonio.

En el ciclo cinco que comprendió del día 171 al 195, en el contenido de humedad del suelo con índice de 1.3 no presentaron diferencias significativas ($P \leq 0.05$), siendo la dosis de 17.5 t ha⁻¹ la que manifestó la mayor humedad respecto al resto de los tratamientos. En los suelos con índice 0.7 y 4.0 la humedad más alta se expresó en suelos adicionados con el sulfato de amonio (T6), y la humedad más baja en los tratamientos (T5 y T3), que fueron adicionados con el C_{BA} (Cuadro 8).

Cuadro 8. Efecto de la adición de compost de bagazo de agave en la humedad de los suelos evaluados a los 195 DDS ($\alpha=0.05$).

Tratamiento	Compost t ha ⁻¹	Índice arcilla/arena		
		0.7	1.3	4.0
		m ³ /m ³	m ³ /m ³	m ³ /m ³
T1	0	0.254c	0.289a	0.293b
T6	0	0.273a	0.285a	0.310a
T2	5.3	0.254c	0.290a	0.297ab
T3	17.5	0.256bc	0.292a	0.268c
T4	26.4	0.268ab	0.290a	0.294b
T5	43.9	0.251c	0.275a	0.282bc

T1= suelo, T2= 5.3 t ha⁻¹ de compost, T3= 17.5 t ha⁻¹ de compost, T4= 26.4 t ha⁻¹ de compost, T5= 43.9 t ha⁻¹ de compost y T6= 200 kg ha⁻¹ de sulfato de amonio.

Particularmente durante los 195 días de evaluación, el mayor contenido de humedad volumétrica se expresó en suelos donde no fue adicionado el C_{BA} (Cuadro 9), esto se debe a que el C_{BA} ocasiono un cambio estructural en los suelos evaluados, el cual generó un laberinto de poros interconectados que dieron la oportunidad a las raíces del cultivo a que tuvieran una mayor capacidad de absorber agua, dicho cambio estructural (reacomodo de partículas) se incrementó conforme la dosis de C_{BA} fue aumentada. Handreck y Black, (1991) indican que el tamaño de las partículas de los sustratos afecta al crecimiento de la planta a través del tamaño de los poros, y que la distribución del tamaño de las partículas y de los poros determina el balance entre el contenido de agua y aire del sustrato a cualquier nivel de humedad. En relación a lo anterior, Iñiguez *et al.* (2011), demostraron que el compost de bagazo de agave posee 97% de partículas entre las aberturas de mallas de 4.7 y 0.25 cm., y con muy pocas partículas finas. De igual forma López *et al.* (2013), demostraron que los sustratos de compost de bagazo de agave y turba presentaron el más alto porcentaje de partículas menores a 0.25 mm respecto a dos tipos de vermicompost, y que a su vez estos sustratos más una combinación de compost de bagazo de agave con vermicompost (50%-50%),

presentaron el más alto porcentaje de partículas con tamaños de entre 0.25 y 2 mm. La evaluación de cuatro tipos de compost de residuos hortícolas reporta que entre 68 y 78% de las partículas se encuentran dentro del intervalo de 0.25 a 2.5 mm (Mazuela 2005). Puustjarvi (1994), define al mejor sustrato como aquel material de textura media a gruesa, con una distribución del tamaño de las partículas entre 0.25 y 2.5 mm, el cual retiene suficiente agua fácilmente disponible y presenta, además, un adecuado contenido en aire.

Cuadro 9. Efecto de la adición de compost de bagazo de agave en la humedad de los suelos, durante 195 días de evaluación ($\alpha=0.05$).

Tratamiento	Compost t ha ⁻¹	Índice arcilla/arena		
		0.7	1.3	4.0
		m ³ /m ³	m ³ /m ³	m ³ /m ³
T1	0	0.240bc	0.271a	0.271a
T6	0	0.260a	0.260ab	0.267ab
T2	5.3	0.241bc	0.258bc	0.263ab
T3	17.5	0.239bc	0.259b	0.244c
T4	26.4	0.241b	0.261ab	0.260b
T5	43.9	0.231c	0.248c	0.247c

T1= suelo, T2= 5.3 t ha⁻¹ de compost, T3= 17.5 t ha⁻¹ de compost, T4= 26.4 t ha⁻¹ de compost, T5= 43.9 t ha⁻¹ de compost y T6= 200 kg ha⁻¹ de sulfato de amonio.

Durante un estudio de las propiedades físicas en dos compost de bagazo de agave (C_{BA}), se encontró que el 60% de sus características hidrológicas se encuentran entre el agua fácilmente disponible y la capacidad de aire (Iñiguez *et al.*, 2005), influyendo esta última en los bajos contenidos de humedad volumétrica de los tratamientos adicionados con C_{BA}. De igual manera Rodríguez *et al.* (2010) y Iñiguez *et al.* (2011) comprobaron que abonos elaborados a partir de bagazo de agave aportan una mayor porosidad de aire. Lo anterior demuestra con mayor claridad la influencia descendente de la adición de C_{BA} respecto al contenido de humedad volumétrica en los tratamientos

evaluados, teniendo una mejor respuesta el suelo con índice de arcilla/arena de 1.3 (Figura 21).

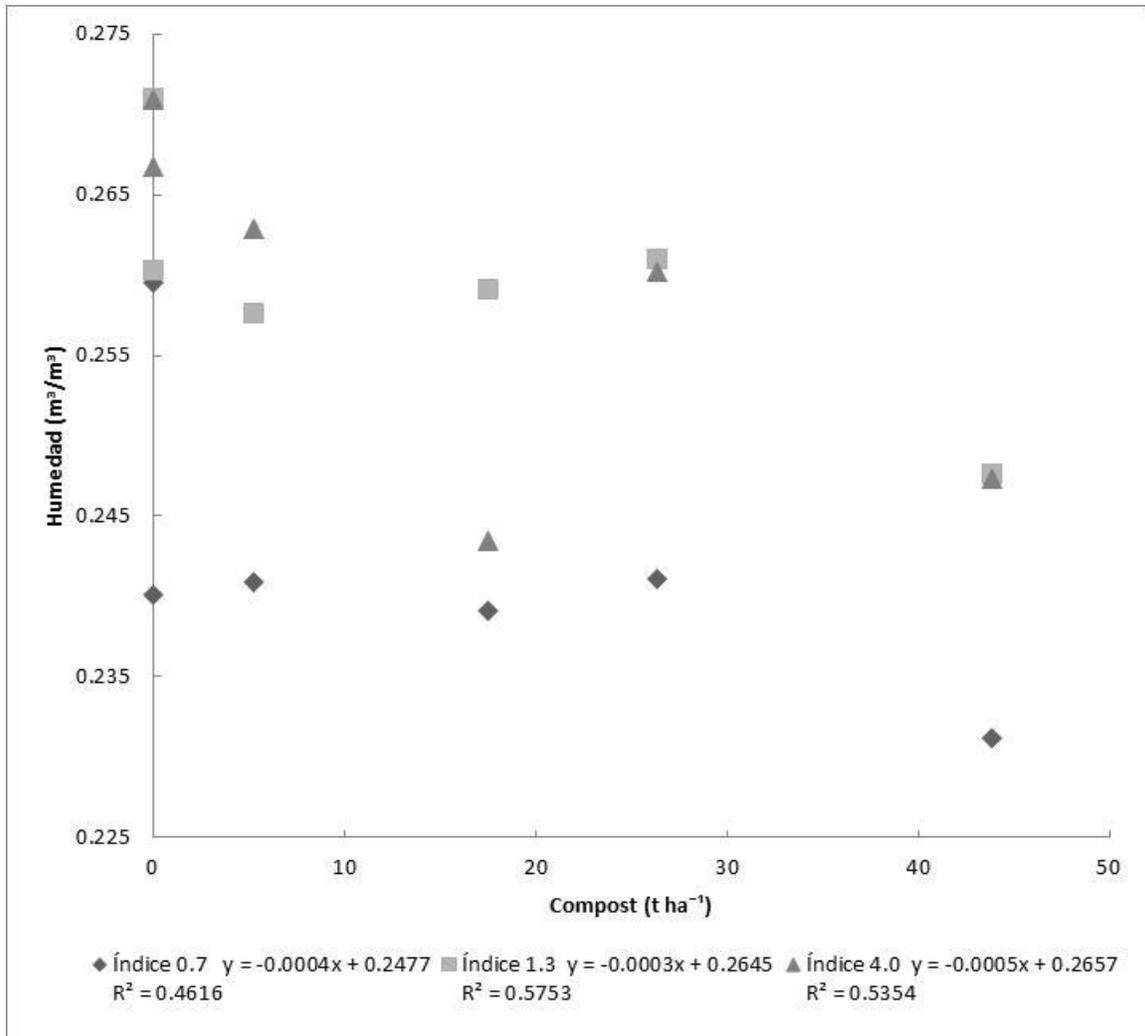


Figura 21. Comportamiento de la humedad (y) respecto a la dosis de compost de bagazo de agave (x) durante el periodo de evaluación ($\alpha=0.05$).

Otra consecuencia de la manifestación de una mayor humedad acumulada en suelos sin la adición de C_{BA} (Figura 22), es la forma en que el equipo de reflectometría de dominio de tiempo (TDR) registró la humedad en los tratamientos, ya que en la técnica TDR un par de barras de metal paralelas conectadas a un receptor de señal que se insertan en el suelo sirviendo como conductores, mientras que el suelo alrededor y

entre las varillas es el medio dieléctrico (que permite ningún flujo neto de carga eléctrica pero sólo un desplazamiento de carga), y cuando esta señal se propaga a lo largo de las líneas de transmisión paralelas, la señal se refleja desde los extremos de esas barras y el dispositivo mide el tiempo entre enviar y recibir la señal reflejada (Topp y Davis, 1985), de modo que el equipo TDR solo midió la señal dieléctrica que fue mayor en los tratamientos sin la adición del C_{BA}.

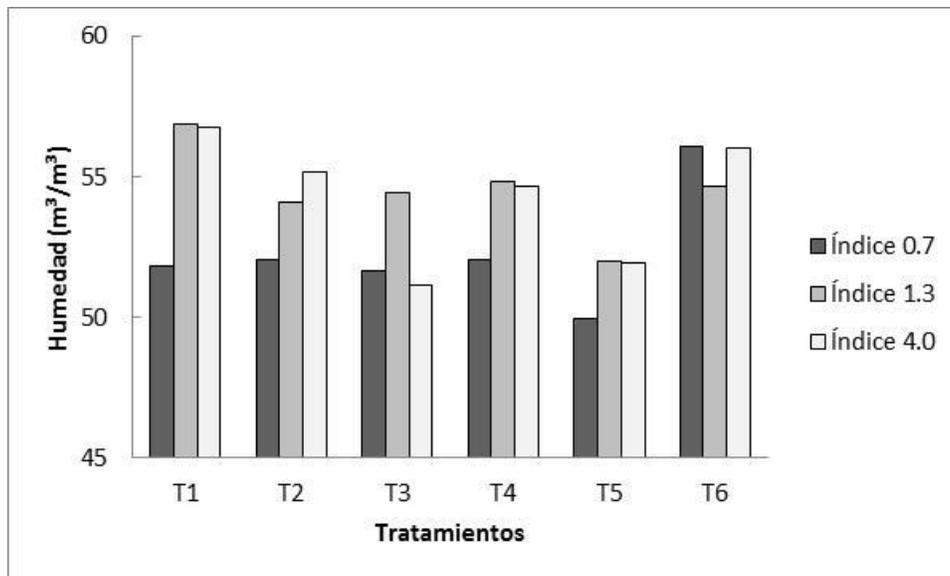


Figura 22. Comparativo de humedad acumulada por tratamientos y tipo de suelo durante 195 días de evaluación (T1= suelo, T2= 5.3 t ha⁻¹ de compost, T3= 17.5 t ha⁻¹ de compost, T4= 26.4 t ha⁻¹ de compost, T5= 43.9 t ha⁻¹ de compost y T6= 200 kg ha⁻¹ de sulfato de amonio).

Ya que en la mayoría de los casos, cuando se realizó el monitoreo de la humedad con el TDR, se observó de manera visual menor humedad en la superficie del suelo en los tratamientos adicionados con el C_{BA}, respecto a los tratamientos sin la adición de este abono. Referente a lo anterior Rodríguez *et al.* (2010), encontraron que el agua de reserva (AR) en abonos de C_{BA} fue mayor respecto al control en dicha evaluación, sugiriendo una relación inversa entre el agua fácilmente disponible (AFD) y AR. Ello se debe a que el bagazo de agave está compuesto por fibras de diferentes tamaños, las cuales presentan aberturas y poros que funcionan a manera de canales de diversas

dimensiones, los cuales incrementan y retienen el volumen de agua (Rodríguez *et al.*, 2010). Esto explica como los suelos sin la adición de C_{BA} y con la mínima adición de este abono, manifestaron mayor contenido de humedad durante el periodo de evaluación (Figura 22), ya que al momento de hacer el muestreo con el equipo TDR en los tratamientos T3, T4 y T5 (con las mayores adiciones de C_{BA}), solo fue determinaba el agua de reserva.

5.1.3. Efecto de la humedad del suelo en los riegos

De manera general, la humedad en los tres tipos de suelo evaluados está íntimamente ligada a los riegos (una fue consecuencia de la otra), esto se puede constatar en la Figura 23, la cual muestra el ejemplo de la relación entre estas dos variables en el suelo con 4.0 de índice arcilla/arena.

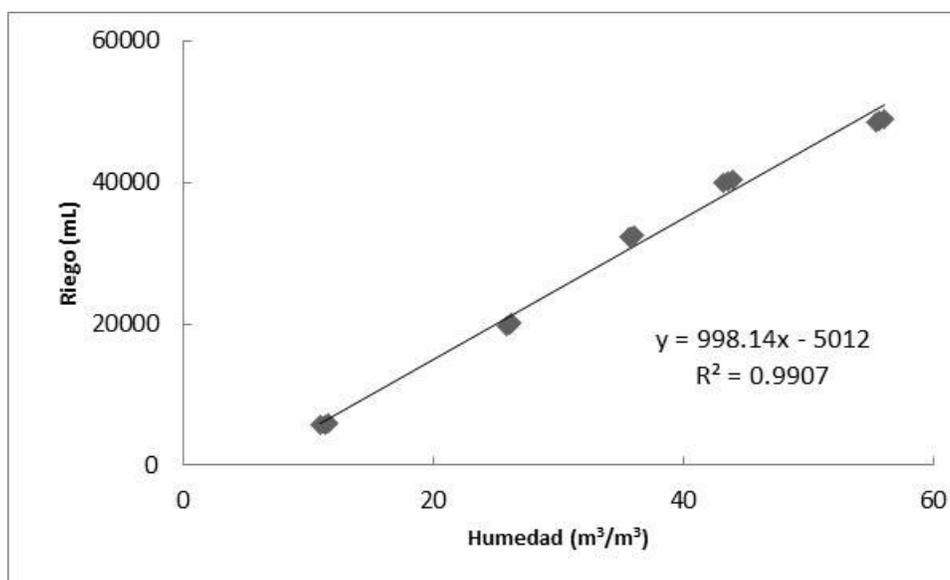


Figura 23. Comportamiento de la humedad acumulada (m³/m³) respecto al riego acumulado (mL), en suelo con índice arcilla/arena de 4.0, durante 195 DDS, en el tratamiento seis (T6).

En el Cuadro 10, se muestra con mayor detalle la influencia de la humedad volumétrica en la cantidad de agua aplicada en cada uno de los tratamientos los cuales obtuvieron un coeficiente de determinación de 0.99 o más.

Cuadro 10. Efecto de la humedad del suelo (x) en los riegos (y) durante 195 días.

Tratamiento	Índice arcilla/arena	Ecuación	R ²
T1	0.7	$y = 1185.4x - 10690$	0.993
T2	0.7	$y = 1133.4x - 8855.3$	0.994
T3	0.7	$y = 1156.9x - 8063.6$	0.991
T4	0.7	$y = 1084.6x - 6076.7$	0.995
T5	0.7	$y = 1202.4x - 4813.8$	0.991
T6	0.7	$y = 1061.4x - 10494$	0.994
T1	1.3	$y = 1007.6x - 8627.1$	0.993
T2	1.3	$y = 1049.5x - 5774.8$	0.993
T3	1.3	$y = 1121.6x - 4323.1$	0.996
T4	1.3	$y = 1040.6x - 2505.4$	0.994
T5	1.3	$y = 1101.4x - 1967.8$	0.995
T6	1.3	$y = 998.14x - 5012$	0.991
T1	4	$y = 1051.1x - 10905$	0.992
T2	4	$y = 1083.2x - 5845.8$	0.992
T3	4	$y = 1058.2x - 4280.4$	0.991
T4	4	$y = 1026.8x - 4205.6$	0.995
T5	4	$y = 1130.3x - 3805.6$	0.991
T6	4	$y = 1088x - 9662.4$	0.990

T1= suelo, T2= 5.3 t ha⁻¹ de compost, T3= 17.5 t ha⁻¹ de compost, T4= 26.4 t ha⁻¹ de compost, T5= 43.9 t ha⁻¹ de compost y T6= 200 kg ha⁻¹ de sulfato de amonio.

En la figura 24 se muestra la cantidad de agua para riego que acumuló cada uno de los tratamientos, y el tratamiento cinco (T5) con 43.9 t ha⁻¹ de C_{BA} recibió mayor cantidad de agua en los tres tipos de suelo evaluados, observándose también una tendencia similar en el T3 (17.5 t ha⁻¹ de C_{BA}). Pero en el tratamiento cuatro (26.4 t ha⁻¹ de compost) esto no se replicó en los suelos con índice arcilla/arena de 0.7 y 1.3. Lo que se relaciona con lo observado por Gagnon *et al.* (1998), que encontraron diferencias en

contenido de agua para riego solamente en un suelo franco arenoso y no en suelo arcilloso.

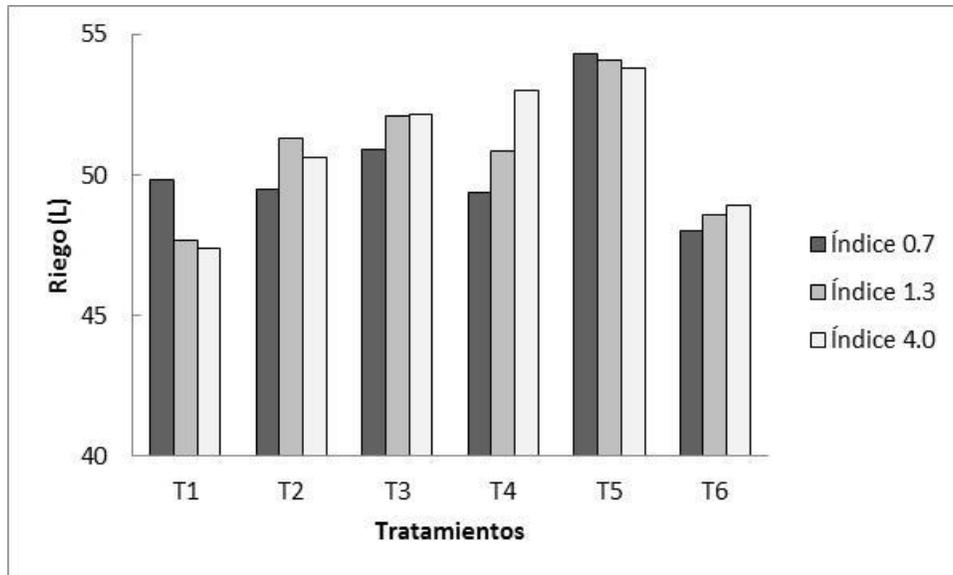


Figura 24. Riego acumulado por tratamientos y tipos de suelo durante 195 días de evaluación, T1= solo suelo, T2= 5.3 t ha⁻¹ de compost, T3= 17.5 t ha⁻¹ de compost, T4= 26.4 t ha⁻¹ de compost, T5= 43.9 t ha⁻¹ de compost y T6= 200 kg ha⁻¹ de sulfato de amonio.

Otro fenómeno interesante es como el índice arcilla/arena influyó en la cantidad de agua para riego, por ejemplo, el suelo con índice de 4.0 fue el que acumuló mayor cantidad de agua durante los 195 días de evaluación, seguido del suelo con índice de 1.3 y finalmente el de índice de 0.7 (Figura 25).

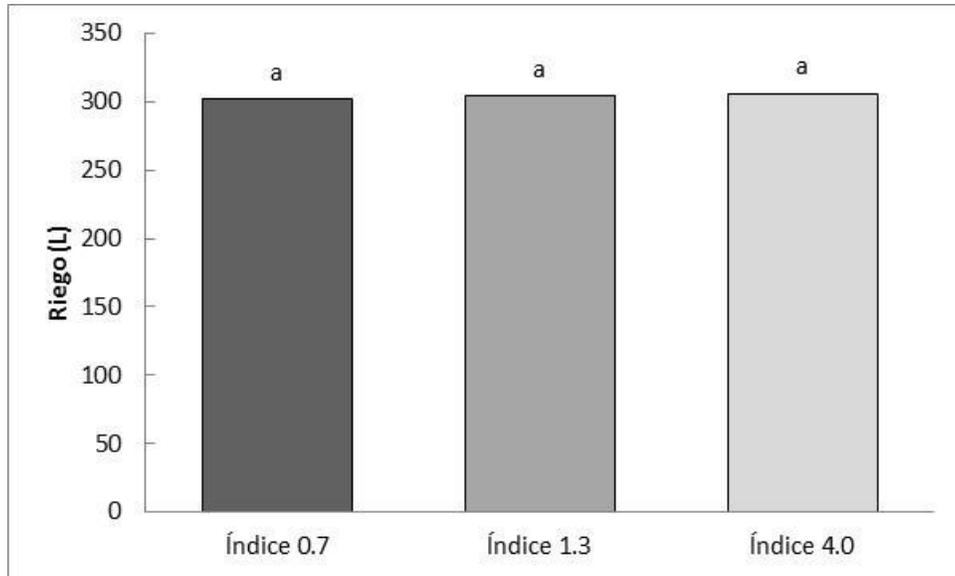


Figura 25. Riego acumulado en los distintos tipos de suelos evaluados durante los 195 días de evaluación ($\alpha=0.05$).

5.1.4. Efecto de la adición de compost bagazo de agave en la temperatura de los suelos

Durante la evaluación de campo, las mediciones de temperatura en las unidades experimentales se realizaron en dos rangos de tiempo, manifestando un comportamiento similar en todos los tratamientos en los tres tipos de suelos durante este período (Figura 26).

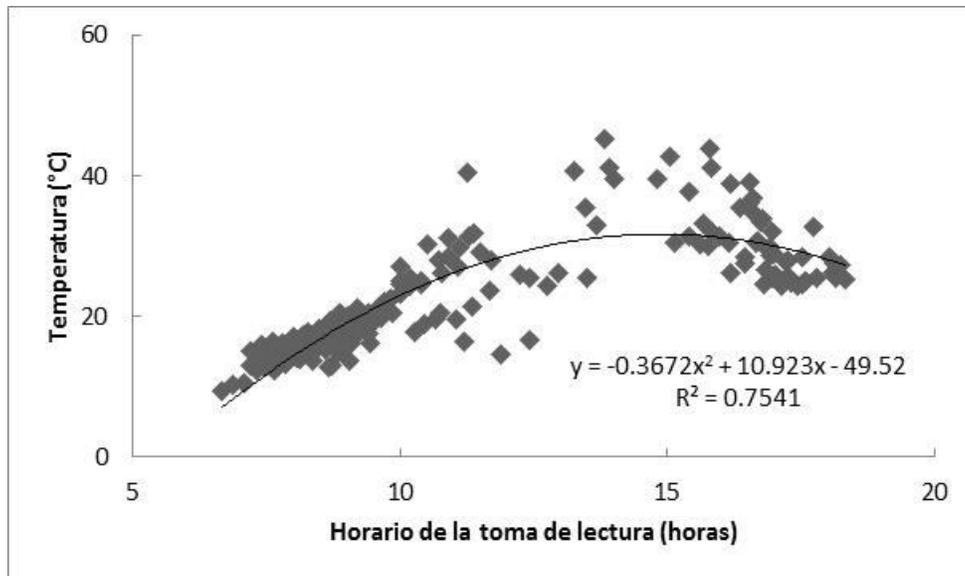


Figura 26. Ejemplo de la variación de la temperatura del suelo °C durante 195 días de evaluación, usando como ejemplo el suelo con índice arcilla/arena de 0.7 (Tratamiento 1).

Iñiguez *et al.* (2011), señala que el compost de bagazo de agave después de los 126 días se estabiliza y las temperaturas que presenta se encuentran entre los 30-36°C. Para el caso de los suelos con índice arcilla/arena de 0.7 y 1.3 la adición de C_{BA} generó una disminución de la temperatura en los tratamientos con mayor concentración de este abono, en cambio para el suelo con índice de 4.0 se observó una tendencia inversa (Cuadro 11). Para el caso particular del T6 en los suelos con índice de 1.3 y 4.0 se observó similitud en el comportamiento de la temperatura (más baja que los adicionados con el C_{BA}), atribuyendo lo anterior a que estos tratamientos manifestaron mayor cantidad de humedad durante el periodo de la investigación.

Cuadro 11. Variación de la temperatura del suelo (y) como consecuencia de la adición del C_{BA} (x). El lapso considerado fue de 195 días en cada tipo de suelo estudiado.

Tratamiento	Índice arcilla/arena	Ecuación	R ²
T1	0.7	$y = -0.3672x^2 + 10.923x - 49.52$	0.754
T2	0.7	$y = -0.3577x^2 + 10.626x - 47.677$	0.767
T3	0.7	$y = -0.3469x^2 + 10.307x - 45.746$	0.772
T4	0.7	$y = -0.3449x^2 + 10.217x - 45.126$	0.766
T5	0.7	$y = -0.3394x^2 + 10.052x - 44.162$	0.767
T6	0.7	$y = -0.3321x^2 + 9.8493x - 43.034$	0.766
T1	1.3	$y = -0.3461x^2 + 10.15x - 44.072$	0.736
T2	1.3	$y = -0.3388x^2 + 9.9376x - 42.755$	0.742
T3	1.3	$y = -0.3373x^2 + 9.8872x - 42.433$	0.731
T4	1.3	$y = -0.3343x^2 + 9.7929x - 41.833$	0.722
T5	1.3	$y = -0.331x^2 + 9.7067x - 41.353$	0.716
T6	1.3	$y = -0.3328x^2 + 9.7753x - 41.834$	0.719
T1	4.0	$y = -0.3507x^2 + 10.23x - 44.458$	0.811
T2	4.0	$y = -0.3527x^2 + 10.283x - 44.737$	0.807
T3	4.0	$y = -0.3518x^2 + 10.255x - 44.577$	0.793
T4	4.0	$y = -0.3461x^2 + 10.132x - 43.944$	0.789
T5	4.0	$y = -0.3476x^2 + 10.155x - 44.05$	0.796
T6	4.0	$y = -0.3396x^2 + 9.9256x - 42.662$	0.788

T1= suelo, T2= 5.3 t ha⁻¹ de compost, T3= 17.5 t ha⁻¹ de compost, T4= 26.4 t ha⁻¹ de compost, T5= 43.9 t ha⁻¹ de compost y T6= 200 kg ha⁻¹ de sulfato de amonio.

5.2. Efecto de la aplicación del compost de bagazo de agave sobre el contenido de nitrógeno en la biomasa aérea del *L. perenne*

5.2.1. Efecto del índice arcilla/arena del suelo en la cantidad de nitrógeno de la biomasa aérea

La cantidad de nitrógeno presente en la biomasa del pasto cultivado presentó diferencias estadísticas; en los suelos con mayores índices de arcilla/arena (1.3 y 4.0), se manifestaron los mayores contenidos de nitrógeno, en contraste el suelo con menor porcentaje de arcilla (índice 0.7), presentó menor nivel de nitrógeno durante la evaluación (Figura 27). De las partículas minerales del suelo, la fracción arcilla se caracteriza por su alta actividad química, principalmente porque es de naturaleza anfótera (capacidad para atraer tanto cationes como aniones), aunque es más importante por su alta capacidad de retener e intercambiar cationes (Mejía, 1975).

La arcilla es un coloide de origen mineral y desde el punto de vista agrícola es considerada como la partícula más activa del suelo (Cepeda 2012), y como se menciona esta partícula coloidal posee la propiedad de intercambiar cationes con el medio que la rodea, en donde el nitrógeno no se escapa de dicha cualidad. Por ello, los suelos evaluados con mayor índice arcilla/arena manifestaron mayor contenido de nitrógeno durante el periodo de la investigación (Figura 27), observándose que el suelo con el índice de 4.0 presentó mayor nivel de este elemento. El tipo de arcilla del suelo tiene una notable influencia en la eficiencia de sales como el NH_4 u otros fertilizantes, por lo tanto, la mineralogía de la arcilla en el suelo debe ser conocida para llevar un buen diseño en los programas de manejo de la fertilidad (BAJWA, 1984).

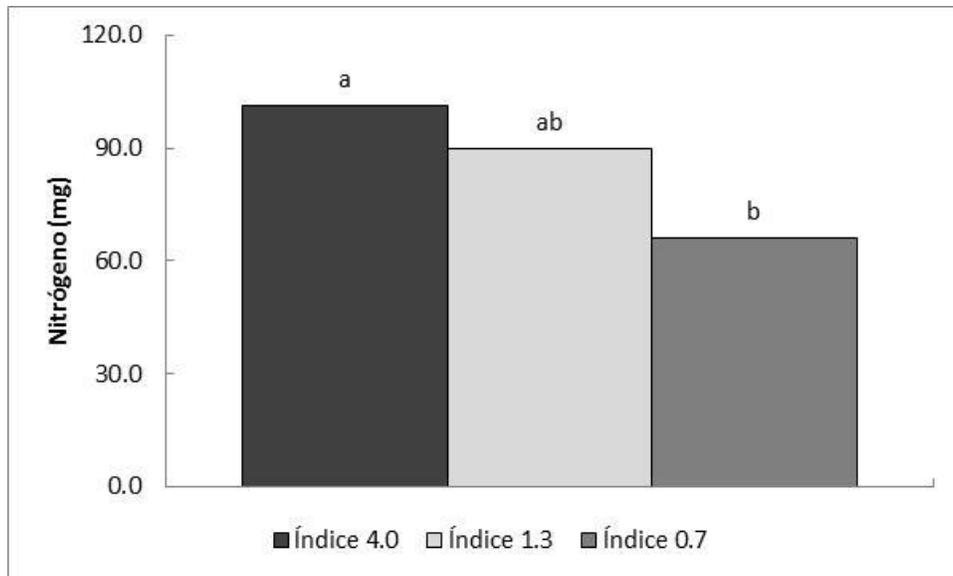


Figura 27. Relación entre el índice arcilla/arena y el contenido acumulado de nitrógeno en la biomasa aérea del pasto *L. perenne*, al cabo de cinco cortes ($\alpha=0.05$).

5.2.2. Efecto de la adición de compost de bagazo de agave en el contenido de nitrógeno de la biomasa aérea

Al igual que la arcilla, la materia orgánica humificada es un componente del suelo que por su tamaño puede formar coloides y se distinguen dos partes: la fase dispersa (definida por las partículas sólidas tanto de origen mineral como orgánico), y el medio continuo (definido como la solución del suelo), (Cepeda, 2012). La interacción de estos complejos coloidales en los suelos adicionados con el compost de bagazo de agave (C_{BA}) y sin él, propició que el valor del nitrógeno en la biomasa del pasto raigrás (*L. perenne*) cambiara. Aunque el análisis estadístico no manifestó diferencias significativas ($\alpha=0.05$) en el contenido de nitrógeno de la biomasa aérea en los tres tipos de suelos, la dosis mayor de C_{BA} (T5), obtuvo la cantidad más elevada de nitrógeno en los tres tipos de suelos evaluados, seguido por el T4 y T6 siendo este último al que se le adiciono sulfato de amonio (Cuadro 12). El compost de bagazo de agave posee un contenido de nitrógeno de 0.83% y con una relación carbono/nitrógeno de 24.0 (Rodríguez *et al.*, 2010), respecto a otros abonos composteados como la

gallinaza con un contenido de 3.2% (Estrada, 2005), el C_{BA} mostro un contenido de nitrógeno tres veces menor, lo que propició que no se manifestaran diferencias contrastantes entre los tratamientos durante el periodo de la investigación. Esto debido a que el origen del compost, es el bagazo del agave que es considerado un residuo lignocelulósico y como tal tiene poco contenido de nitrógeno (0.35%), (Iñiguez *et al.*, 2011).

Cuadro 12. Efecto del compost de bagazo de agave en el contenido de nitrógeno del tejido vegetal aéreo del pasto, durante 195 días de evaluación ($\alpha=0.05$).

Tratamiento	Compost t ha ⁻¹	Índice arcilla/arena		
		0.7	1.3	4.0
		mg	mg	mg
T1	0	41.1a	77.5a	64.3a
T6	0	74.7a	88.2a	112.1a
T2	5.3	50.3a	83.2a	90.8a
T3	17.5	71.1a	89.5a	118.8a
T4	26.4	65.4a	87.0a	99.7a
T5	43.9	93.9a	114.0a	122.9a

T1= suelo, T2= 5.3 t ha⁻¹ de compost, T3= 17.5 t ha⁻¹ de compost, T4= 26.4 t ha⁻¹ de compost, T5= 43.9 t ha⁻¹ de compost y T6= 200 kg ha⁻¹ de sulfato de amonio.

Al evaluarse el efecto C_{BA} excluyendo el tratamiento adicionado con fertilizante mineral (T6), la influencia de este abono orgánico en el contenido de nitrógeno sobre los suelos con índice arcilla/arena de 0.7 y 1.3, fue mayor que en el suelo con índice de 4.0, aun así la interacción en este último es significativa (Figura 28).

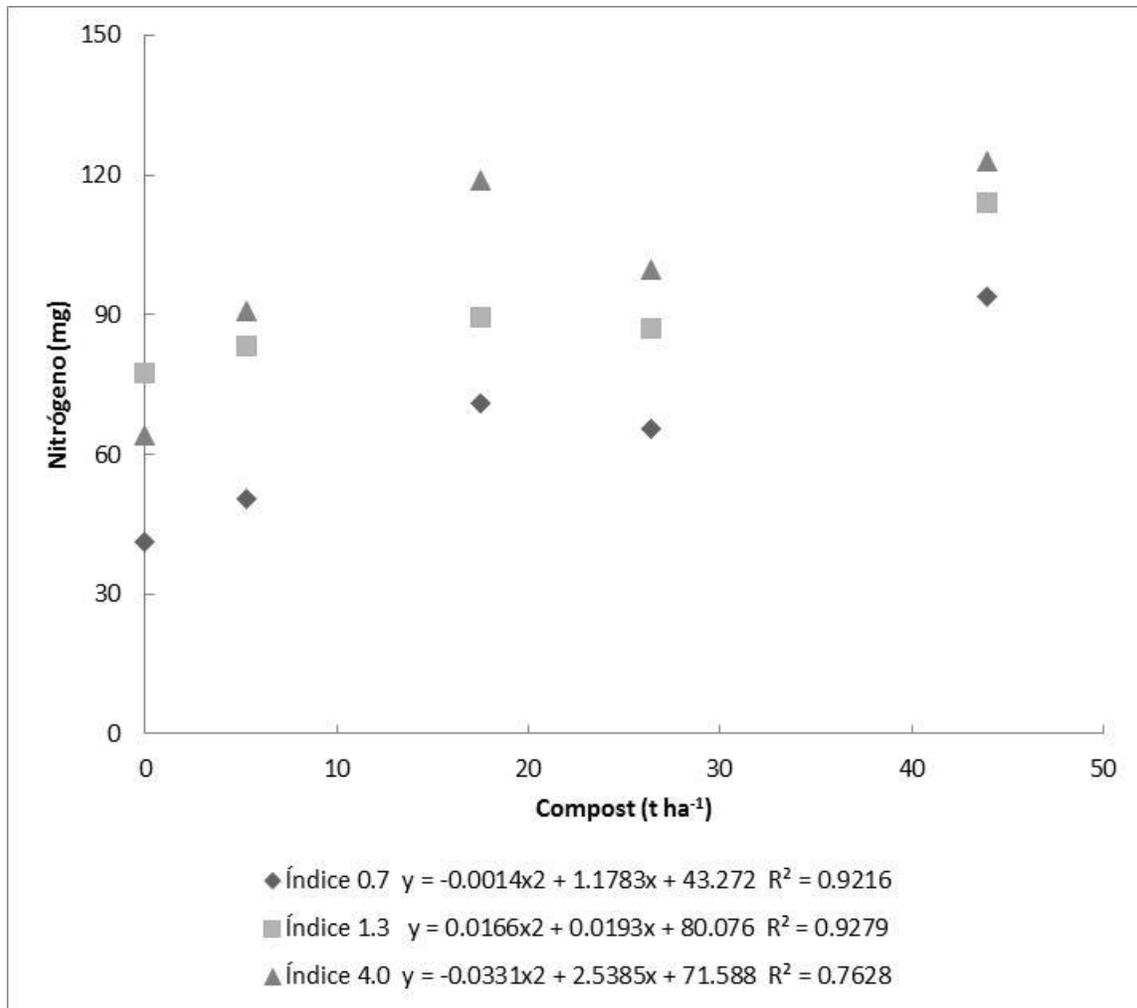


Figura 28. Relación entre las adiciones de compost (x) y el contenido de nitrógeno en la biomasa aérea del pasto *L. perenne* (y), durante los 195 días de evaluación ($\alpha=0.05$).

6.2.3. Efecto de la humedad en el contenido de nitrógeno de la biomasa aérea del pasto

En la Figura 29 se muestra el ejemplo del tratamiento uno (T1), del suelo con índice arcilla/arena de 0.7, resaltando como la cantidad de nitrógeno en la biomasa fue disminuyendo con forme aumenta el periodo en días de evaluación, el resto de los tratamientos en los suelos agrícolas evaluados, se manifestó con la misma tendencia.

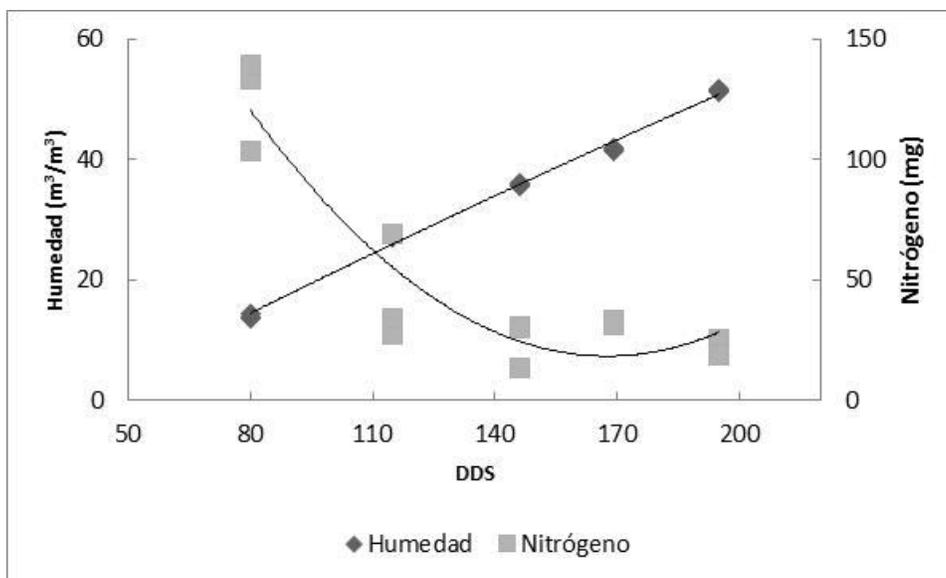


Figura 29. Variación de la humedad acumulada y el contenido de nitrógeno de la biomasa aérea, en el T1 del suelo con 0.7 (índice arcilla/arena), durante 195 días (DDS).

Como ya se mencionó en la metodología, la determinación del nitrógeno (N) en los suelos se obtuvo de manera indirecta analizando las hojas del cultivo, ya que son los órganos vegetativos que muestran un mayor contenido de N en etapas tempranas del desarrollo, y que la demanda del N también se reduce drásticamente con los déficits de agua (González-Dugo *et al.*, 2005). Galvis y Hernández (2004), estudiaron suelos de distintos ambientes climáticos, edáficos, de vegetación y manejo agrícola de México, y encontraron en la primera semana de su evaluación que se presentó un flujo súbito del N mineralizado, seguida por un aumento del N mineralizado acumulado (N_{mac}) prácticamente lineal hasta la quinta semana de incubación, después de esta semana, el incremento del N_{mac} disminuye paulatinamente hasta el final del período de incubación.

La absorción de nitrógeno por las gramíneas se reduce automáticamente bajo condiciones secas, incluso cuando el nitrógeno mineral está presente en el suelo colonizado por las raíces (González-Dugo *et al.*, 2006). Esto se debe a que hay muchos procesos fisiológicos que son afectados por la disponibilidad de agua, en la nutrición mineral (González-Dugo *et al.*, 2005). Por ello el efecto de la humedad del

suelo respecto al contenido de nitrógeno en la biomasa aérea del pasto, obtuvo gran influencia como se muestran los coeficientes de determinación y las ecuaciones de los suelos y sus tratamientos (Cuadro 13).

Cuadro 13. Efecto de la humedad (x) en el contenido de nitrógeno de la biomasa aérea (y) del pasto durante 195 días.

Tratamientos	Índice arcilla/arena	Ecuación	R ²
T1	0.7	$y = 0.1144x^2 - 10.075x + 241.08$	0.8893
T2	0.7	$y = 0.1668x^2 - 13.768x + 305.38$	0.8742
T3	0.7	$y = 0.2429x^2 - 19.815x + 433.58$	0.8926
T4	0.7	$y = 0.1061x^2 - 9.1037x + 243.06$	0.7348
T5	0.7	$y = 0.2505x^2 - 20.117x + 457.84$	0.8571
T6	0.7	$y = 0.19x^2 - 18.776x + 486.85$	0.6649
T1	1.3	$y = 0.1689x^2 - 15.9x + 419.08$	0.9248
T2	1.3	$y = 0.1613x^2 - 13.899x + 357.33$	0.6969
T3	1.3	$y = 0.1916x^2 - 16.331x + 405.68$	0.8785
T4	1.3	$y = 0.1488x^2 - 12.191x + 318.12$	0.7848
T5	1.3	$y = 0.2161x^2 - 18.333x + 468.98$	0.8769
T6	1.3	$y = 0.1364x^2 - 13.149x + 376.42$	0.6579
T1	4.0	$y = 0.1728x^2 - 15.53x + 373.85$	0.9252
T2	4.0	$y = 0.2251x^2 - 19.471x + 462.97$	0.8551
T3	4.0	$y = 0.3853x^2 - 30.503x + 646.49$	0.8447
T4	4.0	$y = 0.1663x^2 - 14.068x + 367.59$	0.8595
T5	4.0	$y = 0.2796x^2 - 22.605x + 526.43$	0.8423
T6	4.0	$y = 0.3401x^2 - 30.639x + 709.06$	0.9528

T1= suelo, T2= 5.3 t ha⁻¹ de compost, T3= 17.5 t ha⁻¹ de compost, T4= 26.4 t ha⁻¹ de compost, T5= 43.9 t ha⁻¹ de compost y T6= 200 kg ha⁻¹ de sulfato de amonio.

5.3. Efecto del índice arcilla/arena y del compost de bagazo de agave en el rendimiento y la producción de biomasa

5.3.1. El efecto de la arcilla en los rendimientos en peso fresco de pasto *L. perenne*

Cuando el contenido de arcilla en suelos es mayor se mejora la retención de agua y nutrientes (Brady, 2004). Ya que la influencia que ejerce la arcilla en el suelo dependen de su composición mineralógica y de la proporción de esta (Brown, 1977). Durante la discusión de resultados nos hemos percatado del efecto positivo de los suelos con índice arcilla/arena mayor sobre el pasto *L. perenne*, y en la producción de biomasa aérea esta variable obtuvo un efecto favorable. Por ello, el rendimiento de pasto fue mayor en suelos con índices de arcilla/arena de 4.0 y 1.3 y menor en suelo con índice de 0.7 (Figura 30). Aunque la prueba estadística no demostró diferencias significativas entre los suelos con índices de 1.3 y 4.0, los resultados en rendimientos fueron superiores en el suelo con índice de 4.0, durante el transcurso de la investigación (Figura 30). Esto puede atribuirse a que en este tipo de suelo se propició un mejor ambiente físico el cual retribuyó al aumento de la producción de biomasa aérea, ya que en dicho ambiente, la naturaleza de las reacciones químicas y biológicas influyeron para el óptimo desarrollo del cultivo utilizado (Sharma *et al.*, 2003).

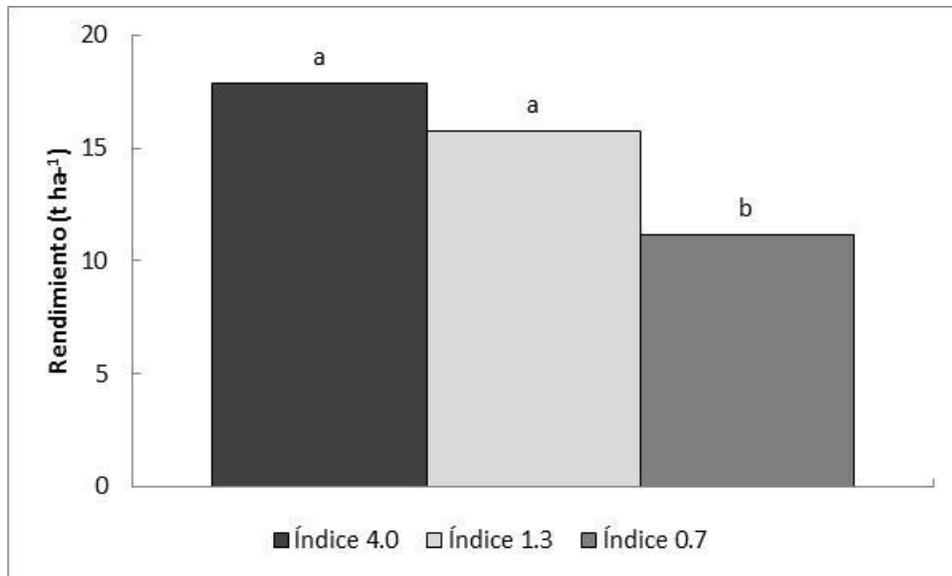


Figura 30. Efecto del índice arcilla/arena sobre los rendimientos en peso fresco del pasto raigrás durante el periodo de evaluación ($\alpha=0.05$).

5.3.2. Efecto de la relación arcilla/arena y adición de compost de bagazo de agave sobre el rendimiento

La aplicación de compost de bagazo de agave, impactó manera positiva en los rendimientos de biomasa aérea de pasto *L. perenne* en los tres tipos de suelos agrícolas durante el periodo de evaluación (195 días). Observándose que el suelo con el índice de 0.7, obtuvo diferencias estadísticas marcadas entre sus medias, más no fue así en los suelos con índice 1.3 y 4.0 (Cuadro 14), y que la aplicación del compost de bagazo de agave obtuvo mayor efecto sobre los rendimientos de peso fresco en los suelos con índice de 1.3 y 0.7 (Figura 31). Lui *et al.* (2009), analizaron que la aplicación de estiércol de vaca trajo como efecto un mayor rendimiento en pasto *L. perenne* sobre todo en el primer corte. En cambio Iñiguez *et al.* (2011), encontraron que la producción de jitomate en los primeros cuatro cortes (después de 55 días de haber sido trasplantadas las plántulas de jitomate), en substratos de dos tipos de composta de bagazo de agave, estopa de coco y “cocopeat”, no se observó diferencia estadística significativa (≤ 0.5) en los cuatro substratos utilizados, en cuanto al rendimiento (g/planta), así como en la calidad de los mismos (color, diámetro y deformaciones). Lo

anterior se debe, a que los requerimientos edáficos y el producto económico de dicho cultivo, contrastan con las necesidades fisiológicas del pasto raigrás (*L. perenne*).

Cuadro 14. Efecto que obtuvo la adición del compost de bagazo de agave sobre el rendimiento en peso fresco del pasto durante 195 días de evaluación ($\alpha=0.05$).

Tratamiento	Compost t ha ⁻¹	Índice arcilla/arena		
		0.7	1.3	4.0
		t ha ⁻¹	t ha ⁻¹	t ha ⁻¹
T1	0	6.52c	11.07b	10.55b
T6	0	8.51bc	12.08b	15.39ab
T2	5.3	8.65bc	14.48ab	16.54ab
T3	17.5	11.75b	17.74ab	19.10ab
T4	26.4	13.44ab	17.56ab	21.37a
T5	43.9	17.96a	21.61a	24.24a

T1= suelo, T2= 5.3 t ha⁻¹ de compost, T3= 17.5 t ha⁻¹ de compost, T4= 26.4 t ha⁻¹ de compost, T5= 43.9 t ha⁻¹ de compost y T6= 200 kg ha⁻¹ de sulfato de amonio.

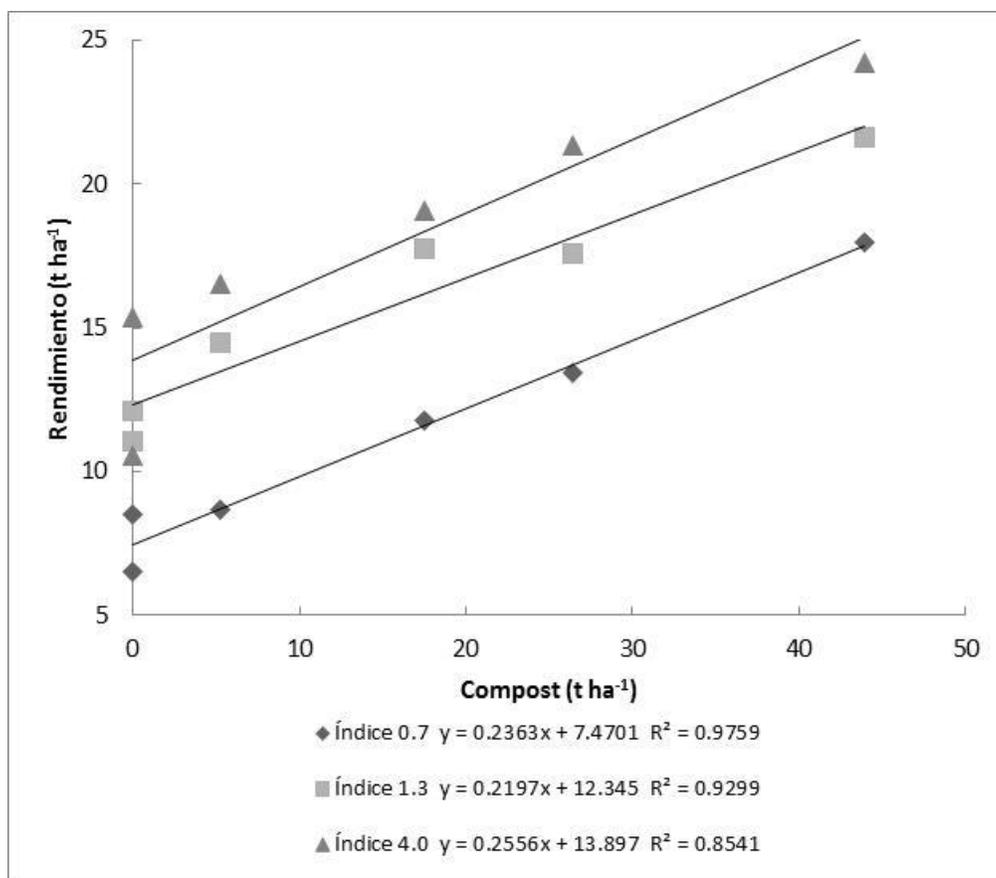


Figura 31. Variación del rendimiento en peso fresco del pasto (y), en relación con la dosis de compost de bagazo de agave (x), en los diferentes suelos evaluados durante 195 días ($\alpha=0.05$).

5.3.3. Rendimiento en peso fresco

De manera general los rendimientos en fresco obtenidos del *L. perenne* en cada ciclo, fueron disminuyendo conforme transcurrió el tiempo en el que se desarrolló la investigación (Figura 32), aún con los requerimientos adecuados de agua para riego y manejo estandarizado en los tratamientos. Esta disminución en el rendimiento se puede atribuir a la reducción de la población, ya que conforme se efectuaron los cortes o la cosecha del pasto (Figura 35), algunas plantas son arrancadas y por competencia son eliminadas. De igual forma el contenido de elementos esenciales como el

nitrógeno, fue disminuyendo en los tratamientos conforme transcurrió el periodo de la evaluación como se mostró en la Figura 29.

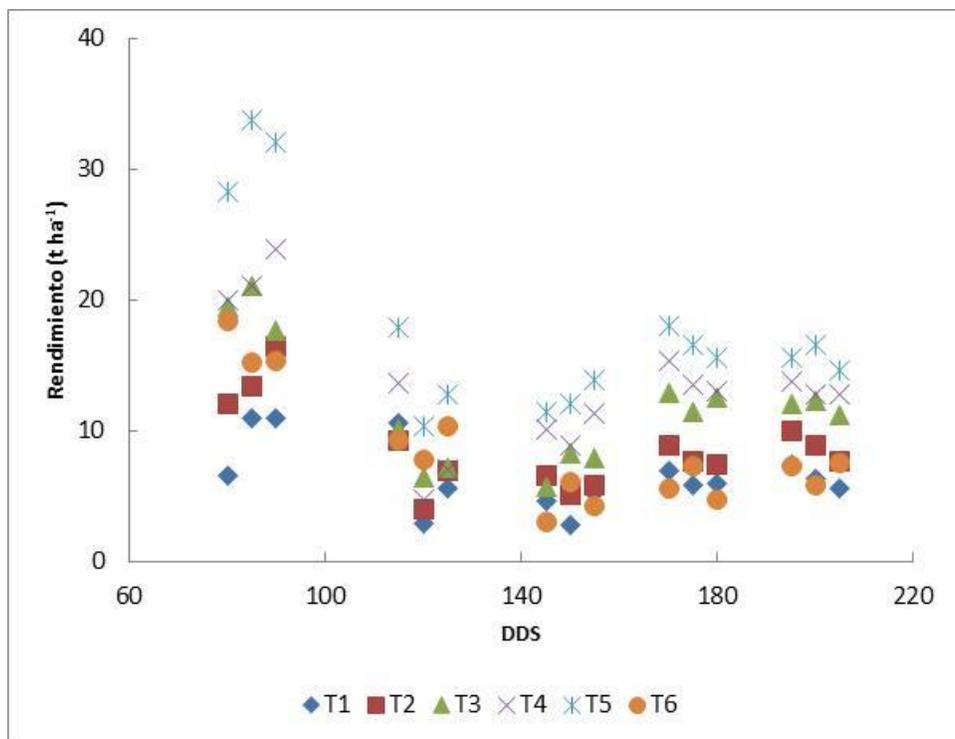


Figura 32. Diferenciación del rendimiento en peso fresco del pasto *L. perenne* durante 195 días de evaluación, en el suelo con 0.7 de índice arcilla/arena (T1= suelo, T2= 5.3 t ha⁻¹ de compost, T3= 17.5 t ha⁻¹ de compost, T4= 26.4 t ha⁻¹ de compost, T5= 43.9 t ha⁻¹ de compost y T6= 200 kg ha⁻¹ de sulfato de amonio).

Durante la evaluación, el rendimiento en peso fresco de los tratamientos T5 y T6 presentó una mayor estabilidad en el suelo con el índice de arcilla/arena de 0.7, mientras que el T1 obtuvo una mayor inestabilidad en esta variable. En los tratamientos restantes (suelo con índice 1.3 y 4.0) se observó una tendencia semejante (Cuadro 15), confirmando que la adición de compost de bagazo de agave como abono orgánico y sulfato de amonio como abono mineral, mantuvieron una mejor estabilidad en el rendimiento de peso fresco durante los cinco ciclos de evaluación del raigrás.

Cuadro 15. Variación del rendimiento en peso fresco del pasto (y) por la adición de compost de bagazo de agave, en un lapso de 195 días (x).

Tratamientos	Índice arcilla/arena	Ecuación	R ²
T1	0.7	$y = 0.0009x^2 - 0.272x + 25.439$	0.414
T2	0.7	$y = 0.0017x^2 - 0.4888x + 42.037$	0.739
T3	0.7	$y = 0.0025x^2 - 0.7179x + 60.206$	0.745
T4	0.7	$y = 0.0024x^2 - 0.7131x + 61.791$	0.614
T5	0.7	$y = 0.0033x^2 - 1.0186x + 90.246$	0.803
T6	0.7	$y = 0.0018x^2 - 0.5676x + 50.473$	0.912
T1	1.3	$y = 0.0019x^2 - 0.6214x + 57.253$	0.867
T2	1.3	$y = 0.0019x^2 - 0.6374x + 63.413$	0.893
T3	1.3	$y = 0.0031x^2 - 1.0012x + 93.006$	0.890
T4	1.3	$y = 0.0031x^2 - 0.983x + 88.831$	0.853
T5	1.3	$y = 0.003x^2 - 1.0493x + 104.73$	0.812
T6	1.3	$y = 0.0012x^2 - 0.4305x + 46.224$	0.805
T1	4.0	$y = 0.0017x^2 - 0.578x + 56.764$	0.620
T2	4.0	$y = 0.0031x^2 - 1.073x + 101.04$	0.970
T3	4.0	$y = 0.0019x^2 - 0.6849x + 75.205$	0.911
T4	4.0	$y = 0.003x^2 - 1.0377x + 104.95$	0.947
T5	4.0	$y = 0.004x^2 - 1.4017x + 136.14$	0.947
T6	4.0	$y = 0.0024x^2 - 0.8927x + 91.141$	0.919

T1= suelo, T2= 5.3 t ha⁻¹ de compost, T3= 17.5 t ha⁻¹ de compost, T4= 26.4 t ha⁻¹ de compost, T5= 43.9 t ha⁻¹ de compost y T6= 200 kg ha⁻¹ de sulfato de amonio.

5.3.4. Rendimiento en peso seco

De igual forma que rendimiento en peso fresco, el rendimiento en peso seco disminuyó conforme transcurrieron los días de la evaluación (Figura 33), ya que estas variables se encuentran íntimamente relacionadas.

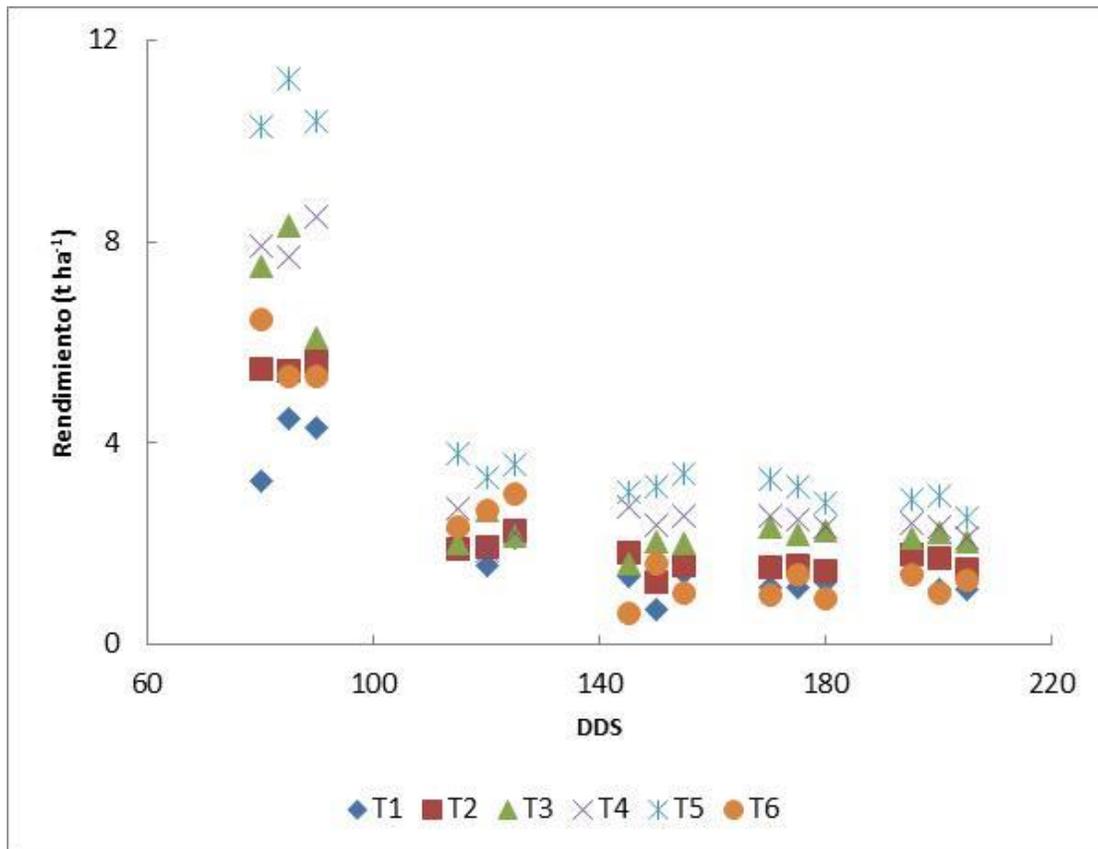


Figura 33. Diferencias del rendimiento en peso seco de pasto *L. perenne* durante 195 días de evaluación, en el suelo con 0.7 de índice arcilla/arena (T1= solo suelo, T2= 5.3 t ha⁻¹ de compost, T3= 17.5 t ha⁻¹ de compost, T4= 26.4 t ha⁻¹ de compost, T5= 43.9 t ha⁻¹ de compost y T6= 200 kg ha⁻¹ de sulfato de amonio).

El rendimiento en peso seco manifestó mayores coeficientes de determinación respecto a los rendimientos en fresco, destacando que los tratamientos adicionados con compost de bagazo de agave (C_{BA}) en el suelo con índice arcilla/arena de 4.0

presentaron una mejor interacción, de igual forma esta tendencia se repite en el suelo con el índice de 1.3, a excepción del tratamiento cinco (T5); en el suelo con índice 0.7 la mejor interacción se dio en el T6, el T2 y el T5, siendo este último al que se le adiciono la mayor cantidad de C_{BA} (Cuadro 16). De la Rosa *et al*, (2014) señalan que en un suelo franco arcillo arenoso (suelo con índice 0.7), con muy bajo contenido de materia orgánica la aplicación o adición de biochars, aumento significativamente el rendimiento de materia seca de *Lolium*, conforme la dosis de este abono aumentaba. La producción de materia seca (ton ha⁻¹) de *Lolium perenne*, obtenida en cada corte (45, 75 y 105 días) aumentó con la progresiva adición de lodos procedentes de una industria de papel y principalmente cuando se añadieron 30 t ha⁻¹, siendo la biomasa total de *L. perenne* obtenida al final del experimento un 60% más que el suelo control, cuando se añadió esta cantidad de lodos al suelo (Gallardo *et al.*, 2012). Jordan *et al.* (2008) encontraron diferencias estadísticas en el aumento de la producción de materia seca de pasto *Lolium perenne*, en el primer corte con la aplicación de 50, 100, 200 y 400 ton ha⁻¹ de compost de residuos de champiñón, pero en el segundo corte solo se encontraron diferencias estadísticas a partir de la dosis de 200 ton ha⁻¹, respecto al control al cual no se le adiciono el compost.

Cuadro 16. Variación del rendimiento en peso seco del pasto *L. perenne* (y) en un lapso de 195 días (x).

Tratamientos	Índice arcilla/arena	Ecuación	R ²
T1	0.7	$y = 0.0004x^2 - 0.1299x + 11.869$	0.914
T2	0.7	$y = 0.0006x^2 - 0.2018x + 17.466$	0.953
T3	0.7	$y = 0.0009x^2 - 0.2799x + 23.714$	0.880
T4	0.7	$y = 0.0009x^2 - 0.2925x + 25.112$	0.870
T5	0.7	$y = 0.0011x^2 - 0.3718x + 32.616$	0.921
T6	0.7	$y = 0.0006x^2 - 0.2058x + 18.25$	0.961
T1	1.3	$y = 0.0004x^2 - 0.135x + 13.582$	0.937
T2	1.3	$y = 0.0005x^2 - 0.1813x + 18.182$	0.965
T3	1.3	$y = 0.0008x^2 - 0.2735x + 25.664$	0.954
T4	1.3	$y = 0.0009x^2 - 0.2854x + 26.2$	0.939
T5	1.3	$y = 0.0008x^2 - 0.2805x + 28.146$	0.919
T6	1.3	$y = 0.0002x^2 - 0.0988x + 11.432$	0.882
T1	4.0	$y = 0.0004x^2 - 0.1542x + 15.089$	0.811
T2	4.0	$y = 0.0007x^2 - 0.2574x + 24.437$	0.983
T3	4.0	$y = 0.0006x^2 - 0.21x + 21.575$	0.961
T4	4.0	$y = 0.0008x^2 - 0.2828x + 27.707$	0.956
T5	4.0	$y = 0.001x^2 - 0.3628x + 34.868$	0.948
T6	4.0	$y = 0.0006x^2 - 0.2163x + 22.145$	0.912

T1= suelo, T2= 5.3 t ha⁻¹ de compost, T3= 17.5 t ha⁻¹ de compost, T4= 26.4 t ha⁻¹ de compost, T5= 43.9 t ha⁻¹ de compost y T6= 200 kg ha⁻¹ de sulfato de amonio.

5.3.5. Efecto de la adición de compost en altura de la planta

El efecto que generó la aplicación del compost en la altura del pasto en los tratamientos fue significativo, debido a que conforme aumentó la dosis de C_{BA} la altura de planta se incrementó, replicándose este fenómeno en los tres tipos de suelos (Cuadro 17). Tres tratamientos que se prepararon a base de compostas de bagazo de agave, produjeron diferencias significativas y altamente significativas en las variables morfológicas evaluadas y superaron ampliamente a los efectos del polvo de coco y la turba; las compostas de bagazo de agave produjeron el mayor efecto sobre el diámetro de piña y el tallo, al igual que sobre el número de hojas y la longitud de hoja; así mismo, todas las mezclas con composta de bagazo de agave incrementaron la anchura de la hoja en plantas de agave (Crespo *et al.*, 2013). López *et al.* (2013), demostraron que la altura de la parte aérea de plantas de chile “Onza” *Capsicum annum* aumento con el compost de agave combinado con vermicompost y el compost sin combinar.

Cuadro 17. Efecto de la adición del C_{BA} en la altura de *L. perenne* durante 195 días, en los suelos y tratamientos evaluados ($\alpha=0.05$).

Tratamiento	Compost t ha ⁻¹	Índice arcilla/arena		
		0.7	1.3	4.0
		mm	mm	mm
T1	0	6.42c	7.38c	8.04b
T6	0	7.38bc	8.23bc	10.06ab
T2	5.3	7.24bc	9.03abc	10.15ab
T3	17.5	7.58bc	9.15abc	11.42ab
T4	26.4	8.68ab	11.17ab	11.78ab
T5	43.9	10.07a	12.09a	13.32a

T1= suelo, T2= 5.3 t ha⁻¹ de compost, T3= 17.5 t ha⁻¹ de compost, T4= 26.4 t ha⁻¹ de compost, T5= 43.9 t ha⁻¹ de compost y T6= 200 kg ha⁻¹ de sulfato de amonio.

Lo anterior refleja claramente la influencia morfológica que tuvo la adición del C_{BA} en el pasto *L. perenne*, pero además esta variable debe de estar ampliamente relacionada

con el rendimiento en peso fresco y peso seco, ya que el comportamiento durante el periodo de evaluación fue similar entre estas tres variables. Otra observación notable, es que el suelo con índice arcilla/arena de 4.0 se manifestaron las mayores alturas en los tratamientos adicionados con el C_{BA}, al igual que los tratamientos sin el C_{BA}, respecto a los dos tipos de suelos restantes. Con estas observaciones, se confirma nuevamente la influencia del contenido de la arcilla en la producción de biomasa, ya que seguido del suelo con índice arcilla/arena de 4.0, se encuentra el suelo con índice 1.3 en lo que respecta la altura de la planta. Aun así, las interacciones entre la aplicación de este residuo y la altura de planta, fueron mayores en los suelos con índice 0.7 y 1.3 (Figura 34).

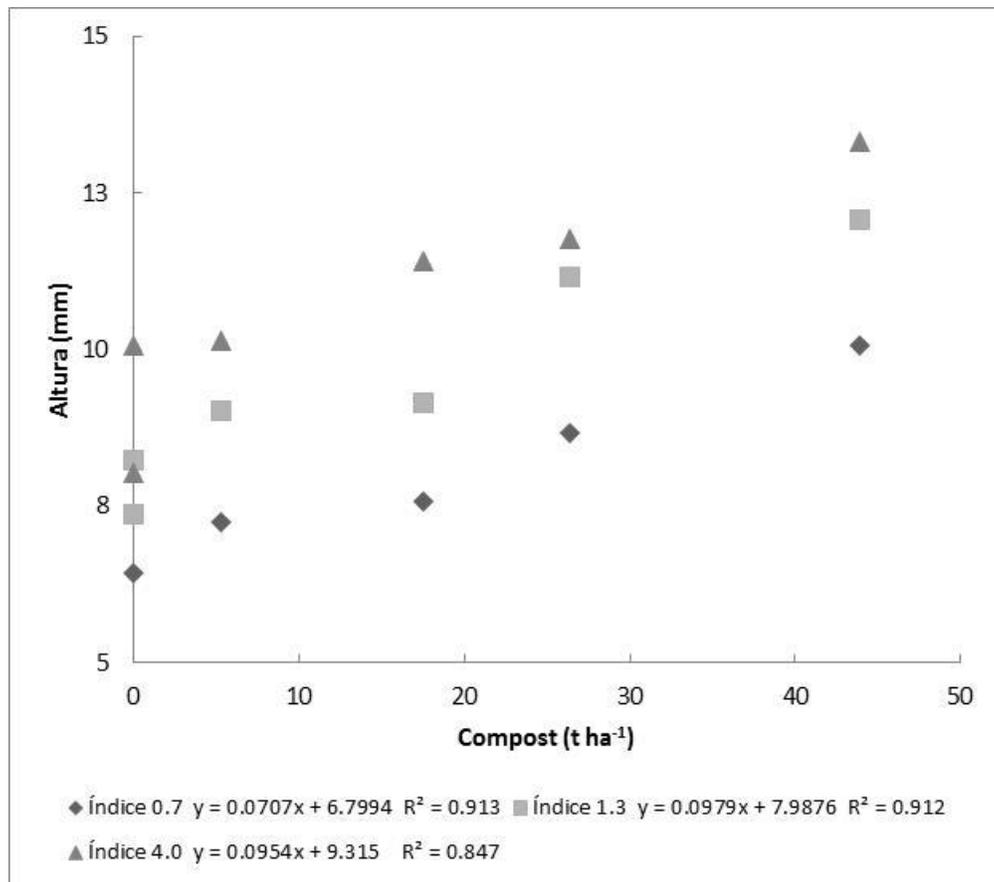


Figura 34. Relación de la altura de planta (y) con la adición del compost de bagazo de agave (x), durante 195 días ($\alpha=0.05$).

5.3.6. Efecto de la adición de compost en la población de plantas por metro cuadrado

Como claramente se observa en la Cuadro 18 el efecto de la incorporación del compost utilizado no fue significativo en la población de los tratamientos ($P \leq 0.05$). Además durante los diferentes ciclos, la población del pasto tuvo un comportamiento semejante al rendimiento y la altura, es decir conforme transcurrió el periodo de evaluación la población de plantas del pasto *L. perenne* fue disminuyendo.

Cuadro 18. Efecto de la adición del compost de bagazo de agave en la población de plantas (m^2) durante 195 días ($\alpha=0.05$).

Tratamiento	Compost $t\ ha^{-1}$	Índice arcilla/arena		
		0.7	1.3	4.0
		miles	miles	miles
T1	0	33.63 a	34.98 a	36.66 a
T6	0	35.64 a	33.36 a	34.26 a
T2	5.3	32.13 a	34.98 a	33.96 a
T3	17.5	33.39 a	36.30 a	35.46 a
T4	26.4	34.68 a	33.12 a	36.24 a
T5	43.9	34.95 a	36.84 a	33.36 a

T1= suelo, T2= 5.3 $t\ ha^{-1}$ de compost, T3= 17.5 $t\ ha^{-1}$ de compost, T4= 26.4 $t\ ha^{-1}$ de compost, T5= 43.9 $t\ ha^{-1}$ de compost y T6= 200 $kg\ ha^{-1}$ de sulfato de amonio.

Pero la interacción entre estas dos variables durante el periodo de evaluación fue mayor en el suelo con índice arcilla/arena de 4.0 (Figura 35).

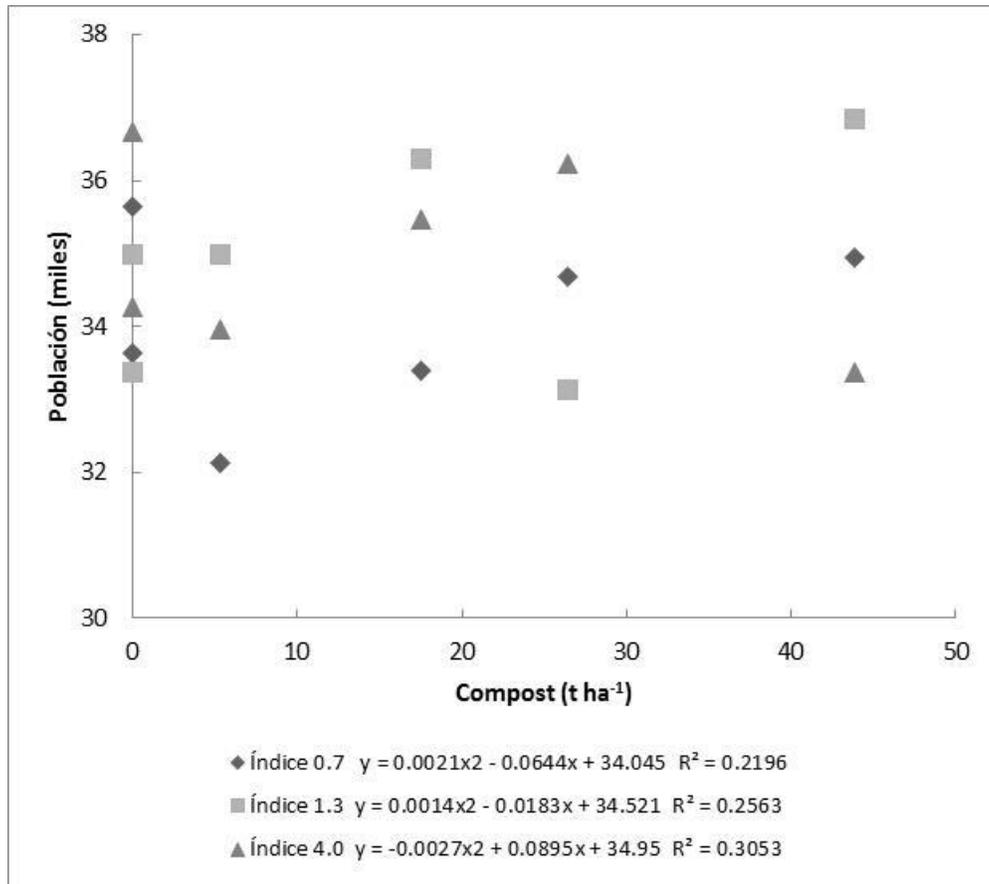


Figura 35. Variación de la población en miles (m²), con la adición del compost de bagazo de agave durante 195 días, en los suelos evaluados ($\alpha=0.05$).

5.4. Efecto del contenido de humedad en el rendimiento en peso fresco

Durante los 195 días de evaluación, la humedad monitoreada en los tratamientos fue menor conforme aumentó la cantidad de C_{BA} aplicada, replicándose este fenómeno en los tres tipos de suelos. Siendo el tratamiento adicionado con sulfato de amonio, el que manifestó mayor humedad acumulada (Figura 36).

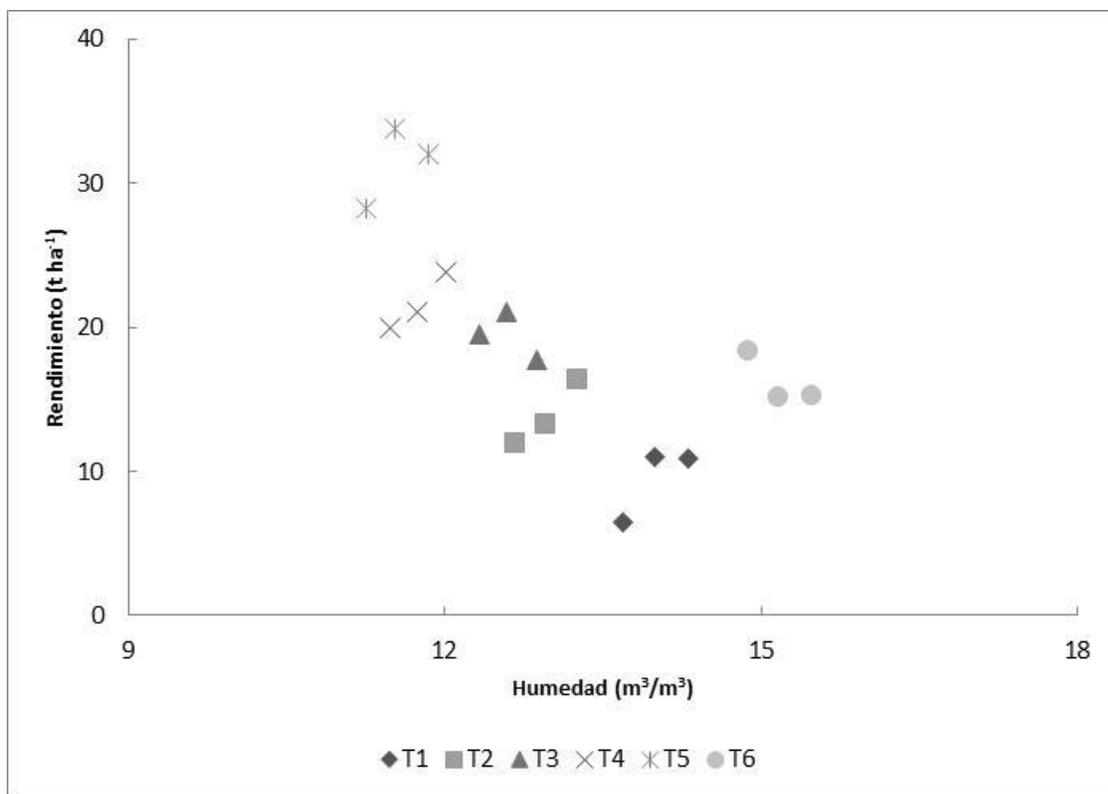


Figura 36. Humedad acumulada (x) y su efecto sobre el rendimiento en peso fresco del raigrás (y) a los 81 días después de la siembra, en suelo con índice arcilla/arena de 0.7.

En la Figura 36, se observó que entre mayor es la dosis de C_{BA} la humedad disminuye, pero para los tratamientos sin la adición del abono orgánico esta fue la excepción. A pesar de ello y de manera general los tratamientos adicionados con el C_{BA} manifestaron una mejor interacción entre estas dos variables, y los tratamientos sin la adición del compost generalmente mostraron una mayor dispersión entre el contenido de humedad y el rendimiento en peso fresco (Cuadro 19), suponiendo que el abono orgánico genera las condiciones para que no existan variaciones importantes en la producción en fresco (t ha⁻¹) del pasto raigrás, de un ciclo a otro.

Cuadro 19. Rendimiento de la biomasa área fresca de pasto *Lolium* (y), respecto al contenido de humedad (x), durante el periodo de evaluación.

Tratamientos	Índice arcilla/arena	Ecuación	R ²
T1	0.7	$y = 0.0074x^2 - 0.5636x + 15.873$	0.390
T2	0.7	$y = 0.0135x^2 - 0.9795x + 23.983$	0.725
T3	0.7	$y = 0.02x^2 - 1.4205x + 33.437$	0.750
T4	0.7	$y = 0.0186x^2 - 1.3262x + 33.368$	0.606
T5	0.7	$y = 0.0276x^2 - 2.0363x + 50.187$	0.821
T6	0.7	$y = 0.013x^2 - 1.1605x + 31.087$	0.905
T1	1.3	$y = 0.0138x^2 - 1.2637x + 36.386$	0.845
T2	1.3	$y = 0.0144x^2 - 1.3024x + 39.601$	0.907
T3	1.3	$y = 0.0215x^2 - 1.9038x + 53.65$	0.921
T4	1.3	$y = 0.0219x^2 - 1.8258x + 50.05$	0.869
T5	1.3	$y = 0.0225x^2 - 2.1335x + 63.647$	0.866
T6	1.3	$y = 0.0092x^2 - 0.9005x + 30.813$	0.773
T1	4.0	$y = 0.0127x^2 - 1.1689x + 33.394$	0.719
T2	4.0	$y = 0.0206x^2 - 1.8529x + 51.397$	0.968
T3	4.0	$y = 0.0141x^2 - 1.2705x + 42.385$	0.940
T4	4.0	$y = 0.0193x^2 - 1.7815x + 55.148$	0.966
T5	4.0	$y = 0.0293x^2 - 2.5042x + 68.262$	0.957
T6	4.0	$y = 0.0168x^2 - 1.6979x + 50.151$	0.933

T1= suelo, T2= 5.3 t ha⁻¹ de compost, T3= 17.5 t ha⁻¹ de compost, T4= 26.4 t ha⁻¹ de compost, T5= 43.9 t ha⁻¹ de compost y T6= 200 kg ha⁻¹ de sulfato de amonio.

5.5. Efecto del nitrógeno sobre la producción de materia seca

Durante el periodo de evaluación y de manera general los tratamientos manifestaron una tendencia similar respecto al contenido de nitrógeno y la producción de materia seca, es decir conforme bajó el rendimiento, el contenido de nitrógeno en la biomasa aérea del pasto (*L. perenne*), fue disminuyendo (Figura 37). La producción de materia seca, así como el número de hojas y el área foliar del *Lolium perenne*, fue mucho más limitada por el nitrógeno (N) que por azufre (S), mientras que en *T. repens* el crecimiento fue muy limitado por S y marginalmente por el N, de igual forma la producción de materia seca y el contenido de nitrógeno en el pasto *Lolium* disminuye conforme aumentan los cortes; pero esto no fue así en los tratamientos de pasto *Lolium* alternado con *T. repens* (Tallec *et al.*, 2008).

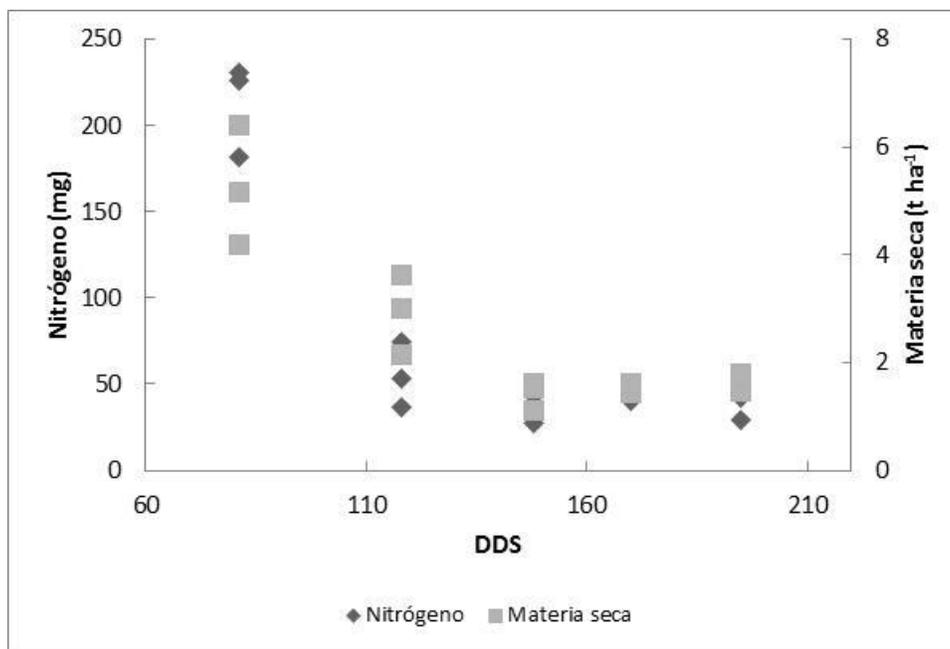


Figura 37. Variación entre la cantidad de nitrógeno en el tejido vegetal de *L. perenne* respecto a la producción de materia seca, en el T1 (tratamiento uno) del suelo con índice 4.0, durante 195 días después de la siembra (DDS).

El nitrógeno contenido en la biomasa aérea del pasto generó una interacción favorable respecto a la producción de biomasa aérea seca, esto se suscitó en todos los tratamientos durante el periodo de evaluación (Cuadro 20).

Cuadro 20. Efecto de la adsorción del nitrógeno en la biomasa aérea (x) sobre la producción de biomasa seca de pasto *Lolium perenne* (y).

Tratamientos	Índice arcilla/arena	Ecuación	R ²
T1	0.7	$y = 0.0262x + 0.6057$	0.854
T2	0.7	$y = 0.0282x + 0.7423$	0.919
T3	0.7	$y = 0.0268x + 0.8824$	0.902
T4	0.7	$y = 0.0436x + 0.0937$	0.723
T5	0.7	$y = 0.0349x + 0.7055$	0.888
T6	0.7	$y = 0.0156x + 0.9589$	0.754
T1	1.3	$y = 0.0209x + 0.7194$	0.868
T2	1.3	$y = 0.025x + 0.9682$	0.674
T3	1.3	$y = 0.0354x + 0.412$	0.871
T4	1.3	$y = 0.0466x - 0.5924$	0.846
T5	1.3	$y = 0.0382x - 0.1974$	0.872
T6	1.3	$y = 0.0179x + 0.8741$	0.801
T1	4.0	$y = 0.0209x + 0.9442$	0.880
T2	4.0	$y = 0.022x + 1.4159$	0.803
T3	4.0	$y = 0.0136x + 2.3679$	0.838
T4	4.0	$y = 0.0348x + 0.569$	0.804
T5	4.0	$y = 0.0292x + 1.1201$	0.858
T6	4.0	$y = 0.016x + 1.4279$	0.872

T1= suelo, T2= 5.3 t ha⁻¹ de compost, T3= 17.5 t ha⁻¹ de compost, T4= 26.4 t ha⁻¹ de compost, T5= 43.9 t ha⁻¹ de compost y T6= 200 kg ha⁻¹ de sulfato de amonio.

Siendo los tratamientos mayormente favorecidos los que recibieron la aplicación del C_{BA} en los suelos con un índice arcilla/arena de 0.7 y 1.3, ya que en estos se generó una mejor estabilidad entre el contenido de nitrógeno en la biomasa aérea y la producción de materia seca. Pero para el caso del suelo con el mayor índice (4.0), los tratamientos sin la adición de abono orgánico obtuvieron una mejor interacción respectó a los tratamientos con el compost (Cuadro 20).

5.6. Comportamiento del rendimiento en peso fresco respecto a las unidades calor (UC)

La producción de biomasa aérea de pasto *Lolium* fue favorecida por las condiciones geográficas y de temperaturas donde se desarrolló la investigación. El *L. perenne* (raigrás) requiere una temperatura entre 15 y 22 °C y una altura entre 1800 y 3600 msnm, pero por encima de los 3000 msnm su crecimiento se reduce (Posada *et al.*, 2013). Otro factor importante que resaltar es que al utilizar la propuesta metodológica planteada por Vázquez *et al.* (2008), se encontró que las unidades calor acumuladas para el óptimo desarrollo del cultivo dentro de un invernadero, se hallaron en el ciclo tres y cuatro (comprendido de 09 de abril al 30 de mayo), esto se corrobora claramente en la Figura 38, observando la dispersión de los puntos encontrados entre 40 y 51 mil UC.

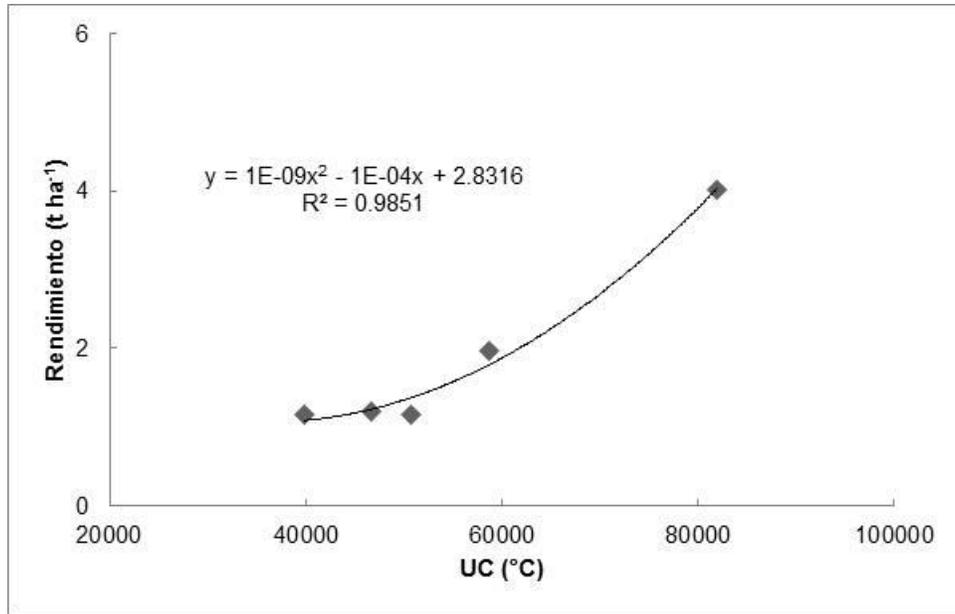


Figura 38. Variabilidad del rendimiento en peso seco (y) respecto a las unidades calor (UC) (x), durante 195 días de evaluación, en suelo con 0.7 de índice arcilla/arena.

De manera general el efecto de las UC sobre la producción de biomasa aérea seca fue contundente en todos los tratamientos. Aun así, la adición del compost de bagazo de agave nuevamente intervino para que la interacción entre estas dos variables fuera favoreciera (Cuadro 21). Por ejemplo, en los suelos con índice arcilla/arena de 1.3 y 4.0, todos los tratamientos adicionados con el compost superaron a los que no se les aplicó dicho abono orgánico (T1 y T6), para el caso del suelo con índice de 0.7 solo el tratamiento seis (T6), su interacción fue inferior respecto al resto de tratamientos.

Cuadro 21. Efecto de las unidades calor (x) sobre la producción de biomasa seca de pasto *L. perenne* (y)

Tratamientos	Índice arcilla/arena	Ecuación	R ²
T1	0.7	$y = 1E-09x^2 - 1E-04x + 2.8316$	0.985
T2	0.7	$y = 3E-09x^2 - 0.0003x + 7.2682$	0.998
T3	0.7	$y = 5E-09x^2 - 0.0005x + 14.151$	0.998
T4	0.7	$y = 5E-09x^2 - 0.0005x + 15.514$	0.986
T5	0.7	$y = 6E-09x^2 - 0.0006x + 16.402$	0.998
T6	0.7	$y = 2E-09x^2 - 0.0001x + 2.3305$	0.974
T1	1.3	$y = 5E-10x^2 + 3E-05x - 0.5243$	0.925
T2	1.3	$y = 2E-09x^2 - 8E-05x + 2.4979$	0.982
T3	1.3	$y = 4E-09x^2 - 0.0003x + 8.9321$	0.991
T4	1.3	$y = 5E-09x^2 - 0.0004x + 11.824$	0.996
T5	1.3	$y = 5E-09x^2 - 0.0004x + 10.3$	0.960
T6	1.3	$y = -4E-10x^2 + 0.0001x - 3.6388$	0.884
T1	4.0	$y = 1E-09x^2 - 7E-05x + 1.8926$	0.960
T2	4.0	$y = 2E-09x^2 - 0.0001x + 3.5433$	0.983
T3	4.0	$y = 2E-09x^2 - 0.0001x + 4.44$	0.992
T4	4.0	$y = 3E-09x^2 - 0.0002x + 4.472$	0.979
T5	4.0	$y = 5E-09x^2 - 0.0004x + 10.058$	0.994
T6	4.0	$y = 1E-09x^2 - 1E-05x - 0.2993$	0.931

T1= suelo, T2= 5.3 t ha⁻¹ de compost, T3= 17.5 t ha⁻¹ de compost, T4= 26.4 t ha⁻¹ de compost, T5= 43.9 t ha⁻¹ de compost y T6= 200 kg ha⁻¹ de sulfato de amonio.

6. CONCLUSIONES

El efecto de la adición de compost de bagazo de agave sobre la humedad del suelo no tuvo un efecto significativo, por la variación en las mediciones realizadas; sin embargo, hubo cambios notorios en la cantidad de agua de riego requerida con una tendencia lineal y positiva respecto al incremento del material orgánico aplicado.

El compost de bagazo de agave tuvo un efecto lineal, positivo sobre la concentración de nitrógeno en la biomasa aérea del raigrás, por lo que el tratamiento en el que se aplicó 43.9 t ha^{-1} se observó una mayor respuesta.

Respecto al rendimiento o producción de biomasa aérea total, la dosis de 43.9 t ha^{-1} de compost de bagazo de agave fue la que mayor impacto tuvo sobre el rendimiento de materia seca y peso fresco en el raigrás.

En este experimento, el raigrás requirió entre 40 y 51 mil unidades calor para completar su ciclo entre cada corte, esto es, cuando en los tallos se observaron la elongación de dos hojas.

Tomando en cuenta el efecto integral de los tratamientos estudiados sobre las diferentes variables evaluadas, se observó que la adición de 26.4 t ha^{-1} de compost de bagazo de agave consistentemente representó la mejor respuesta en cuanto a la retención de humedad, rendimiento en peso fresco y seco, así como en el nitrógeno acumulado en la biomasa aérea del raigrás. Por ello, no se considera necesario hacer adiciones mayores de materiales orgánicos, con la intención de que el productor pueda utilizar dicho insumo con la menor inversión y el máximo beneficio posible que esta práctica le pueda proporcionar.

7. LITERATURA CITADA

Álvarez de Toro, J. 1987. Respuesta del girasol (*Helianthus annuus* L.) a un suministro variable de agua de riego y de nitrógeno, University of Cordoba.

Álvarez, R. 2009. Predicting average regional yield and production of wheat in the Argentine Pampas by an artificial neural network approach. *European Journal of Agronomy*. 30 (2): 70–77.

BAJWA. 1984. Effect of soil clay mineralogy on the efficiency of ammonium sulfate in flooded rice. The International Rice Research Institute, Philippines. *Fertilizer Research*. 5: 281-284.

Barver L.D., Gardner W., Gardner W. 1980. Viscosidad e hinchazón de los coloides del suelo; *In Física de suelos*. 4ta. ed. Cap. 2. UTEHA, México. pp. 56-67.

Bastida F., Kandeler E., Moreno J. L., Ros M., García C., Hernández T. 2008. Application of fresh and composted organic wastes modifies structure, size and activity of soil microbial community under semiarid climate. *Appl Soil Ecol* 40:318–329.

Boldrin A., Andersen J. K., Moller J., Christensen T. H. and Favoino, E. 2009. Composting and compost utilization: accounting of greenhouse gases and global warming contributions. *Waste Manage Res* 27:800–812.

Bonanomi G., Antignani V., Pane C. and Scala E. 2007. Suppression of soilborne fungal diseases with organic amendments. *J Plant Pathol* 89:311–324.

Brady, N.C. 2004. *The nature and properties of soils*. 9th ed. Collier, Mac Millan Publishers, New York, NY.

Bridges E.M., Hannam I.D., Oldeman L.R., Penning de Vries F.W.T., Scherr, S.J., Sombatpanit S. (eds.). 2001. *Responses to Land Degradation*. Science Publishers Inc., Enfield, NH, ISBN 1-57808-152-1 (pbk.).

Brown, K.W. 1977. Shrinking and swelling of clay, clay strength, and other properties of clay soils and soils. En: Dixon, J.B. y S.B. Weed (eds.). Minerals in soil environments. SSSA, Madison, WI. pp. 689-705

Calderini D.F., Dreccer M.F., Slafer G.A. 1995. Genetic improvement in wheat yield and associated traits. A re-examination of previous results and the latest trends. Plant Breeding, 114 (1995), pp. 108–112.

Carlsson M., Andrén O., Stenström J., Kirchmann H., Kätterer T. (2012). Charcoal application to arable soil: effects on CO₂ emissions. Commun. Soil Sci. Plant Anal., 43 (2012), pp. 2262–2273.

Carter, M.R. and Gregorich, E.G. 2006. Soil sampling and methods of analysis. Canadian Society of Soil Science. CRC Press.

Cepeda-Dovala, J., M. 2012. Coloides del suelo; *In* Química de suelos, 1a. ed. (Ed.) Trillas. México. pp. 65-70.

Chastain T., King C., Garbacik C., Young III W., Wysocki D.J., 2015. Irrigation frequency and seasonal timing effects on perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) seed production. Field Crops Research.180: 126–134.

Cornelissen G., Martinsen V., Shitumbanuma V., Alling V., Breedveld G., Rutherford D., Sparrevik M., Hale S., Obia A., Mulder J. 2013. Biochar effect on maize yield and soil characteristics in five conservation farming sites in Zambia. Agronomy, 3: 256–274.

CRT. 2014. Consejo Regulador del Tequila. <http://www.crt.org.mx>. Consultado en octubre 16, del 2015.

Davies G., Lennartsson M. 2005. Organic vegetable production. A complete guide, Henry Doubleday Research Association, The Crowood Press Ltd., ISBN 1 86126 788 6.

De la Rosa J., Paneque M., Miller A., Knicker H. 2014. Relating physical and chemical properties of four different biochars and their application rate to biomass production of *Lolium*

perenne on a Calcic Cambisol during a pot experiment of 79 days. *Science of The Total Environment*. 499:175–184.

Diacono M, and Montemurro F. 2010. Long-term effects of organic amendments on soil fertility. A review. *Agron Sustain Dev* 30:401–422.

Doolette J.B., Magrath W.B. (eds.) 1990. Watershed development in Asia – strategies and technologies. World Bank Technical Paper No. 127. The World Bank. Washington, DC, ISBN 0-8213-1606-0.

Dorado J., Zancada M.C., Almendros G., López-Fando C. 2003. Changes in soil properties and humic substances after long-term amendments with manure and crop residues in dryland farming system, *J. Plant Nutr. Soil Sc.* 166, 31–38.

ECOCROP, 2007. FAO Food and Agriculture Organization of the UN. Helping to build a world without hunger. <http://ecocrop.fao.org/ecocrop/srv/en/home>. Consultado en octubre 18, del 2015.

ESTACIONES METEOROLÓGICAS, CLIMATOLÓGICAS E HIDROLÓGICAS - PARTE 1: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS QUE DEBEN CUMPLIR LOS MATERIALES E INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN DE LAS ESTACIONES METEOROLÓGICAS AUTOMÁTICAS Y CONVENCIONALES. Norma mexicana (NMX-AA-166/1-SCFI-2013). Diario oficial de la federación, 04 de septiembre de 2013.

Estrada M. 2005. Manejo y procesamiento de la gallinaza. Corporación Universitaria Lasallista Antioquia, Colombia. *Revista Lasallista de Investigación*, 2(1):43-48.

Fan X.L., Li Y.K. 2001. Effect of drought stress and drought tolerance heredity on nitrogen efficiency of winter wheat, in: Horst W.W.J., Schenk M.K., Burkert A., Claasen N., Flessa H., Frommer W.B., Goldbach H.E., Olf H.-W., Romheld W., Sattelmacher B., Schmidhalter U., Schubert S., von Wiren N., Wittenmayer L. (Eds.), *Plant Nutrition: Food Security and Sustainability of Agro-Ecosystems*, American Society of Agronomy, Madison, USA, pp. 62–63.

Favoino E., Hogg D. 2008. The potential role of compost in reducing greenhouse gases. *Waste Manage Res* 26:61–69.

Gagnon B, Simard R, Goulet M, Robitaille R, Rioux R (1998) de nitrógeno del suelo y la humedad como la influencia de compost y dosis de fertilizante inorgánico. *Can J Soil Sci* 78: 207-215.

Gajri P.R., Prihar S.S., Arora V.K. 1993. Interdependence of nitrogen and irrigation effects on growth and input-use efficiencies in wheat. *Field Crop. Res.* 31: 71–86.

Gallardo F., Cea M., Tortella G.R., Diez M.C. (2012). Effect of pulp mill sludge on soil characteristics, microbial community and vegetal production of *Lolium Perenne*. *Journal of Environmental Management.* 95:S193–S198.

Galvis A., y Hernández T., (2004). Cálculo del nitrógeno potencialmente mineralizable. *Interciencia.* 29, (7): 377-383.

García R., C. 2005. Levantamiento nutrimental edáfico para la optimización del fertirriego. Estudio de caso: Laboratorio de Ingeniería de Riego “Tlapeaxco”, UACH. Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma Chapingo. Pp 31-43.

Gavande Sampat A. 1987. Composición mecánica del suelo. *In Física de Suelos Principios y Aplicaciones.* 6a. ed. (Ed) LIMUSA Mexico Cap. 2 (pp. 34-35).

Gavande Sampat A. 1987. Composición mecánica del suelo. *In Física de Suelos Principios y Aplicaciones.* 6a. ed. (Ed) LIMUSA Mexico Cap. 4. (pp. 77-86).

González M., González R., Rodríguez R., Rendón L., Ignacio J. y Torres J. 2013. Evaluación de la composta de bagazo de agave como componente de sustratos para producir plántulas de agave azul tequilero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas,* 4 (8): 161-1173.

Gonzalez-Dugo V. 2006. Effet du déficit hydrique sur l'état de nutrition azotée chez les graminées fourragères, University of Poitiers, France. 189-102.

Gonzalez-Dugo V., Durand J.L., Gastal F., Picon-Cochard C. 2005. Short-term response of the nitrogen nutrition status of tall fescue and Italian ryegrass swards under water deficit, *Aust. J. Agr. Res.* 56: 1269–1276.

Handreck, K.A and Black, N.D. 1991. *Growing media for ornamental plants and turf*. New South Wales University Press, Kensington, Australia, 401 pp.

Hargreaves J, Adl M, Warman P (2008) A review of the use of composted municipal solid waste in agriculture. *Agric Ecosyst Environ* 123:1–14.

Hillel D., 2004. Water Content and Potential; *In* Introduction to Environmental Soil Physics, (ed.) Hillel D., (Ed.) ELSEVIER, China. pp 93-125.

Iñiguez G., Acosta N., Martínez L., Parra J., González O. 2005. Utilización de subproductos de la industria tequilera. Parte 7. Compostaje de bagazo de agave y vinazas tequileras. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 21 (1): 37-50.

Iñiguez G., Parra J., Velasco P. A. 2006. Utilización de subproductos de la industria tequilera. Parte 8. Evolución de algunos constituyentes de la mezcla de biosólidos-bagazo de agave durante el compostaje *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. 22 (2): 83-93.

Iñiguez G., Martínez G. A., Flores P. A. y Virgen G. 2011. Utilización de subproductos de la industria tequilera. Parte 9. Monitoreo de la evolución del compostaje de dos fuentes distintas de bagazo de agave para la obtención de un sustrato para jitomate. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. 27 (1): 47-59.

Jordan S.N., Mullen G.J., Courtney R.G. 2008. Utilization of spent mushroom compost for the revegetation of lead–zinc tailings: Effects on physico-chemical properties of tailings and growth of *Lolium perenne*. *Bioresource Technology*. 99 (17): 8125–8129.

Killi D., Kavdır Y. 2013. Effects of olive solid waste and olive solid waste compost application on soil properties and growth of *Solanum lycopersicum*. *International Biodeterioration & Biodegradation*. 82: 157–165.

Lemaire G., Meynard J.M. 1997. Use of the nitrogen nutrition index for the analysis of agronomical data, *Diagnosis of the Nitrogen Status in Crops*, 45–55.

Linneaus C. 1753 *Species Plantarum* I: 83. Stockholm.

López J., Méndez A., Pliego L., Aragón E., y Robles M. 2013. Evaluación agronómica de sustratos en plántulas de chile 'onza' (*Capsicum annum*) en invernadero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas Pub. Esp. Núm:* 1139-1150.

Marmo L. 2008. EU strategies and policies on soil and waste management to offset greenhouse gas emissions. *Waste Manage* 28: 685–689.

Martínez-Blanco, J., C. Lazcano, TH Christensen, P. Muñoz, J. Rieradevall, J. Moller, A. Antón, y A. Boldrin. 2013. Los beneficios de compost para la agricultura evaluados por análisis del ciclo de vida. Una revisión *Agronomía y Desarrollo Sostenible*. 33: 721-732.

Martinsen V., Mulder J., Shitumbanuma V., Sparrevik M., Børresen T., Cornelissen G. 2014. Farmer-led maize biochar trials: effect on crop yield and soil nutrients under conservation farming. *J. Plant Nutr. Soil Sci.*, 177: 681–695.

Mazuela, A. C. P. 2005. Caracterización y evaluación agronómica del compost de residuos hortícolas como sustrato alternativo con cultivos sin suelo. Tesis Doctoral. Universidad de Almería. España.

Mejia, C.L. 1975. Characteristics of a common soil toposequence of the Llanos orientales of Colombia. Tesis de maestría. Department of Soil Science, North Carolina State University, Raleigh, NC.

Mukherjee A., and Lal R. (2013). Biochar impacts on soil physical properties and greenhouse gas emissions. *Agronomy*, 3: 313–339.

Nelson, D.W. and Sommers. L.E. 1973. Determination of total nitrogen in plant material. *Agronomy Journal* 65: 109-112.

Obiaa A., Muldera J., Martinsena V., Cornelissena G., Børresena T. 2016. In situ effects of biochar on aggregation, water retention and porosity in light-textured tropical soils. *Soil & Tillage Research*. 155: 35–44.

Onillon B., Durand J.L., Gastal F., Tournebize R. (1995) Drought effects on growth and carbon partitioning in a tall fescue sward grown at different rates of nitrogen fertilization, *Eur. J. Agron.* 4: 91–99.

Paiva T., Pires A., Perfect E., y Tormena C., (2005). An Algorithm for Calculating the Least Limiting Water Range of Soils. *American Society of Agronomy. Published in Agron. J.* 97: 1210–1215.

Pirmoradian N., Sepaskhah A.R., Maftoun M. 2004. Deficit irrigation and nitrogen effects on nitrogen-use efficiency and grain protein of rice, *Agronomie.* 24: 143–153.

Posada S., Cerón J., Arenas J., Hamedt, J., Álvarez, A. 2013. Evaluación del establecimiento de ryegrass (*Lolium* sp.) en potreros de kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) usando la metodología de cero labranza. *Revista CES Medicina Veterinaria y Zootecnia.* 8 (1): 23-32.

Puustjarvi V. (1994). *La turba y su manejo en la horticultura.* Ediciones de Horticultura. S. L. Reus. España. 240 pp.

Ribero M., Freitas V., Uhlmann A., Dedecek R., Ribas G., 2015. Clay mineralogy and genesis of fragipan in soils from Southeast Brazil. *CATENA.* 135: 22–28.

Rodríguez R., Alcantar E., Iñiguez G., Zamora F., García P., Ruiz M. y Salcedo E. 2010. Caracterización física y química de sustratos agrícolas a partir de bagazo de agave tequilero. *Interciencia.* 35 (7): 515-520.

ROU, 2007. Life cycle inventory and life cycle assessment for windrow composting systems. NSW Department of Environment and Conservation. The University of New South Wales, Sydney.

Sadras V.O. 2005. A quantitative top-down view of interactions between stresses: theory and analysis of nitrogen-water co-limitation in Mediterranean agro-ecosystems, *Aust. J. Agr. Res.* 56: 1151–1157.

Satorre E.H., Slafer G.A.1999. Wheat production systems of the Pampas. *Wheat Ecology and Physiology of Yield Determination*, The Haworth Press Inc., New York. pp. 333–348.

Segura Castruita, Miguel A., Gutiérrez C., Ma. del Carmen; Ortiz S., Carlos A.; Gómez D., David J. 2000. Suelos arcillosos de la zona oriente del Estado de México *Terra Latinoamericana*. 18 (1): 35-44

.

Sharma, P.K.; J.K. Ladha; T.S. Verma; R.M. Bhagat y A.T. Padre. 2003. Rice–wheat productivity and nutrient status in a lantana- (*Lantana* spp.) amended soil. *Biol. Fertil. Soils* 37 (2): 108-114.

Shiklomanov IA. 2000. Appraisal and assessment of world water resources. *Water Int.* 25: 11–32.

Tallec T., Diquélou S., Lemauviel S., Cliquet J.B., Lesuffleur F., Ourry A. (2008). Nitrogen:sulphur ratio alters competition between *Trifolium repens* and *Lolium perenne* under cutting: Production and competitive abilities. *European Journal of Agronomy*. 29 (2–3): 94–101.

Topp, G. C., and Davis, J. L. 1985. Time-domain reflectometry (TDR) and its application to irrigation scheduling. In: Hillel, D., ed., “Advances in Irrigation,” Vol. 3. Academic Press, San Diego.

Villalobos L., y Sánchez J., 2010. Evaluación agronómica y nutricional del pasto Ryegrass perenne tetraploide (*Lolium perenne*) producido en lecherías de las zonas altas de Costa Rica. *Agronomía Costarricense*. 34 (1): 43-52.

Willekens K., Vandecasteele B., Buchan D., De Neve S. 2014. Soil quality is positively affected by reduced tillage and compost in an intensive vegetable cropping system. *Applied Soil Ecology*. 82: 61–71.

Wong M.T.F. and Asseng S. 2006. Determining the causes of spatial and temporal variability of wheat yields at sub-field scale using a new method of upscaling a crop model. *Plant Soil*. (283): 203–215.

8. ANEXOS

8.1. Lugar seleccionado en donde se extrajeron las muestras de los suelos de uso agrícola.

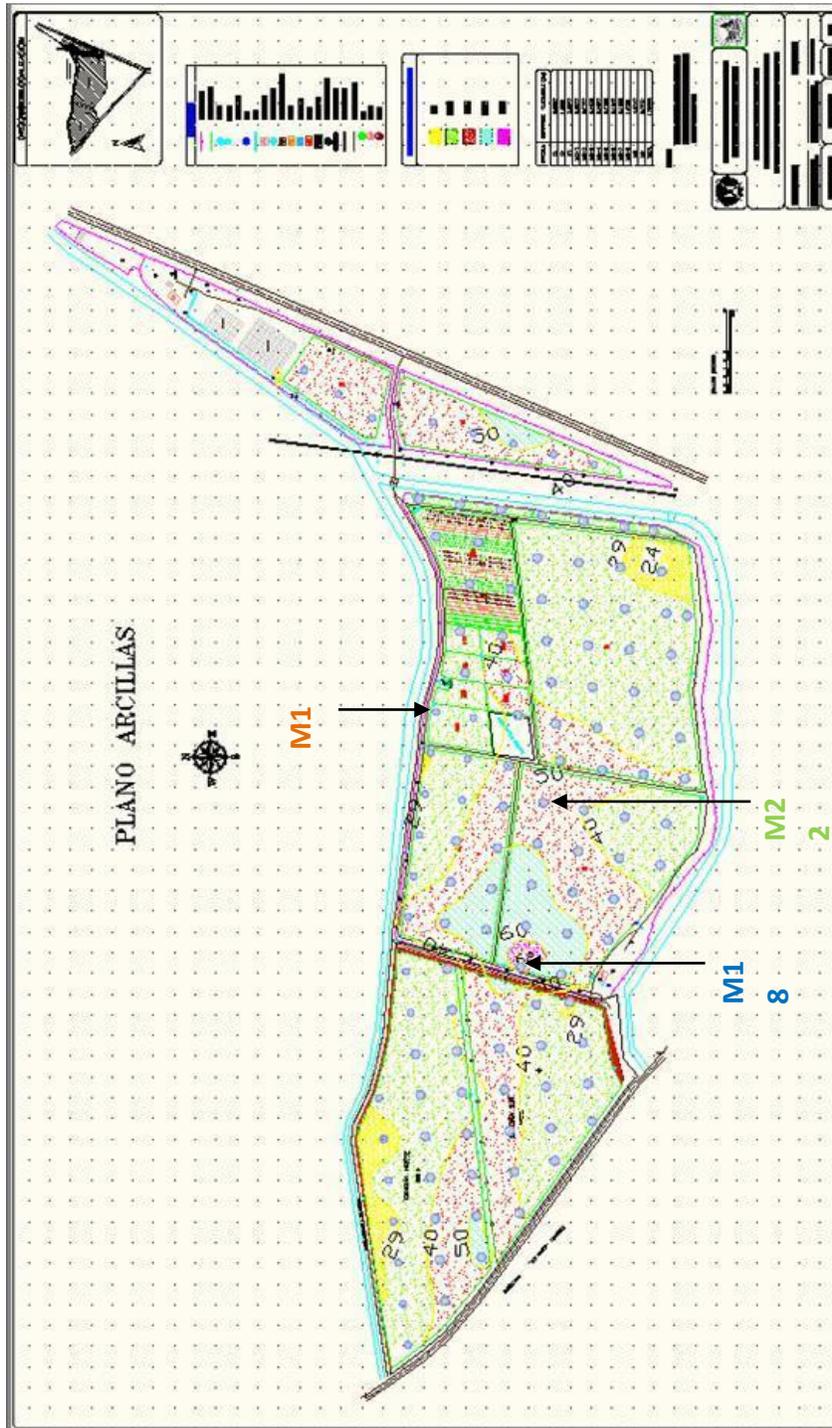


Figura A. 1. Mapa de caracterización realizada por García (2005), en donde fueron extraídas las muestras de suelos (M1=Suelo con índice arcilla/arena 0.7, M22=Suelo con índice de 1.3, M18=Suelo con índice de 4.0).

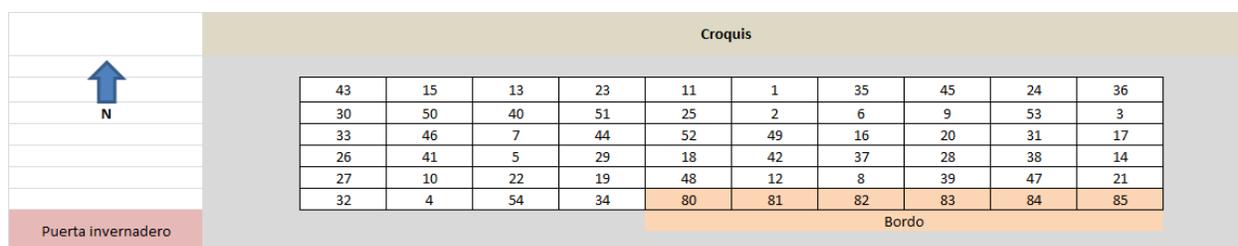


Figura A. 2. Croquis de la distribución de tratamientos en invernadero.

Cuadro A. 1. Descripción e identificación de los tratamientos evaluados durante la investigación

Descripción	No. en croquis	Nombre	Tratamiento	No. Repetición
Solo suelo	6	M1 Suelo	T1	R1
5.3 t ha ⁻¹ Compost	32	M1 Dosis 1	T2	R1
17.5 t ha ⁻¹ Compost	31	M1 Dosis 2	T3	R1
26.4 t ha ⁻¹ Compost	20	M1 Dosis 3	T4	R1
43.9 t ha ⁻¹ Compost	46	M1 Dosis 4	T5	R1
200 kg ha ⁻¹ ((NH ₄) ₂ SO ₄)	28	M1 Sulfato	T6	R1
Solo suelo	21	M1 Suelo	T1	R2
5.3 t ha ⁻¹ Compost	16	M1 Dosis 1	T2	R2
17.5 t ha ⁻¹ Compost	40	M1 Dosis 2	T3	R2
26.4 t ha ⁻¹ Compost	39	M1 Dosis 3	T4	R2
43.9 t ha ⁻¹ Compost	2	M1 Dosis 4	T5	R2
200 kg ha ⁻¹ ((NH ₄) ₂ SO ₄)	35	M1 Sulfato	T6	R2
Solo suelo	26	M1 Suelo	T1	R3
5.3 t ha ⁻¹ Compost	25	M1 Dosis 1	T2	R3
17.5 t ha ⁻¹ Compost	4	M1 Dosis 2	T3	R3
26.4 t ha ⁻¹ Compost	45	M1 Dosis 3	T4	R3
43.9 t ha ⁻¹ Compost	44	M1 Dosis 4	T5	R3
200 kg ha ⁻¹ ((NH ₄) ₂ SO ₄)	8	M1 Sulfato	T6	R3
Solo suelo	10	M18 Suelo	T1	R1
5.3 t ha ⁻¹ Compost	34	M18 Dosis 1	T2	R1
17.5 t ha ⁻¹ Compost	30	M18 Dosis 2	T3	R1
26.4 t ha ⁻¹ Compost	43	M18 Dosis 3	T4	R1
43.9 t ha ⁻¹ Compost	48	M18 Dosis 4	T5	R1
200 kg ha ⁻¹ ((NH ₄) ₂ SO ₄)	15	M18 Sulfato	T6	R1

Cuadro A.1. Continuación...

Descripción	No. en croquis	Nombre	Tratamiento	No. Repetición
Solo suelo	17	M18 Suelo	T1	R2
5.3 t ha ⁻¹ Compost	1	M18 Dosis 1	T2	R2
17.5 t ha ⁻¹ Compost	29	M18 Dosis 2	T3	R2
26.4 t ha ⁻¹ Compost	22	M18 Dosis 3	T4	R2
43.9 t ha ⁻¹ Compost	14	M18 Dosis 4	T5	R2
200 kg ha ⁻¹ ((NH ₄) ₂ SO ₄)	52	M18 Sulfato	T6	R2
Solo suelo	37	M18 Suelo	T1	R3
5.3 t ha ⁻¹ Compost	3	M18 Dosis 1	T2	R3
17.5 t ha ⁻¹ Compost	49	M18 Dosis 2	T3	R3
26.4 t ha ⁻¹ Compost	50	M18 Dosis 3	T4	R3
43.9 t ha ⁻¹ Compost	12	M18 Dosis 4	T5	R3
200 kg ha ⁻¹ ((NH ₄) ₂ SO ₄)	19	M18 Sulfato	T6	R3
Solo suelo	7	M22 Suelo	T1	R1
5.3 t ha ⁻¹ Compost	11	M22 Dosis 1	T2	R1
17.5 t ha ⁻¹ Compost	18	M22 Dosis 2	T3	R1
26.4 t ha ⁻¹ Compost	24	M22 Dosis 3	T4	R1
43.9 t ha ⁻¹ Compost	41	M22 Dosis 4	T5	R1
200 kg ha ⁻¹ ((NH ₄) ₂ SO ₄)	51	M22 Sulfato	T6	R1
Solo suelo	33	M22 Suelo	T1	R2
5.3 t ha ⁻¹ Compost	27	M22 Dosis 1	T2	R2
17.5 t ha ⁻¹ Compost	47	M22 Dosis 2	T3	R2
26.4 t ha ⁻¹ Compost	38	M22 Dosis 3	T4	R2
43.9 t ha ⁻¹ Compost	9	M22 Dosis 4	T5	R2
200 kg ha ⁻¹ ((NH ₄) ₂ SO ₄)	23	M22 Sulfato	T6	R2
Solo suelo	5	M22 Suelo	T1	R3
5.3 t ha ⁻¹ Compost	36	M22 Dosis 1	T2	R3
17.5 t ha ⁻¹ Compost	13	M22 Dosis 2	T3	R3
26.4 t ha ⁻¹ Compost	42	M22 Dosis 3	T4	R3
43.9 t ha ⁻¹ Compost	54	M22 Dosis 4	T5	R3
200 kg ha ⁻¹ ((NH ₄) ₂ SO ₄)	53	M22 Sulfato	T6	R3

M1=Suelo con índice arcilla/arena 0.7; M22=Suelo con índice de 1.3; M18=Suelo con índice de 4.0; T=tratamiento, R=repetición.

8.3. Programación SAS

Programación A. 1.

Análisis de varianza de la variable humedad involucrados los tratamientos y tipos de suelo, bajo un diseño completamente al azar.

```
Data humedad;
/*suelo indice arcilla/arena 0.7, 1.3 y 4.0*/
Input tratamiento $ repeticion $ suelo $ y;
Cards;
T1 R1 M22 0.373
T1 R2 M22 0.393
T1 R3 M22 0.447
T1 R2 M22 0.358
T1 R1 M22 0.366
T1 R3 M22 0.424
T1 R2 M22 0.320
T1 R1 M22 0.358
T1 R3 M22 0.401
T1 R2 M22 0.267
T1 R1 M22 0.275
T1 R3 M22 0.343
T1 R2 M22 0.273
T1 R1 M22 0.303
T1 R3 M22 0.317
T1 R2 M22 0.239
T1 R3 M22 0.301
T1 R1 M22 0.303
T1 R2 M22 0.231
T1 R3 M22 0.273
T1 R1 M22 0.275
T1 R2 M22 0.231
T1 R1 M22 0.272
T1 R3 M22 0.280
T1 R1 M22 0.268
T1 R2 M22 0.269
T1 R3 M22 0.297
T1 R1 M22 0.267
T1 R3 M22 0.280
T1 R2 M22 0.288
T1 R1 M22 0.256
T1 R2 M22 0.271
T1 R3 M22 0.277
T1 R1 M22 0.268
T1 R3 M22 0.274
T1 R2 M22 0.286
T1 R1 M22 0.268
T1 R2 M22 0.268
T1 R3 M22 0.269
T1 R1 M22 0.281
T1 R3 M22 0.289
T1 R2 M22 0.294
T1 R2 M22 0.261
T1 R3 M22 0.271
T1 R1 M22 0.283
T1 R3 M22 0.268
T1 R2 M22 0.280
T1 R1 M22 0.283
T1 R2 M22 0.271
T1 R3 M22 0.274
T1 R1 M22 0.297
T1 R2 M22 0.313
T1 R1 M22 0.317
T1 R3 M22 0.325
T1 R2 M22 0.267
T1 R1 M22 0.270
T1 R3 M22 0.270
T1 R1 M22 0.301
T1 R3 M22 0.308
T1 R2 M22 0.357
T1 R1 M22 0.285
T1 R3 M22 0.296
T1 R2 M22 0.309
T1 R1 M22 0.293
T1 R2 M22 0.304
T1 R3 M22 0.304
T1 R1 M22 0.305
T1 R2 M22 0.341
T1 R3 M22 0.361
T1 R2 M22 0.310
```

T1	R1	M22	0.322
T1	R3	M22	0.376
T1	R1	M22	0.298
T1	R2	M22	0.309
T1	R3	M22	0.345
T1	R1	M22	0.271
T1	R2	M22	0.291
T1	R3	M22	0.324
T1	R2	M22	0.259
T1	R3	M22	0.285
T1	R1	M22	0.289
T1	R2	M22	0.232
T1	R3	M22	0.241
T1	R1	M22	0.246
T1	R2	M22	0.219
T1	R1	M22	0.223
T1	R3	M22	0.230
T1	R2	M22	0.223
T1	R3	M22	0.242
T1	R1	M22	0.245
T1	R1	M22	0.248
T1	R3	M22	0.269
T1	R2	M22	0.284
T1	R1	M22	0.261
T1	R3	M22	0.272
T1	R2	M22	0.284
T1	R2	M22	0.225
T1	R1	M22	0.274
T1	R3	M22	0.274
T1	R2	M22	0.231
T1	R1	M22	0.237
T1	R3	M22	0.245
T1	R2	M22	0.213
T1	R1	M22	0.218
T1	R3	M22	0.238
T1	R2	M22	0.210
T1	R1	M22	0.212
T1	R3	M22	0.219
T1	R3	M22	0.193
T1	R1	M22	0.196
T1	R2	M22	0.210
T1	R1	M22	0.194
T1	R3	M22	0.213
T1	R2	M22	0.215
T1	R1	M22	0.227
T1	R3	M22	0.234
T1	R2	M22	0.242
T1	R1	M22	0.206
T1	R3	M22	0.217
T1	R2	M22	0.220
T1	R3	M22	0.196
T1	R1	M22	0.199
T1	R2	M22	0.205
T1	R2	M22	0.203
T1	R3	M22	0.206
T1	R1	M22	0.209
T1	R1	M22	0.200
T1	R2	M22	0.210
T1	R3	M22	0.214
T1	R1	M22	0.204
T1	R2	M22	0.213
T1	R3	M22	0.223
T1	R2	M22	0.212
T1	R3	M22	0.217
T1	R1	M22	0.222
T1	R2	M22	0.225
T1	R3	M22	0.234
T1	R1	M22	0.241
T1	R2	M22	0.225
T1	R3	M22	0.239
T1	R1	M22	0.241
T1	R2	M22	0.202
T1	R3	M22	0.208
T1	R1	M22	0.218
T1	R3	M22	0.204
T1	R2	M22	0.216
T1	R1	M22	0.231
T1	R3	M22	0.216
T1	R2	M22	0.220
T1	R1	M22	0.253
T1	R2	M22	0.250

T1	R3	M22	0.273
T1	R1	M22	0.291
T1	R2	M22	0.262
T1	R3	M22	0.265
T1	R1	M22	0.282
T1	R1	M22	0.259
T1	R2	M22	0.266
T1	R3	M22	0.308
T1	R2	M22	0.290
T1	R1	M22	0.298
T1	R3	M22	0.299
T1	R2	M22	0.200
T1	R3	M22	0.208
T1	R1	M22	0.240
T1	R2	M22	0.287
T1	R3	M22	0.305
T1	R1	M22	0.325
T1	R2	M22	0.248
T1	R1	M22	0.302
T1	R3	M22	0.309
T1	R2	M22	0.272
T1	R3	M22	0.274
T1	R1	M22	0.285
T1	R2	M22	0.281
T1	R1	M22	0.296
T1	R3	M22	0.316
T1	R2	M22	0.285
T1	R1	M22	0.315
T1	R3	M22	0.323
T1	R2	M22	0.302
T1	R1	M22	0.312
T1	R3	M22	0.329
T1	R3	M22	0.278
T1	R1	M22	0.279
T1	R2	M22	0.290
T1	R2	M22	0.249
T1	R1	M22	0.285
T1	R3	M22	0.293
T1	R3	M22	0.260
T1	R1	M22	0.271
T1	R2	M22	0.277
T1	R1	M22	0.290
T1	R3	M22	0.300
T1	R2	M22	0.305
T1	R2	M22	0.268
T1	R1	M22	0.287
T1	R3	M22	0.295
T1	R2	M22	0.292
T1	R1	M22	0.295
T1	R3	M22	0.305
T1	R1	M22	0.266
T1	R2	M22	0.270
T1	R3	M22	0.279
T1	R2	M22	0.262
T1	R3	M22	0.301
T1	R1	M22	0.302
T1	R2	M22	0.285
T1	R1	M22	0.288
T1	R3	M22	0.301
T2	R1	M22	0.234
T2	R3	M22	0.243
T2	R2	M22	0.313
T2	R3	M22	0.299
T2	R1	M22	0.321
T2	R2	M22	0.349
T2	R3	M22	0.313
T2	R1	M22	0.326
T2	R2	M22	0.336
T2	R3	M22	0.216
T2	R1	M22	0.230
T2	R2	M22	0.256
T2	R3	M22	0.230
T2	R2	M22	0.254
T2	R1	M22	0.256
T2	R3	M22	0.243
T2	R2	M22	0.251
T2	R1	M22	0.259
T2	R1	M22	0.227
T2	R2	M22	0.245
T2	R3	M22	0.258
T2	R2	M22	0.217

T2	R1	M22	0.221
T2	R3	M22	0.242
T2	R2	M22	0.224
T2	R3	M22	0.225
T2	R1	M22	0.230
T2	R1	M22	0.218
T2	R2	M22	0.222
T2	R3	M22	0.251
T2	R1	M22	0.213
T2	R2	M22	0.233
T2	R3	M22	0.240
T2	R2	M22	0.241
T2	R1	M22	0.243
T2	R3	M22	0.251
T2	R3	M22	0.226
T2	R2	M22	0.235
T2	R1	M22	0.250
T2	R2	M22	0.239
T2	R1	M22	0.251
T2	R3	M22	0.273
T2	R2	M22	0.231
T2	R3	M22	0.235
T2	R1	M22	0.259
T2	R3	M22	0.208
T2	R2	M22	0.242
T2	R1	M22	0.247
T2	R3	M22	0.206
T2	R1	M22	0.224
T2	R2	M22	0.236
T2	R1	M22	0.274
T2	R2	M22	0.287
T2	R3	M22	0.290
T2	R3	M22	0.229
T2	R1	M22	0.248
T2	R2	M22	0.255
T2	R3	M22	0.237
T2	R1	M22	0.246
T2	R2	M22	0.278
T2	R1	M22	0.236
T2	R3	M22	0.240
T2	R2	M22	0.283
T2	R3	M22	0.246
T2	R1	M22	0.255
T2	R2	M22	0.295
T2	R3	M22	0.257
T2	R1	M22	0.291
T2	R2	M22	0.349
T2	R1	M22	0.289
T2	R3	M22	0.342
T2	R2	M22	0.357
T2	R1	M22	0.257
T2	R3	M22	0.280
T2	R2	M22	0.333
T2	R3	M22	0.241
T2	R1	M22	0.263
T2	R2	M22	0.319
T2	R3	M22	0.248
T2	R1	M22	0.257
T2	R2	M22	0.343
T2	R3	M22	0.240
T2	R1	M22	0.246
T2	R2	M22	0.251
T2	R1	M22	0.201
T2	R2	M22	0.216
T2	R3	M22	0.252
T2	R1	M22	0.206
T2	R2	M22	0.222
T2	R3	M22	0.264
T2	R1	M22	0.218
T2	R2	M22	0.259
T2	R3	M22	0.279
T2	R2	M22	0.278
T2	R1	M22	0.286
T2	R3	M22	0.301
T2	R1	M22	0.267
T2	R2	M22	0.276
T2	R3	M22	0.303
T2	R2	M22	0.264
T2	R1	M22	0.274
T2	R3	M22	0.286
T2	R1	M22	0.209

T2	R3	M22	0.230
T2	R2	M22	0.264
T2	R1	M22	0.187
T2	R2	M22	0.213
T2	R3	M22	0.213
T2	R3	M22	0.181
T2	R1	M22	0.187
T2	R2	M22	0.208
T2	R1	M22	0.186
T2	R3	M22	0.187
T2	R2	M22	0.234
T2	R1	M22	0.210
T2	R3	M22	0.258
T2	R2	M22	0.264
T2	R1	M22	0.217
T2	R2	M22	0.239
T2	R3	M22	0.241
T2	R1	M22	0.208
T2	R2	M22	0.215
T2	R3	M22	0.233
T2	R1	M22	0.191
T2	R3	M22	0.230
T2	R2	M22	0.248
T2	R1	M22	0.204
T2	R3	M22	0.219
T2	R2	M22	0.244
T2	R3	M22	0.211
T2	R1	M22	0.213
T2	R2	M22	0.272
T2	R1	M22	0.209
T2	R3	M22	0.219
T2	R2	M22	0.272
T2	R3	M22	0.238
T2	R1	M22	0.242
T2	R2	M22	0.259
T2	R1	M22	0.217
T2	R3	M22	0.235
T2	R2	M22	0.257
T2	R3	M22	0.205
T2	R1	M22	0.212
T2	R2	M22	0.224
T2	R3	M22	0.186
T2	R1	M22	0.192
T2	R2	M22	0.210
T2	R3	M22	0.198
T2	R1	M22	0.207
T2	R2	M22	0.223
T2	R3	M22	0.223
T2	R1	M22	0.231
T2	R2	M22	0.290
T2	R3	M22	0.212
T2	R1	M22	0.217
T2	R2	M22	0.310
T2	R1	M22	0.241
T2	R3	M22	0.264
T2	R2	M22	0.292
T2	R1	M22	0.236
T2	R3	M22	0.293
T2	R2	M22	0.337
T2	R3	M22	0.247
T2	R2	M22	0.251
T2	R1	M22	0.294
T2	R3	M22	0.306
T2	R2	M22	0.321
T2	R1	M22	0.333
T2	R1	M22	0.228
T2	R3	M22	0.291
T2	R2	M22	0.332
T2	R1	M22	0.266
T2	R3	M22	0.283
T2	R2	M22	0.284
T2	R1	M22	0.296
T2	R2	M22	0.305
T2	R3	M22	0.318
T2	R1	M22	0.293
T2	R3	M22	0.313
T2	R2	M22	0.314
T2	R2	M22	0.313
T2	R1	M22	0.339
T2	R3	M22	0.349
T2	R2	M22	0.279

T2	R1	M22	0.280
T2	R3	M22	0.299
T2	R3	M22	0.283
T2	R1	M22	0.288
T2	R2	M22	0.291
T2	R1	M22	0.233
T2	R3	M22	0.271
T2	R2	M22	0.275
T2	R2	M22	0.272
T2	R1	M22	0.281
T2	R3	M22	0.328
T2	R1	M22	0.266
T2	R2	M22	0.273
T2	R3	M22	0.337
T2	R2	M22	0.286
T2	R1	M22	0.311
T2	R3	M22	0.349
T2	R2	M22	0.253
T2	R3	M22	0.268
T2	R1	M22	0.281
T2	R2	M22	0.263
T2	R1	M22	0.273
T2	R3	M22	0.287
T2	R3	M22	0.266
T2	R2	M22	0.276
T2	R1	M22	0.287
T3	R3	M22	0.216
T3	R2	M22	0.251
T3	R1	M22	0.252
T3	R3	M22	0.275
T3	R2	M22	0.309
T3	R1	M22	0.347
T3	R2	M22	0.272
T3	R3	M22	0.298
T3	R1	M22	0.314
T3	R3	M22	0.194
T3	R2	M22	0.214
T3	R1	M22	0.238
T3	R2	M22	0.208
T3	R1	M22	0.236
T3	R3	M22	0.247
T3	R2	M22	0.229
T3	R1	M22	0.254
T3	R3	M22	0.259
T3	R2	M22	0.232
T3	R3	M22	0.246
T3	R1	M22	0.254
T3	R2	M22	0.213
T3	R3	M22	0.218
T3	R1	M22	0.233
T3	R2	M22	0.196
T3	R1	M22	0.218
T3	R3	M22	0.227
T3	R2	M22	0.176
T3	R3	M22	0.216
T3	R1	M22	0.241
T3	R2	M22	0.187
T3	R3	M22	0.216
T3	R1	M22	0.226
T3	R2	M22	0.223
T3	R3	M22	0.239
T3	R1	M22	0.255
T3	R2	M22	0.212
T3	R3	M22	0.229
T3	R1	M22	0.239
T3	R2	M22	0.227
T3	R3	M22	0.233
T3	R1	M22	0.253
T3	R1	M22	0.211
T3	R3	M22	0.215
T3	R2	M22	0.217
T3	R2	M22	0.216
T3	R1	M22	0.218
T3	R3	M22	0.225
T3	R1	M22	0.219
T3	R2	M22	0.229
T3	R3	M22	0.242
T3	R2	M22	0.269
T3	R3	M22	0.316
T3	R1	M22	0.331
T3	R3	M22	0.206

T3	R2	M22	0.221
T3	R1	M22	0.260
T3	R3	M22	0.228
T3	R2	M22	0.279
T3	R1	M22	0.302
T3	R3	M22	0.216
T3	R1	M22	0.273
T3	R2	M22	0.309
T3	R3	M22	0.235
T3	R1	M22	0.293
T3	R2	M22	0.302
T3	R3	M22	0.279
T3	R2	M22	0.324
T3	R1	M22	0.356
T3	R3	M22	0.308
T3	R2	M22	0.309
T3	R1	M22	0.398
T3	R3	M22	0.297
T3	R2	M22	0.309
T3	R1	M22	0.355
T3	R3	M22	0.261
T3	R2	M22	0.295
T3	R1	M22	0.349
T3	R2	M22	0.308
T3	R1	M22	0.373
T3	R3	M22	0.388
T3	R2	M22	0.213
T3	R3	M22	0.272
T3	R1	M22	0.310
T3	R1	M22	0.239
T3	R2	M22	0.260
T3	R3	M22	0.270
T3	R1	M22	0.254
T3	R2	M22	0.254
T3	R3	M22	0.275
T3	R2	M22	0.284
T3	R1	M22	0.286
T3	R3	M22	0.300
T3	R2	M22	0.275
T3	R3	M22	0.318
T3	R1	M22	0.327
T3	R1	M22	0.265
T3	R2	M22	0.268
T3	R3	M22	0.279
T3	R3	M22	0.226
T3	R1	M22	0.238
T3	R2	M22	0.255
T3	R3	M22	0.218
T3	R1	M22	0.223
T3	R2	M22	0.248
T3	R3	M22	0.172
T3	R2	M22	0.192
T3	R1	M22	0.216
T3	R2	M22	0.190
T3	R1	M22	0.203
T3	R3	M22	0.213
T3	R2	M22	0.192
T3	R1	M22	0.220
T3	R3	M22	0.228
T3	R2	M22	0.199
T3	R3	M22	0.201
T3	R1	M22	0.251
T3	R3	M22	0.186
T3	R2	M22	0.195
T3	R1	M22	0.241
T3	R2	M22	0.180
T3	R3	M22	0.232
T3	R1	M22	0.234
T3	R2	M22	0.201
T3	R1	M22	0.235
T3	R3	M22	0.240
T3	R2	M22	0.243
T3	R1	M22	0.244
T3	R3	M22	0.272
T3	R2	M22	0.204
T3	R3	M22	0.231
T3	R1	M22	0.239
T3	R2	M22	0.202
T3	R3	M22	0.204
T3	R1	M22	0.286
T3	R3	M22	0.235

T3	R2	M22	0.253
T3	R1	M22	0.270
T3	R2	M22	0.249
T3	R1	M22	0.277
T3	R3	M22	0.292
T3	R2	M22	0.203
T3	R1	M22	0.205
T3	R3	M22	0.235
T3	R3	M22	0.180
T3	R2	M22	0.187
T3	R1	M22	0.214
T3	R2	M22	0.200
T3	R3	M22	0.234
T3	R1	M22	0.241
T3	R2	M22	0.258
T3	R3	M22	0.280
T3	R1	M22	0.291
T3	R2	M22	0.258
T3	R3	M22	0.270
T3	R1	M22	0.292
T3	R2	M22	0.281
T3	R3	M22	0.289
T3	R1	M22	0.321
T3	R2	M22	0.259
T3	R1	M22	0.306
T3	R3	M22	0.306
T3	R2	M22	0.188
T3	R3	M22	0.202
T3	R1	M22	0.207
T3	R2	M22	0.229
T3	R3	M22	0.293
T3	R1	M22	0.308
T3	R2	M22	0.266
T3	R1	M22	0.275
T3	R3	M22	0.288
T3	R2	M22	0.234
T3	R1	M22	0.253
T3	R3	M22	0.256
T3	R1	M22	0.314
T3	R3	M22	0.315
T3	R2	M22	0.359
T3	R2	M22	0.276
T3	R3	M22	0.296
T3	R1	M22	0.304
T3	R2	M22	0.297
T3	R3	M22	0.304
T3	R1	M22	0.339
T3	R2	M22	0.248
T3	R1	M22	0.302
T3	R3	M22	0.314
T3	R2	M22	0.230
T3	R1	M22	0.288
T3	R3	M22	0.295
T3	R1	M22	0.260
T3	R2	M22	0.265
T3	R3	M22	0.297
T3	R1	M22	0.294
T3	R2	M22	0.308
T3	R3	M22	0.311
T3	R2	M22	0.267
T3	R3	M22	0.305
T3	R1	M22	0.314
T3	R2	M22	0.273
T3	R3	M22	0.303
T3	R1	M22	0.332
T3	R2	M22	0.269
T3	R1	M22	0.288
T3	R3	M22	0.293
T3	R2	M22	0.287
T3	R3	M22	0.291
T3	R1	M22	0.314
T3	R1	M22	0.278
T3	R2	M22	0.280
T3	R3	M22	0.352
T4	R1	M22	0.215
T4	R3	M22	0.223
T4	R2	M22	0.257
T4	R3	M22	0.257
T4	R1	M22	0.286
T4	R2	M22	0.343
T4	R3	M22	0.276

T4	R1	M22	0.286
T4	R2	M22	0.298
T4	R3	M22	0.194
T4	R1	M22	0.198
T4	R2	M22	0.228
T4	R1	M22	0.219
T4	R2	M22	0.234
T4	R3	M22	0.235
T4	R3	M22	0.237
T4	R2	M22	0.249
T4	R1	M22	0.253
T4	R3	M22	0.233
T4	R2	M22	0.244
T4	R1	M22	0.252
T4	R1	M22	0.210
T4	R3	M22	0.217
T4	R2	M22	0.229
T4	R1	M22	0.200
T4	R3	M22	0.203
T4	R2	M22	0.231
T4	R1	M22	0.223
T4	R3	M22	0.226
T4	R2	M22	0.236
T4	R1	M22	0.199
T4	R3	M22	0.217
T4	R2	M22	0.218
T4	R3	M22	0.229
T4	R1	M22	0.246
T4	R2	M22	0.253
T4	R3	M22	0.219
T4	R1	M22	0.220
T4	R2	M22	0.229
T4	R3	M22	0.243
T4	R2	M22	0.246
T4	R1	M22	0.252
T4	R3	M22	0.222
T4	R1	M22	0.235
T4	R2	M22	0.242
T4	R1	M22	0.237
T4	R2	M22	0.238
T4	R3	M22	0.241
T4	R3	M22	0.226
T4	R2	M22	0.236
T4	R1	M22	0.241
T4	R3	M22	0.208
T4	R1	M22	0.295
T4	R2	M22	0.304
T4	R3	M22	0.173
T4	R1	M22	0.237
T4	R2	M22	0.249
T4	R3	M22	0.256
T4	R1	M22	0.279
T4	R2	M22	0.313
T4	R3	M22	0.246
T4	R1	M22	0.266
T4	R2	M22	0.290
T4	R3	M22	0.259
T4	R1	M22	0.287
T4	R2	M22	0.293
T4	R3	M22	0.314
T4	R1	M22	0.325
T4	R2	M22	0.334
T4	R3	M22	0.307
T4	R2	M22	0.331
T4	R1	M22	0.338
T4	R3	M22	0.287
T4	R1	M22	0.312
T4	R2	M22	0.318
T4	R1	M22	0.254
T4	R3	M22	0.254
T4	R2	M22	0.292
T4	R1	M22	0.291
T4	R3	M22	0.314
T4	R2	M22	0.332
T4	R2	M22	0.242
T4	R1	M22	0.243
T4	R3	M22	0.262
T4	R2	M22	0.225
T4	R1	M22	0.228
T4	R3	M22	0.240
T4	R1	M22	0.226

T4	R3	M22	0.238
T4	R2	M22	0.248
T4	R3	M22	0.241
T4	R1	M22	0.262
T4	R2	M22	0.263
T4	R3	M22	0.261
T4	R1	M22	0.266
T4	R2	M22	0.283
T4	R3	M22	0.277
T4	R1	M22	0.283
T4	R2	M22	0.285
T4	R3	M22	0.227
T4	R1	M22	0.246
T4	R2	M22	0.265
T4	R3	M22	0.220
T4	R1	M22	0.236
T4	R2	M22	0.259
T4	R3	M22	0.209
T4	R1	M22	0.210
T4	R2	M22	0.212
T4	R3	M22	0.190
T4	R2	M22	0.203
T4	R1	M22	0.248
T4	R3	M22	0.199
T4	R2	M22	0.208
T4	R1	M22	0.307
T4	R3	M22	0.232
T4	R2	M22	0.250
T4	R1	M22	0.313
T4	R3	M22	0.219
T4	R2	M22	0.231
T4	R1	M22	0.237
T4	R2	M22	0.204
T4	R3	M22	0.219
T4	R1	M22	0.275
T4	R2	M22	0.214
T4	R3	M22	0.234
T4	R1	M22	0.270
T4	R2	M22	0.228
T4	R3	M22	0.246
T4	R1	M22	0.299
T4	R3	M22	0.222
T4	R2	M22	0.232
T4	R1	M22	0.275
T4	R3	M22	0.229
T4	R2	M22	0.246
T4	R1	M22	0.277
T4	R3	M22	0.246
T4	R2	M22	0.275
T4	R1	M22	0.278
T4	R3	M22	0.236
T4	R2	M22	0.241
T4	R1	M22	0.318
T4	R3	M22	0.186
T4	R2	M22	0.200
T4	R1	M22	0.237
T4	R3	M22	0.181
T4	R2	M22	0.198
T4	R1	M22	0.252
T4	R3	M22	0.207
T4	R2	M22	0.213
T4	R1	M22	0.258
T4	R3	M22	0.277
T4	R2	M22	0.298
T4	R1	M22	0.337
T4	R3	M22	0.268
T4	R1	M22	0.278
T4	R2	M22	0.289
T4	R3	M22	0.294
T4	R2	M22	0.312
T4	R1	M22	0.352
T4	R3	M22	0.293
T4	R2	M22	0.317
T4	R1	M22	0.366
T4	R3	M22	0.188
T4	R2	M22	0.228
T4	R1	M22	0.281
T4	R3	M22	0.291
T4	R1	M22	0.305
T4	R2	M22	0.331
T4	R3	M22	0.266

T4	R2	M22	0.283
T4	R1	M22	0.335
T4	R3	M22	0.231
T4	R2	M22	0.260
T4	R1	M22	0.286
T4	R3	M22	0.297
T4	R1	M22	0.310
T4	R2	M22	0.312
T4	R3	M22	0.285
T4	R2	M22	0.324
T4	R1	M22	0.345
T4	R2	M22	0.280
T4	R3	M22	0.299
T4	R1	M22	0.367
T4	R3	M22	0.261
T4	R2	M22	0.277
T4	R1	M22	0.328
T4	R3	M22	0.270
T4	R2	M22	0.282
T4	R1	M22	0.332
T4	R3	M22	0.231
T4	R2	M22	0.266
T4	R1	M22	0.305
T4	R3	M22	0.272
T4	R2	M22	0.307
T4	R1	M22	0.332
T4	R2	M22	0.243
T4	R3	M22	0.257
T4	R1	M22	0.310
T4	R2	M22	0.281
T4	R3	M22	0.285
T4	R1	M22	0.321
T4	R2	M22	0.229
T4	R3	M22	0.253
T4	R1	M22	0.296
T4	R2	M22	0.264
T4	R3	M22	0.271
T4	R1	M22	0.302
T4	R2	M22	0.271
T4	R3	M22	0.272
T4	R1	M22	0.382
T5	R2	M22	0.157
T5	R3	M22	0.161
T5	R1	M22	0.181
T5	R3	M22	0.230
T5	R2	M22	0.255
T5	R1	M22	0.275
T5	R2	M22	0.275
T5	R3	M22	0.292
T5	R1	M22	0.309
T5	R2	M22	0.170
T5	R1	M22	0.189
T5	R3	M22	0.201
T5	R2	M22	0.199
T5	R3	M22	0.210
T5	R1	M22	0.218
T5	R3	M22	0.203
T5	R2	M22	0.222
T5	R1	M22	0.231
T5	R2	M22	0.211
T5	R3	M22	0.229
T5	R1	M22	0.244
T5	R1	M22	0.177
T5	R2	M22	0.183
T5	R3	M22	0.193
T5	R1	M22	0.185
T5	R2	M22	0.188
T5	R3	M22	0.197
T5	R3	M22	0.187
T5	R2	M22	0.191
T5	R1	M22	0.205
T5	R2	M22	0.195
T5	R3	M22	0.207
T5	R1	M22	0.229
T5	R2	M22	0.247
T5	R3	M22	0.274
T5	R1	M22	0.275
T5	R2	M22	0.226
T5	R1	M22	0.239
T5	R3	M22	0.249
T5	R3	M22	0.238

T5	R2	M22	0.253
T5	R1	M22	0.263
T5	R2	M22	0.210
T5	R3	M22	0.248
T5	R1	M22	0.273
T5	R3	M22	0.210
T5	R2	M22	0.252
T5	R1	M22	0.275
T5	R3	M22	0.208
T5	R2	M22	0.281
T5	R1	M22	0.296
T5	R3	M22	0.260
T5	R1	M22	0.338
T5	R2	M22	0.364
T5	R3	M22	0.250
T5	R1	M22	0.254
T5	R2	M22	0.258
T5	R3	M22	0.285
T5	R2	M22	0.306
T5	R1	M22	0.311
T5	R3	M22	0.266
T5	R2	M22	0.283
T5	R1	M22	0.296
T5	R3	M22	0.285
T5	R2	M22	0.295
T5	R1	M22	0.316
T5	R1	M22	0.292
T5	R3	M22	0.314
T5	R2	M22	0.348
T5	R3	M22	0.302
T5	R1	M22	0.325
T5	R2	M22	0.361
T5	R1	M22	0.302
T5	R3	M22	0.309
T5	R2	M22	0.328
T5	R3	M22	0.239
T5	R1	M22	0.258
T5	R2	M22	0.278
T5	R3	M22	0.272
T5	R1	M22	0.288
T5	R2	M22	0.299
T5	R3	M22	0.186
T5	R2	M22	0.261
T5	R1	M22	0.271
T5	R3	M22	0.196
T5	R1	M22	0.202
T5	R2	M22	0.238
T5	R3	M22	0.198
T5	R1	M22	0.224
T5	R2	M22	0.248
T5	R3	M22	0.230
T5	R1	M22	0.250
T5	R2	M22	0.287
T5	R3	M22	0.271
T5	R1	M22	0.283
T5	R2	M22	0.301
T5	R3	M22	0.250
T5	R1	M22	0.284
T5	R2	M22	0.292
T5	R1	M22	0.238
T5	R2	M22	0.260
T5	R3	M22	0.337
T5	R1	M22	0.208
T5	R2	M22	0.258
T5	R3	M22	0.365
T5	R1	M22	0.189
T5	R3	M22	0.193
T5	R2	M22	0.222
T5	R1	M22	0.171
T5	R3	M22	0.172
T5	R2	M22	0.200
T5	R1	M22	0.190
T5	R2	M22	0.205
T5	R3	M22	0.242
T5	R1	M22	0.211
T5	R3	M22	0.214
T5	R2	M22	0.219
T5	R1	M22	0.200
T5	R3	M22	0.207
T5	R2	M22	0.223
T5	R1	M22	0.193

T5	R3	M22	0.198
T5	R2	M22	0.200
T5	R2	M22	0.210
T5	R3	M22	0.218
T5	R1	M22	0.222
T5	R1	M22	0.217
T5	R2	M22	0.218
T5	R3	M22	0.235
T5	R2	M22	0.207
T5	R1	M22	0.216
T5	R3	M22	0.224
T5	R1	M22	0.217
T5	R2	M22	0.218
T5	R3	M22	0.237
T5	R2	M22	0.223
T5	R1	M22	0.232
T5	R3	M22	0.255
T5	R2	M22	0.216
T5	R1	M22	0.244
T5	R3	M22	0.248
T5	R2	M22	0.170
T5	R1	M22	0.194
T5	R3	M22	0.198
T5	R2	M22	0.153
T5	R1	M22	0.173
T5	R3	M22	0.182
T5	R2	M22	0.194
T5	R1	M22	0.203
T5	R3	M22	0.218
T5	R1	M22	0.264
T5	R2	M22	0.266
T5	R3	M22	0.284
T5	R2	M22	0.236
T5	R1	M22	0.247
T5	R3	M22	0.275
T5	R2	M22	0.260
T5	R1	M22	0.278
T5	R3	M22	0.285
T5	R2	M22	0.273
T5	R1	M22	0.279
T5	R3	M22	0.283
T5	R2	M22	0.191
T5	R1	M22	0.198
T5	R3	M22	0.201
T5	R2	M22	0.256
T5	R1	M22	0.259
T5	R3	M22	0.285
T5	R2	M22	0.232
T5	R1	M22	0.252
T5	R3	M22	0.264
T5	R2	M22	0.219
T5	R1	M22	0.230
T5	R3	M22	0.240
T5	R2	M22	0.272
T5	R1	M22	0.280
T5	R3	M22	0.293
T5	R2	M22	0.272
T5	R1	M22	0.292
T5	R3	M22	0.309
T5	R2	M22	0.280
T5	R1	M22	0.309
T5	R3	M22	0.317
T5	R2	M22	0.255
T5	R1	M22	0.286
T5	R3	M22	0.300
T5	R2	M22	0.260
T5	R1	M22	0.275
T5	R3	M22	0.290
T5	R1	M22	0.239
T5	R2	M22	0.256
T5	R3	M22	0.281
T5	R2	M22	0.303
T5	R1	M22	0.306
T5	R3	M22	0.316
T5	R2	M22	0.259
T5	R1	M22	0.302
T5	R3	M22	0.304
T5	R1	M22	0.281
T5	R2	M22	0.312
T5	R3	M22	0.316
T5	R1	M22	0.228

T5	R2	M22	0.259
T5	R3	M22	0.260
T5	R2	M22	0.249
T5	R1	M22	0.254
T5	R3	M22	0.279
T5	R2	M22	0.226
T5	R3	M22	0.246
T5	R1	M22	0.259
T6	R3	M22	0.337
T6	R2	M22	0.350
T6	R1	M22	0.404
T6	R3	M22	0.310
T6	R1	M22	0.358
T6	R2	M22	0.363
T6	R3	M22	0.318
T6	R2	M22	0.348
T6	R1	M22	0.353
T6	R3	M22	0.265
T6	R1	M22	0.288
T6	R2	M22	0.297
T6	R3	M22	0.273
T6	R2	M22	0.277
T6	R1	M22	0.308
T6	R3	M22	0.240
T6	R2	M22	0.255
T6	R1	M22	0.265
T6	R3	M22	0.216
T6	R1	M22	0.235
T6	R2	M22	0.245
T6	R3	M22	0.218
T6	R1	M22	0.226
T6	R2	M22	0.241
T6	R3	M22	0.226
T6	R2	M22	0.254
T6	R1	M22	0.256
T6	R1	M22	0.231
T6	R3	M22	0.232
T6	R2	M22	0.247
T6	R1	M22	0.218
T6	R3	M22	0.240
T6	R2	M22	0.255
T6	R1	M22	0.255
T6	R3	M22	0.255
T6	R2	M22	0.269
T6	R3	M22	0.231
T6	R1	M22	0.247
T6	R2	M22	0.257
T6	R3	M22	0.262
T6	R2	M22	0.269
T6	R1	M22	0.271
T6	R2	M22	0.251
T6	R3	M22	0.256
T6	R1	M22	0.260
T6	R1	M22	0.253
T6	R2	M22	0.258
T6	R3	M22	0.271
T6	R1	M22	0.268
T6	R2	M22	0.268
T6	R3	M22	0.284
T6	R2	M22	0.299
T6	R1	M22	0.321
T6	R3	M22	0.352
T6	R1	M22	0.283
T6	R2	M22	0.288
T6	R3	M22	0.307
T6	R3	M22	0.206
T6	R1	M22	0.273
T6	R2	M22	0.337
T6	R1	M22	0.256
T6	R2	M22	0.264
T6	R3	M22	0.271
T6	R3	M22	0.298
T6	R2	M22	0.307
T6	R1	M22	0.310
T6	R1	M22	0.267
T6	R3	M22	0.310
T6	R2	M22	0.326
T6	R3	M22	0.321
T6	R2	M22	0.335
T6	R1	M22	0.337
T6	R3	M22	0.311

T6	R1	M22	0.318
T6	R2	M22	0.329
T6	R1	M22	0.288
T6	R2	M22	0.291
T6	R3	M22	0.299
T6	R3	M22	0.282
T6	R1	M22	0.286
T6	R2	M22	0.294
T6	R3	M22	0.236
T6	R1	M22	0.252
T6	R2	M22	0.255
T6	R3	M22	0.215
T6	R1	M22	0.220
T6	R2	M22	0.246
T6	R3	M22	0.232
T6	R1	M22	0.238
T6	R2	M22	0.244
T6	R1	M22	0.238
T6	R2	M22	0.254
T6	R3	M22	0.270
T6	R1	M22	0.274
T6	R2	M22	0.278
T6	R3	M22	0.278
T6	R2	M22	0.244
T6	R1	M22	0.251
T6	R3	M22	0.273
T6	R2	M22	0.222
T6	R1	M22	0.223
T6	R3	M22	0.244
T6	R1	M22	0.211
T6	R2	M22	0.223
T6	R3	M22	0.230
T6	R1	M22	0.204
T6	R3	M22	0.212
T6	R2	M22	0.219
T6	R1	M22	0.186
T6	R2	M22	0.200
T6	R3	M22	0.201
T6	R3	M22	0.198
T6	R2	M22	0.209
T6	R1	M22	0.210
T6	R3	M22	0.209
T6	R2	M22	0.210
T6	R1	M22	0.226
T6	R1	M22	0.193
T6	R3	M22	0.202
T6	R2	M22	0.207
T6	R1	M22	0.182
T6	R3	M22	0.199
T6	R2	M22	0.205
T6	R1	M22	0.176
T6	R2	M22	0.197
T6	R3	M22	0.198
T6	R1	M22	0.190
T6	R2	M22	0.197
T6	R3	M22	0.199
T6	R1	M22	0.201
T6	R2	M22	0.213
T6	R3	M22	0.217
T6	R2	M22	0.199
T6	R1	M22	0.210
T6	R3	M22	0.218
T6	R2	M22	0.218
T6	R1	M22	0.223
T6	R3	M22	0.237
T6	R2	M22	0.228
T6	R3	M22	0.238
T6	R1	M22	0.248
T6	R2	M22	0.196
T6	R1	M22	0.207
T6	R3	M22	0.209
T6	R2	M22	0.191
T6	R3	M22	0.200
T6	R1	M22	0.202
T6	R2	M22	0.206
T6	R3	M22	0.217
T6	R1	M22	0.222
T6	R2	M22	0.247
T6	R3	M22	0.258
T6	R1	M22	0.293
T6	R2	M22	0.216

T6	R3	M22	0.250
T6	R1	M22	0.280
T6	R2	M22	0.267
T6	R3	M22	0.282
T6	R1	M22	0.287
T6	R2	M22	0.259
T6	R1	M22	0.284
T6	R3	M22	0.289
T6	R2	M22	0.207
T6	R1	M22	0.226
T6	R3	M22	0.235
T6	R2	M22	0.254
T6	R3	M22	0.283
T6	R1	M22	0.299
T6	R2	M22	0.253
T6	R3	M22	0.258
T6	R1	M22	0.333
T6	R2	M22	0.235
T6	R3	M22	0.269
T6	R1	M22	0.290
T6	R3	M22	0.253
T6	R2	M22	0.270
T6	R1	M22	0.298
T6	R2	M22	0.282
T6	R3	M22	0.285
T6	R1	M22	0.296
T6	R2	M22	0.285
T6	R3	M22	0.301
T6	R1	M22	0.338
T6	R2	M22	0.247
T6	R1	M22	0.265
T6	R3	M22	0.281
T6	R2	M22	0.258
T6	R3	M22	0.288
T6	R1	M22	0.297
T6	R2	M22	0.236
T6	R1	M22	0.261
T6	R3	M22	0.280
T6	R3	M22	0.287
T6	R2	M22	0.288
T6	R1	M22	0.330
T6	R2	M22	0.264
T6	R1	M22	0.304
T6	R3	M22	0.309
T6	R2	M22	0.289
T6	R1	M22	0.320
T6	R3	M22	0.343
T6	R2	M22	0.260
T6	R1	M22	0.294
T6	R3	M22	0.300
T6	R2	M22	0.259
T6	R1	M22	0.302
T6	R3	M22	0.323
T6	R2	M22	0.258
T6	R3	M22	0.286
T6	R1	M22	0.301

```

proc anova; class suelo;
model y = suelo;
means suelo / CLDIFF lines TUKEY ALPHA=0.05;
run;

```

Programación A. 2. Análisis de varianza de la variable nitrógeno involucrando los tratamientos de un solo tipo de suelo, bajo un diseño completamente al azar.

```
Data nitrogeno;
/*suelo indice arcilla/arena 4.0*/
Input tratamiento $ repeticion $ y;
Cards;
```

T1	R1	4.34
T2	R1	2.35
T3	R1	5.75
T4	R1	3.30
T5	R1	3.74
T6	R1	6.05
T1	R2	4.45
T2	R2	4.21
T3	R2	3.39
T4	R2	2.32
T5	R2	2.28
T6	R2	5.25
T1	R3	3.53
T2	R3	4.16
T3	R3	5.70
T4	R3	2.13
T5	R3	2.85
T6	R3	4.79
T1	R1	1.78
T2	R1	1.72
T3	R1	1.62
T4	R1	1.86
T5	R1	1.93
T6	R1	2.36
T1	R2	1.71
T2	R2	2.01
T3	R2	1.73
T4	R2	1.84
T5	R2	1.92
T6	R2	2.02
T1	R3	2.04
T2	R3	1.93
T3	R3	2.05
T4	R3	2.00
T5	R3	1.99
T6	R3	2.18
T1	R1	2.63
T2	R1	2.71
T3	R1	2.39
T4	R1	2.57
T5	R1	2.31
T6	R1	2.53
T1	R2	2.45
T2	R2	2.25
T3	R2	2.38
T4	R2	2.57
T5	R2	2.40
T6	R2	2.43
T1	R3	2.25
T2	R3	2.06
T3	R3	2.58
T4	R3	2.24
T5	R3	2.74
T6	R3	2.63
T1	R1	3.31
T2	R1	3.22
T3	R1	2.70
T4	R1	3.01
T5	R1	3.14
T6	R1	3.26
T1	R2	2.84
T2	R2	3.63
T3	R2	2.85

T4	R2	4.27
T5	R2	3.68
T6	R2	2.94
T1	R3	2.88
T2	R3	3.05
T3	R3	2.78
T4	R3	2.73
T5	R3	3.26
T6	R3	4.33
T1	R1	2.34
T2	R1	2.19
T3	R1	2.59
T4	R1	2.24
T5	R1	2.56
T6	R1	2.38
T1	R2	1.98
T2	R2	2.69
T3	R2	2.41
T4	R2	3.31
T5	R2	2.26
T6	R2	2.10
T1	R3	2.54
T2	R3	2.40
T3	R3	2.58
T4	R3	2.77
T5	R3	3.58
T6	R3	2.71

```
proc anova; class tratamiento;  
model y = tratamiento;  
means tratamiento / CLDIFF lines TUKEY ALPHA=0.05;  
run;
```