



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO
CENTRO UNIVERSITARIO UAEM –TEMASCALTEPEC

LICENCIATURA DE INGENIERO AGRÓNOMO ZOOTECNISTA

T E S I S

EFFECTO DE LA FERTILIZACIÓN CON LOMBRICOMPOSTA EN EL DESARROLLO
DE *Leucaena leucocephala* var. Cunningham EN UN SISTEMA SILVOPASTORIL
EN SUR DEL ESTADO DE MÉXICO

COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO AGRÓNOMO ZOOTECNISTA

PRESENTA:
PEDRO PEDROZA GONZÁLEZ

DIRECTORA DE TESIS:
DRA. FRANCISCA AVILES NOVA

ASESORES:
IAZ. LUIS MANUEL RÍOS GARCÍA
DR. ANASTACIO GARCÍA MARTÍNEZ

Temascaltepec México, Octubre de 2017

AGRADECIMIENTOS

A Dios.

Por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.

A mis padres.

Por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, en toda mi educación, tanto académica, como de la vida, por su incondicional apoyo perfectamente mantenido a través del tiempo. Todo este trabajo ha sido posible gracias a ellos.

A mis maestros.

Por su gran apoyo y motivación para la culminación de mis estudios profesionales, por su apoyo ofrecido en este trabajo para la elaboración de esta tesis; su tiempo compartido y por impulsar el desarrollo de nuestra formación profesional.

ÍNDICE

I. RESUMEN.....	10
II. INTRODUCCIÓN.....	11
III. REVISIÓN DE LITERATURA	13
3.1 Tipos de sistemas silvopastoriles (SSP)	13
3.1.1 Bancos de proteína.....	16
3.1.2 Bancos Mixtos de Forraje.	16
3.1.3 Pastura en callejones.....	17
3.1.4 Árboles dispersos en potreros.	18
3.1.5 Pastoreo en plantaciones	18
3.1.6 Cercas vivas.	19
3.1.7 Barreras rompe vientos.....	20
3.1.8 Sistemas silvopastoriles con manejo de la sucesión vegetal	20
3.1.9 Sistemas Silvopastoriles de alta densidad arbórea o multiestrato:	21
3.1.10 Bancos de energía.....	22
3.1.11 Sistemas silvopastoriles en ganadería extensiva:.....	23
3.1.12 Plantaciones forestales con pastoreo de ganado:	24
3.2. Descripción de <i>L. leucocephala</i>	25
3.2.1 Morfología de la <i>L. leucocephala</i>	25
3.2.2 Clasificación taxonómica	26
3.2.3 Requerimientos nutricionales de la <i>L. leucocephala</i>	27
3.2.4 Rendimientos	27
3.2.5 Establecimiento de Leucaena en los SSP	28
3.2.6 Valor nutritivo de la <i>L. leucocephala</i>	29
3.2.7 Toxicidad	30

3.3 Efectos positivos de los SSP.....	31
3.3.1 Efectos positivos sobre el ambiente.....	31
3.3.2 Efectos en el suelo.....	32
3.3.3 Efectos positivos sobre la preservación de fuentes de agua	34
3.4 Fertilización orgánica	34
3.4.1 Importancia de los abonos orgánicos	36
3.4.2 Propiedades de los fertilizantes orgánicos.....	37
3.4.3 Microorganismos desintegradores de la materia orgánica.....	42
3.4.4 Tipos de abonos orgánicos.....	46
3.4.5 Usos de la lombricomposta.....	61
IV. JUSTIFICACIÓN.....	63
V. HIPÓTESIS.....	66
VI. OBJETIVOS.....	67
6.1 Objetivo general.....	67
6.2 Objetivos específicos	67
VII. MATERIALES Y MÉTODOS.....	68
7.1 Ubicación del área de estudio	68
7.2 Materiales.....	69
7.2.1 Campo	69
7.3 Metodología para la elaboración de lombricomposta	70
7.4 Experimento 1: Establecimiento de <i>L. leucocephala</i> en el SSP:.....	70
7.4.1 Mediciones a las plantas de <i>L. leucocephala</i>	71
7.4.2 Diseño experimental y análisis de datos.....	73
7.5 Experimento 2:	73
7.5.1 Mediciones de las plantas de <i>L. leucocephala</i>	74

7.5.2	Diseño experimental y análisis de datos.....	75
7.6	Composición química y producción de biomasa de <i>L. leucocephala</i>	75
7.6.1	Toma de muestras para composición química.....	75
7.6.2	Características químicas:.....	75
7.7	Análisis físico químico del suelo antes y después del establecimiento de <i>L. leucocephala</i>	76
7.7.1	Toma de muestras:	76
7.7.2	Análisis de suelo	77
VIII.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	83
8.1.	Desarrollo vegetativo aéreo de <i>L. leucocephala</i>	83
8.1.1.	Longitud de la planta (cm)	83
8.1.2.	Numero de rebrotes.	88
8.1.3	Cobertura aérea.....	93
8.2	Composición química del follaje de <i>L. leucocephala</i>	98
8.3	Desarrollo vegetativo radicular	107
8.3.1	Longitud de la planta.....	107
8.3.2	Longitud de la raíz	111
IX.	CONCLUSIONES	114
X.	BIBLIOGRAFÍA.....	115

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Clasificación taxonómica de <i>L. leucocephala</i>	26
Cuadro 2. Tratamientos utilizados en la evaluación del desarrollo de la raíz y nodulación de <i>L. leucocephala</i> var. Cunningham.	73
Cuadro 3. Criterios de evaluación de un suelo respecto a su Ph	80
Cuadro 4. Interpretación para la determinación de Materia Organica.	81
Cuadro 5. Presenta la longitud promedio de <i>L. leucocephala</i> var. Cunningham.	83
Cuadro 6. Presenta el número de brotes promedio de <i>L. leucocephala</i> var. Cunningham.	88
Cuadro 7. Cobertura aérea en promedio de <i>L. leucocephala</i> var. Cunningham.....	93
Cuadro 8. Composición química (%) del follaje de <i>L. leucocephala</i> con lombricomposta y sin lombricomposta en un sistema silvopastoril.....	98
Cuadro 9. Materia seca del follaje de <i>L. leucocephala</i> . Con lombricomposta y sin lombricomposta en un sistema silvopastoril	102
Cuadro 10. Muestra los resultados obtenidos de análisis de suelo en las distintas áreas del sistema silvopastoril.....	104
Cuadro 11. Comparación de análisis químico de suelo al principio y al momento de establecer el SSP.	106
Cuadro 12. Presenta la longitud promedio de <i>L. leucocephala</i> var. Cunningham. ...	107
Cuadro 13 Presenta la longitud de la raíz en promedio de la <i>L. leucocephala</i> var. Cunningham.	111

ÍNDICE DE GRAFICAS

Grafica 1. Comportamiento de la altura de plantas de <i>L. leucocephala</i> var. Cunningham.	85
Grafica 2. Comportamiento de la altura de plantas de <i>L. leucocephala</i> var. Cunningham fertilizadas con lombricomposta y sin lombricomposta agrupando los surcos en tres parcelas.	86
Grafica 3. Comportamiento de la altura de plantas de <i>L. leucocephala</i> var. Cunningham fertilizadas con lombricomposta y sin lombricomposta, agrupando las 3 parcelas (P1, P2, P3).	87
Grafica 4. Comportamiento del número de brotes de plantas de <i>L. leucocephala</i> var. Cunningham por surcos.	90
Grafica 5. Comportamiento del número de brotes de plantas de <i>L. leucocephala</i> var. Cunningham fertilizadas con lombricomposta y sin lombricomposta.....	91
Grafica 6. Comportamiento del número de brotes de plantas de <i>L. leucocephala</i> var. Cunningham fertilizadas con lombricomposta y sin lombricomposta. Agrupando las 3 parcelas (P1, P2, P3) de la gráfica 5.....	92
Grafica 7. Muestra en comportamiento de cobertura aérea de plantas de <i>L. leucocephala</i> var. Cunningham fertilizadas con lombricomposta y sin lombricomposta.	95
Grafica 8. Comportamiento de la cobertura aérea de plantas de <i>L. leucocephala</i> var. Cunningham fertilizadas con lombricomposta y sin lombricomposta, agrupando los surcos en tres parcelas (P1, P2, P3).....	96
Grafica 9. Comportamiento de cobertura aérea de plantas de <i>L. leucocephala</i> var. Cunningham fertilizadas con lombricomposta y sin lombricomposta Agrupando las 3 parcelas (P1, P2, P3).	97
Grafica 10. Comportamiento de la altura de plantas de <i>L. leucocephala</i> var. Cunningham fertilizadas con lombricomposta y sin lombricomposta	110
Grafica 11. Comportamiento de la longitud de la raíz de plantas de <i>L. leucocephala</i> var. Cunningham fertilizadas con lombricomposta y sin lombricomposta.....	113

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Establecimiento de un SSP asociado con gramíneas	13
Figura 2. <i>L. leucocephala</i> var. <i>Cunningham</i> asociada con gramíneas	14
Figura 3. Banco de proteína	16
Figura 4. Bancos mixtos de forraje	17
Figura 5. Pastura en callejones	17
Figura 6. Árboles dispersos en potreros	18
Figura 7. Pastoreo en plantaciones	19
Figura 8. Cercas vivas	20
Figura 9. Barreras rompe vientos	20
Figura 10. Sistemas silvopastoriles con manejo de la sucesión vegetal	21
Figura 11. Sistemas Silvopastoriles de alta densidad arbórea o multiestrato	22
Figura 12. Bancos de energía	23
Figura 13. Sistemas silvopastoriles en ganadería extensiva	23
Figura 14. Plantaciones forestales con pastoreo de ganado	24
Figura 15. <i>L. leucocephala</i>	26
Figura 16. Trasplante de <i>L. leucocephala</i>	29
Figura 17. Crianza de lombriz roja californiana	49
Figura 18. Lombriz roja californiana	51
Figura 19. Humus de lombriz roja californiana	62
Figura 20: Ubicación del área de estudio	68
Figura 21. Toma de muestras de <i>L. leucocephala</i> por sitios	76
Figura 22. Longitud de la <i>L. leucocephala</i>	84
Figura 23. Crecimiento de brotes de <i>L. leucocephala</i>	89
Figura 24. Cobertura aérea de <i>L. leucocephala</i> fertilizada con lombricomposta	94
Figura 25. Pesaje de muestra de <i>L. leucocephala</i> para la determinación de fibras	100
Figura 26. Determinación de PC de <i>L. leucocephala</i>	101
Figura 27. Pesaje de muestra de <i>L. leucocephala</i>	103
Figura 28. Determinación del análisis químico de suelo del SSP	105
Figura 29. Determinación de Materia Orgánica en el análisis de suelo del SSP	105

Figura 30. Longitud de <i>L. leucocephala</i> . Exp 2	109
Figura 31. Longitud de la raíz de <i>L. leucocephala</i>	112

I. RESUMEN

El Silvopastoreo es un tipo de agroforestería, considerada como una opción de producción pecuaria en donde las leñosas perennes donde interactúan con los componentes tradicionales (forrajeras herbáceas y animales) bajo un sistema de manejo integral. El objetivo de este trabajo es evaluar el efecto de la lombricomposta en el desarrollo morfológico de *Leucaena leucocephala* var. *Cunningham* en un sistema silvopastoril realizado en el Rancho del Centro Universitario UAEM-Temascaltepec. El establecimiento de la *Leucaena leucocephala* var. *Cunningham* se llevó a cabo en los meses de octubre del 2016. Se realizaron dos experimentos: Exp 1. Se evaluó el desarrollo aéreo para lo cual se midió la longitud de la planta, número de brotes y cobertura aérea con una regla graduada en cm. En el Exp 2 Desarrollo radicular, se le evaluó la longitud de la planta y de la raíz, a cada planta se le retiró el sustrato. En ambos experimentos se utilizó un diseño completamente al azar. En el Exp 1 se obtuvieron los siguientes resultados. En los tratamientos, con y sin lombricomposta existió diferencias significativas ($P=0.0001$) en las tres variables de medición, longitud de la planta, número de brotes y cobertura aérea. La *L. leucocephala* que presentó mayor longitud, mayor número de brotes y mayor cobertura aérea fue la fertilizada con lombricomposta. En el Exp 2 se obtuvieron resultados en los tratamientos existió diferencias significativas ($P=0.0001$) para los dos muestreos. En el que muestra mayor longitud aérea y radicular la *L. leucocephala* que tenía como sustrato la lombricomposta. En el análisis químico del follaje de las plantas de *L. leucocephala* se obtuvieron resultados similares en la determinación de MS y H. El contenido de C incrementó 0.53%, la PC incrementó de 1.39% en el follaje la *Leucaena* abonada con lombricomposta. La FDN incrementó 3.16% en el tratamiento sin lombricomposta. La LDA incrementó 2.09% en el tratamiento sin lombricomposta. Se concluye que la utilización de la lombricomposta favoreció el establecimiento de *L. leucocephala* en el desarrollo de su cobertura aérea, desarrollo brotes y presentó incremento de altura a través de la evaluación.

Palabras clave: Fertilización, *Leucaena*, lombricomposta, Sistema silvopastoril.

II. INTRODUCCIÓN

Los sistemas de producción agropecuaria tiene la necesidad urgente de incorporar especies que permitan mejorar la productividad y calidad de forraje ofrecido a los animales. Generalmente los sistemas basados en pasturas presentan varias limitantes, entre las más importantes destacan la baja calidad así como la disponibilidad irregular del forraje (Zuluaga *et al.*, 2011).

Mahecha (2002) reporta que el Silvopastoreo es un tipo de agroforestería, considerada como una opción de producción pecuaria en donde las leñosas perennes (árboles y/o arbustos) interactúan con los componentes tradicionales (forrajeras herbáceas y animales) bajo un sistema de manejo integral. El follaje de árboles, arbustos o plantas similares con uso forrajero se caracteriza por tener un alto contenido de proteína cruda, hasta más del 40% de la materia seca, lo que representa el triple o aún más del que aportan las gramíneas, en varios casos también superior al de los concentrados comerciales.

La *Leucaena leucocephala*, guaje o huaxim como es comúnmente conocida, es originaria de México y Centro América. En algunas regiones de México se consume el follaje tierno como verdura, mientras que en otras partes el follaje es utilizado para alimentar animales, como mejorador del suelo o como cortinas rompevientos. Sin embargo, tiene un uso como leña o madera para la construcción, (Sosa *et al.*, 1999). Su uso como alimento en la nutrición animal es quizás el aspecto más importante en la actualidad, debido a sus características forrajeras.

Sus rendimientos, tanto en pastoreo, como bajo corte son altos y la calidad de su forraje, presentando valores en su contenido proteico alto. La *Leucaena* es una especie altamente palatable para el ganado, pudiendo soportar las altas cargas, además de ser persistente y resistente a la sequía. (Narayanan 1962; Anon, 1977).

(Narayanan, 1962; Anon, 1977), Presenta algunas desventajas, como su lento establecimiento. No obstante se destaca como una leguminosa de gran perspectiva

para el trópico, sobre todo para las explotaciones intensivas; donde las leguminosas tropicales hasta ahora utilizadas, presentan poca persistencia. (Preston, 1989).

Con el uso de la lombricomposta en suelos cultivados permite devolver la materia orgánica y de nutrientes que son extraídos por el crecimiento de las plantas proporcionando al suelo las características físicas, químicas y microbiológicas benéficas para el cultivo de plantas (Rotondo *et al.*, 2009).

Debido a que ésta leguminosa posee altos rendimientos de materia seca y elevado valor nutritivo, mejorándose la cantidad y calidad de la dieta animal, además de tener la capacidad de asociarse con bacterias fijadoras de nitrógeno atmosférico y una alta adaptación a una gran diversidad de condiciones agroecológicas y ser tolerante a la sequía (Faría, 1996; Shelton, 1996).

El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la lombricomposta en el desarrollo morfológico de *Leucaena leucocephala* var. Cunningham en un sistema silvopastoril

III. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1 Tipos de sistemas silvopastoriles (SSP)

El sistema silvopastoril es una opción de producción pecuaria en la cual las plantas leñosas perennes (árboles y/o arbustos) interactúan con los componentes tradicionales (animales y plantas forrajeras herbáceas) bajo un sistema de manejo integral, utilizados en la alimentación del ganado (Sánchez, 2011).

Debido a la versatilidad de usos que poseen y su utilidad como complemento de la calidad forrajera, las leguminosas arbustivas son significativamente importantes, por lo que se debe considerar su incorporación en los sistemas de producción (Gutteridge y Shelton, 1993). (Figura 1)

Para el desarrollo de una ganadería sustentable es necesario establecer un sistema de producción basado en el aprovechamiento de los recursos locales (Solorio et al., 2009).



Figura 1. Establecimiento de un SSP asociado con gramíneas

Lo que se busca elevar al máximo la eficiencia de varios procesos biofísicos esenciales como son la fotosíntesis en tres o cuatro estratos de vegetación; la fijación de nitrógeno y el reciclado de nutrientes con la finalidad de aumentar la producción de biomasa e incrementar el contenido de materia orgánica del suelo (Murgueitio et al., 2011). En este sentido, es necesario que las estrategias se dirijan de manera integrada para obtener resultados rápidos y eficientes, tendientes hacia una ganadería competitiva (Solorio et al., 2009).

Bajo estas condiciones los SSP constituyen un importante recurso para mejorar la ganadería sin comprometer los recursos naturales, contribuyendo a recuperar áreas deforestadas y suelos en procesos severos de degradación. Dichos SSP se basan en el uso intensivo de *Leucaena leucocephala*, asociada con gramíneas forrajeras tropicales (Solorio et al., 2009). (Figura 2)



Figura 2. *L. leucocephala* var. *Cunningham* asociada con gramíneas

En el sistema silvopastoril intensivo utiliza de mediana a alta densidad de árboles o arbustos, buscando la máxima producción por unidad de área a través de la incorporación de un estrato arbustivo para ramoneo y en algunos casos un estrato arbóreo multipropósito La especie más utilizada para ramoneo directo es la *Leucaena leucocephala*, porque tienen períodos de recuperación similar a las gramíneas, tallos flexibles y gran capacidad de rebrote. (Murgueitio *et al.*, 2011).

Obteniendo incidencias positivas de los Silvopastoriles como la incorporación de materia orgánica y diferentes elementos minerales, mayor retención e infiltración de agua por la incorporación de cobertura arbórea, mayor riqueza de macro y micro fauna, permitiendo descomposición, degradación, humificación y restauración de coberturas degradadas, mejores ganancias en la producción animal. (Murgueitio *et al.*, 2011)

Ventajas de los tipos de sistemas silvopastoriles

- Rinden diversos productos de valor económico, como alimento humano, forraje, productos medicinales, leña y nuevos postes para cercas.
- Protegen a los cultivos y animales contra el viento
- Sirven como barrera para detener la erosión y tienen un efecto benéfico para el suelo
- Generalmente duran mucho tiempo
- Tienen un costo relativamente bajo o ninguno.
- Sirven como linderos.
- Corredores biológicos
- Espacios de sombra.

3.1.1 Bancos de proteína.

Los bancos de proteína son áreas en las cuales los árboles y/o arbustos se cultivan en bloque y a alta densidad (mayores a 5000 plantas/ha). (Figura 3)

Generalmente se encuentran asociados con pastos o alguna otra especie forrajera de tipo herbáceo. El propósito es aumentar la producción de forraje para la alimentación animal, el cual debe ser de alta calidad nutritiva. (Fedegan, 2010)



Figura 3. Banco de proteína

Fuente: <https://tropicalforages.com>

3.1.2 Bancos Mixtos de Forraje.

Los Bancos forrajeros son cultivos intensivos cuya finalidad es producir hojas y tallos de gran valor nutritivo para la alimentación de los animales por medio de sistemas de corte y acarreo. Dentro de los bancos forrajeros podemos considerar tanto los cultivos de pastos de corte, caña de azúcar, así como especies leñosas (árboles y arbustos). Estos forrajes pueden suministrarse frescos, secarse para producir harina o ensilarse. (Fedegan, 2010) (Figura 4)



Figura 4. Bancos mixtos de forraje

Fuente: <https://sinaloaproduce2014.com>

3.1.3 Pastura en callejones.

Pastura en callejones es un sistema en el cual se establecen surcos o hileras de árboles y/o arbustos forrajeros de rápido crecimiento, en asocio con plantas herbáceas (pastos o leguminosas) entre las hileras. (Figura 5). Su objetivo es proveer mayor producción de forraje para los animales, mejorar la calidad del suelo y reducir los procesos de erosión. (Fedegan, 2010)



Figura 5. Pastura en callejones

3.1.4 Árboles dispersos en potreros.

Es un sistema en el cual los árboles y/o arbustos se encuentran distribuidos al azar dentro de las áreas de pastoreo. Generalmente, la función de los árboles y/o arbustos en este sistema es la de proveer sombra al animal en días calurosos, o refugio en días lluviosos. (Figura 6)

Además; pueden generar otros productos (forraje, leña, frutos y semillas) y servicios (fijación de nitrógeno, aporte de materia orgánica, protección). (Fedegan, 2010)



Figura 6. Árboles dispersos en potreros

Fuente: <https://panoramio2002.com>

3.1.5 Pastoreo en plantaciones

En este tipo de sistema, herbáceas forrajeras (pastos y/o leguminosas) se encuentran asociadas con leñosas de alto valor económico; debido a que son árboles y/o arbustos destinados para la producción de leña, madera, frutas o semillas. (Fedegan, 2010) (Figura 7)



Figura 7. Pastoreo en plantaciones

Fuente: <https://.yimg.com>

3.1.6 Cercas vivas.

El manejo de los animales en las explotaciones ganaderas, ya sea en actividades individuales o grupales En una sola hilera de árboles y/o arbustos que delimitan una propiedad; pero también, pueden localizarse en diferentes partes como por ejemplo en la división de potreros en fincas ganaderas. (Figura 8) Para este propósito existen alternativas de construcción utilizando árboles que se pueden propagar por estacas, (Zuluaga *et al.*, 2011)



Figura 8. Cercas vivas

Fuente: <https://agroforestería1.com>

3.1.7 Barreras rompe vientos.

También son llamadas cortinas cortavientos o cinturones verdes de protección. Son hileras (1 a 10) de árboles, arbustos, o ambos de diferentes alturas y establecidos en sentido opuesto a la dirección principal del viento. Su función: reducir la velocidad del viento en la zona cercana al suelo, reducir la acción mecánica del viento sobre los cultivos (pastos) y animales, evitar la pérdida de fertilidad del suelo por causa de erosión eólica y contribuir a regular las condiciones de microclima a nivel de finca (Andrew, 1974). (Figura 9)



Figura 9. Barreras rompe vientos

Fuente: <https://upload.wikimedia.org>

3.1.8 Sistemas silvopastoriles con manejo de la sucesión vegetal

Son los extremos entre potreros y terrenos para la recuperación de la cobertura vegetal natural en donde en un periodo de tiempo entre tres y cinco años varias (Figura 10) especies son diseminadas por el ganado después de ser consumidas, luego se

realizan podas selectivas y entresacas de madera hasta conformar de dos a tres estratos de vegetación compatibles con los pastos (Radosevich 1984).



Figura 10. Sistemas silvopastoriles con manejo de la sucesión vegetal

3.1.9 Sistemas Silvopastoriles de alta densidad arbórea o multiestrato:

Son sistemas donde se establecen árboles leguminosos como *L. leucocephala*, matarratón, algarrobo, y pastos para mejorar las condiciones del suelo y mitigar los efectos negativos en el medio ambiente que ocupan distintos niveles verticales con requerimientos variables de luz imitando la estructura de los bosques tropicales. (Figura 11)



Figura 11. Sistemas Silvopastoriles de alta densidad arbórea o multiestrato

3.1.10 Bancos de energía

Se establece con pasto imperial, pasto kinggrass y caña forrajera se utiliza para la alimentación de todos los animales y sirve como cobertura o barrera en pendientes pronunciadas. En muchos lugares se asocian con los bancos de árboles y arbustos forrajeros. (Figura 12)



Figura 12. Bancos de energía

Fuente: <https://leisa-al.org>

3.1.11 Sistemas silvopastoriles en ganadería extensiva:

Son sistemas de transición en los que el ganado penetra en los bosques y consume múltiples especies del sotobosque y frutos de árboles del dosel (Figura 13) en muchos casos contribuyen al establecimiento definitivo de las praderas (Peso, 1996)



Figura 13. Sistemas silvopastoriles en ganadería extensiva

Fuente: <https://abecomunidad.com>

3.1.12 Plantaciones forestales con pastoreo de ganado:

Cultivos de madera fina asociados con pastos, donde el pastoreo de ganado contribuye a evitar la invasión de gramíneas en la plantación forestal. (Figura 14)



Figura 14. Plantaciones forestales con pastoreo de ganado

Fuente: <https://agro.uba.ar>

3.2. Descripción de *L. leucocephala*

3.2.1 Morfología de la *L. leucocephala*

Roig (1974) la describe como un árbol inerme que a veces alcanza hasta 20 m de altura, pero por lo general no es más que un arbusto de unos 3 m o menos, con las ramillas pubescentes, pecioladas, de 3 a 6 cm de largo, con o sin glándulas y pinnas superiores un poco más cortas que las inferiores. Foliolos uniuiláteros, flores blancas globulares, axilares o terminales en su mayoría aglomeradas, de 1,5 a 3 cm de diámetro. Legumbres numerosas, lineales, aplanadas, membranosas.

Semillas aovadas, planas transversas (Yepes, 1974).

Su capacidad de adaptación le permite desarrollarse y producir en tierras bajas (Anon, 1965), suelos salinos (Eavis, *et al.*, 1974), arcillosos y pesados (Cooksley, 1974) e incluso soportar bajos niveles de pH y Ca (Andrew, 1974); aunque prefiere los suelos neutros donde crece mejor (Wu, 1964; Cooksley, 1974). No obstante es incapaz de soportar encharcamiento por largos períodos de tiempo (Partridge, 1974).

La *Leucaena* produce gran cantidad de semillas en casi todos los climas en que es cultivada. Las vainas frescas contienen alrededor de 70-90% de semillas duras (Hutton, 1975), lo cual produce el efecto de dormancia reportado por Randeo (1971).

Esta característica ha motivado el uso de diferentes métodos de reblandecimiento de las capas externas de la semilla, conocido como método de escarificación, a fin de lograr un mayor porcentaje de germinación en la etapa de establecimiento. Con buenos resultados se ha empleado la inmersión en agua a 80°C (Gray, 1962), escarificación con papel de lija o inmersión en agua a 90°C hasta temperaturas frías (Chandola *et al.*, 1973); alternación de la temperatura entre 20 y 32°C y un precalentamiento a 70°C (Pathak *et al.*, 1974), uso del H₂SO₄ concentrado durante 9 minutos (Pathak y Roy, 1974), agua caliente a 80°C durante tres minutos (Anon, 1977).

3.2.2 Clasificación taxonómica

Reino	<i>Plantae</i>
División	<i>Magnoliophyta</i>
Clase	<i>Magnoliopsida</i>
Orden	<i>Fabales</i>
Familia	<i>Fabaceae</i>
Subfamilia	<i>Mimosoideae</i>
Tribu	<i>Mimoseae</i>
Genero	<i>Leucaena</i>
Especie	<i>leucocephala</i>
Nombre científico	<i>Leucaena</i> <i>leucocephala</i>

Cuadro 1. Clasificación taxonómica de *L. leucocephala*

Fuente: conabio



Figura 15. *L. leucocephala*

3.2.3 Requerimientos nutricionales de la *L. leucocephala*

La *L. leucocephala* es un árbol de crecimiento rápido, con una altura y un diámetro variable según la variedad, se desarrolla sobre suelos calizos (Zárate, 1994), no crece bien en suelos inundados, sobrepastoreados y ácidos (Catie, 1997), puede adaptarse a suelos con un pH moderadamente ácido y bien drenados (Catie, 1991); sin embargo suelos inferiores a 5.5 de pH no son recomendables, particularmente cuando el suelo está asociado con aluminio altamente intercambiable y hay limitaciones en la disponibilidad de Calcio, Magnesio, Potasio y Fósforo (Batis *et al.*, 1999). Su mejor y más rápido crecimiento ocurre en un suelo arcilloso (Catie, 1997), y de buena profundidad (Red mexicana de germoplasma forestal, 1999). Los suelos mal drenados limitan el desarrollo de micorrizas y *Rhizobium* provocando un crecimiento deficiente en los nódulos de los árboles (Batis *et al.* 1999). Con una Temperatura, mínima: 7.2°C media: 22°C, máxima: 38.2 (Von Carlowitz *et al.*, 1991). Crece en áreas con una precipitación entre 400 y 800 mm con 8 meses secos (Lamprecht, 1989).

Se desarrolla mejor en zonas con altas temperaturas e insolación directa; aunque sobrevive a las heladas, se ve significativamente afectada por los meses más fríos (RED MEXICANA DE GERMOPLASMA FORESTAL, 1999). Se adapta bien a las tierras bajas casi desde el nivel de mar hasta los 800 a 900 msnm (Catie, 1997); sin embargo, se le ha encontrado hasta los 1,900 msnm (Red mexicana de germoplasma forestal, 1999).

3.2.4 Rendimientos

La *L. leucocephala* es una fuente promisoría de forraje de alto contenido proteico que produce gran rendimiento de hojas cuando otros pastos han cesado su crecimiento y sus hojas se secan (Hutton, 1972). Por otra parte, ha sido constatado un alto poder de recuperación en esta especie al incrementar su productividad desde 10 kg de MS/semana al final de la época de seca, hasta 84 kg de MS/semana al inicio de la época de lluvia, en períodos relativamente cortos (Falvey, 1976., Oakes, 1967) reportaron rendimientos de 7,2 a 19,2 t de MS/ha y de 0,73 a 1,15 t de proteína/ha, lo

que dependió de la variedad; mientras que Herrera (1967) obtuvo variaciones de 7,12 a 26,08 t de MS/ha y de 1,19 a 4,69 t de proteína/ha al cortar con alturas de 10 y 75 cm en dependencia de la altura de la planta.

En Australia, Hutton (1960), al comparar diferentes líneas de *L. leucocephala* obtuvieron rendimientos de MS de 1,4 y 12 t/ha para el cv. Perú y Hawaiano respectivamente; mientras que en Hawaii, en ensayos similares con líneas sobresalientes, se alcanzó hasta 33 t de MS/ha. En ambos casos los rendimientos dependieron de la variedad y de las condiciones específicas de cada lugar.

Para las condiciones de Sanford, en Australia y en experimentos de pastoreos los rendimientos estuvieron alrededor de las 10 t de MS/ha.

Con frecuencias de corte similares, pero en diferentes años, se ha observado variabilidad en el rendimiento. Takahashi, (1949) cortando en 3; 4 y 6 ocasiones por año obtuvieron rendimientos de 18.7; 20.5 y 15.5 t de MS/ha, respectivamente. Posteriormente Kinch, (1962), usando incluso líneas de altos rendimientos, solo alcanzaron de 8 a 10 t de MS/ha, con frecuencias similares.

3.2.5 Establecimiento de Leucaena en los SSP

En la mayoría de las leguminosas, la *L. leucocephala* enfrenta problemas en la etapa de establecimiento, sobre todo en la primera fase después de la germinación, en la cual el crecimiento de las plántulas es extremadamente lento, siendo mayores las dificultades cuando se adiciona el efecto depresivo producido por la invasión de malas hierbas. Este efecto fue reportado por Jones (1974), Harding (1972) y Cooksley (1974), encontrando este último que aun cuando Leucaena fue nodulada con efectividad por su raza específica de *Rhizobium* presentó efectos en el crecimiento. (Figura 16)

En innumerables trabajos se ha mostrado el efecto positivo de la inoculación en las semillas de leguminosas antes de la siembra para que se lleve a cabo una efectiva nodulación. Así López *et al.*, (1999) encontró un crecimiento de 1,8-2,4 m cuando sembró semilla de Leucaena inoculada comparado con 33 y 18 cm cuando no fue inoculada aplicando y sin aplicar urea respectivamente; mientras que (López *et al.*,

1999) evidenció la necesidad de inocular la semilla en esta especie al no encontrar nodulación en diferentes suelos cuando no se practicó esta operación.



Figura 16. Trasplante de *L. leucocephala*

3.2.6 Valor nutritivo de la *L. leucocephala*

Las hojas de *L. leucocephala* presentan un alto valor nutritivo; (Upadhyay *et al.*, 1974) han reportado contenidos de 21,4% de proteína bruta (PB), 14,2% de fibra bruta (FB), 6,5% de extracto etéreo, 2,7% de Ca y 0,17% de P. La digestibilidad de la materia seca (MS) y los contenidos de PB digerible (PBD) y TND fueron de 71,3; 16,7 y 70,2% respectivamente, presentando los animales balances positivos de N, Ca y P. Falvey (1976) reportó contenidos de PB en las hojas, que varió a través del año entre 18,7 y 30%, los cuales fueron muy superiores a los de *Stylosanthes humilis* (9,3-18,7%).

Joshi, (1976) reportaron para las hojas y algunas ramas jóvenes valores entre 20 y 24% de PB, 15,5% de PBD y 54% de TND, (Anon, 1977) sobre *L. leucocephala*,

planteó valores de 27-34% de PC. En este trabajo se consideró a las hojas de *L. leucocephala* como un aumento completo para la alimentación de los rumiantes, con una proteína de alta calidad nutricional, ya que presenta un buen balance de aminoácidos, equivalente al de la alfalfa.

Esta revisión cita datos de contenido de P de 0,23% y altos contenidos en caroteno (536 mg/kg de MS) concluyó que la *L. leucocephala* es una fuente excepcional para el suministro de Ca y P y otros elementos a los animales, aunque también reportan que en el norte de Australia se ha encontrado bajo contenido de sodio en la planta (0,01-0,03% de la MS).

El contenido de mimosina de esta planta puede reducir la actividad celulolítica.

Sin embargo, las bacterias del rumen se adaptan rápidamente, presentando posteriormente, la *L. leucocephala*, valores de digestibilidad similares a otras leguminosas (Anon, 1977).

3.2.7 Toxicidad

Las hojas y semillas de *L. leucocephala* contienen un aminoácido no proteico denominado mimosina el cual se encuentra entre el 3-5% de la MS de las hojas (Anon, 1977) y es la principal causante de los síntomas de intoxicación que presentan los animales cuando las consumen en grandes cantidades.

En animales de laboratorio (no rumiantes) se han encontrado síntomas de pérdidas de pelo, aborto, infertilidad, pérdida de salud, disminución de la secreción láctea, deformaciones y otras anomalías (Yoshida, 1944; Hegarty *et al.*, 1964; Bindon, 1966 y Joshi, 1968).

Sin embargo en los rumiantes, por lo general no se encuentran estos síntomas, debido a la transformación que sufre la mimosina por las bacterias del rumen, en 3-4 dihidropiridina (DHP), (Hegarty *et al.*, 1976), compuesto que presenta un potente efecto bocígeno (Hegarty, 1976).

Los trabajos realizados muestran que cuando las dietas de los rumiantes contienen menos del 30% de *Leucaena* los animales pueden consumirlas por largos períodos,

pero cuando esta forma más de un 50% de la ración se pueden presentar síntomas de intoxicación al consumirlas por períodos mayores a seis meses (Anon, 1977). Los síntomas que se presentan en los animales intoxicados son: disminución de las ganancias de peso, excesiva salivación, pérdidas del pelo y las tiroides elongadas y de gran tamaño (Jones, 1974; Jones *et al*, 1976). En estos trabajos se observó que los animales afectados por bocio no murieron y el efecto tóxico producido por la *Leucaena* es reversible si los animales son cambiados de este pasto. También el trabajo de (Jones, 1974) sugirió que el efecto tóxico que produce la mimosina puede ser de tipo acumulativo.

En vacas lecheras alimentadas en el período preparto solamente con *L. leucocephala* (Hamilton *et al.*, 1971) no se registró efecto sobre el ciclo estral, la concepción, ni efectos posteriores sobre la producción de leche. Sin embargo, algunas vacas presentaron pérdida de pelo, incoordinaciones ligeras y los terneros presentaron un menor peso al nacer (19,6 kg vs 25,8 kg) en comparación con vacas que no la consumieron.

3.3 Efectos positivos de los SSP.

3.3.1 Efectos positivos sobre el ambiente

El cambio de uso de bosques a pasturas disminuye los contenidos de carbono en el suelo, debido a aumentos de temperatura que aceleran los procesos oxidativos de compuestos orgánicos.

También, prácticas tradicionales como quemas, labranza convencional y destrucción en los ecosistemas como el desmonte y el subsiguiente disturbio del suelo aumentan la actividad microbial y los procesos oxidativos. El incremento de la cobertura de vegetación como la conversión de pastura pura a sistemas silvopastoriles incrementa la cantidad de carbono almacenado (Ibrahim, 2001).

El uso de sistemas silvopastoriles podría ser una alternativa para disminuir las emisiones de metano en la ganadería. (Montenegro, 2000).

3.3.2 Efectos en el suelo

La incorporación de leñosas perennes (árboles y arbustos) en los sistemas ganaderos tradicionales, permite incrementar la fertilidad del suelo, mejorar su estructura y disminuir los procesos de erosión. Estos resultados han sido explicados por el mayor reciclaje de nutrientes que ocurre, la fijación de N, la profundización de las raíces de los árboles, la mayor actividad de la macro y micro fauna y el control de la erosión (Ingham, 2000)

En un estudio realizado con sistemas silvopastoriles *L. leucocephala* y *C. plectostachyus*, se encontró que la presencia de árboles leguminosos en los potreros, permitió incrementar el contenido de nutrimentos en el suelo, como nitrógeno, fósforo y carbono a profundidades desde 10-30 cm, en comparación a los potreros que tenían sembrada la gramínea en monocultivo (Rarmírez, 1998).

Los contenidos de C encontrados por (Ramírez, 1998) en el suelo del sistema silvopastoril, indican que estos sistemas son potenciales sumideros de carbono que pueden contribuir a mitigar el efecto de las emisiones globales de carbono. (López *et al.*, 1999), encontraron que el sistema silvopastoril tiene el potencial de acumular carbono en la biomasa, sin disminuir el carbono en el suelo durante los primeros 7-10 años de crecimiento.

- Reciclaje de nutrientes

El manejo de gramíneas acompañado con árboles y/o arbustos, permite que una fracción representativa de los nutrientes que son extraídos de la solución edáfica sea retornada a ella mediante la deposición, en la superficie del suelo, del follaje y residuos de pastoreo o podas. Esta mayor deposición de materia orgánica, contribuye a modificar las características físicas del suelo como su estructura. (Sadeghian *et al.*, 1998).

- Fijación de N:

Las leguminosas se asocian con bacterias del género *Rhizobium* para captar nitrógeno atmosférico haciéndolo disponible para las gramíneas en el suelo. En promedio se estima una fijación de 150-200 kg N/ha/año. (Giraldo, 2000).

- Profundidad de las raíces

El sistema radicular extendido y profundo de los árboles, aumenta el área disponible para captar agua y nutrientes (Gutiérrez, 1995).

- Acción de micro y macro fauna

La mayor presencia de materia orgánica en el suelo y el microclima (humedad y temperatura) creado por la presencia de árboles, favorece la actividad biológica de la micro y macro fauna, lo cual resulta en una mayor mineralización y disponibilidad de N en el suelo. Además, la materia orgánica que es incorporada paulatinamente al suelo por la acción de la endofauna, contribuye a mejorar la estabilidad del suelo y la capacidad de infiltración de agua. (Belsky *et al.*, 1993).

- Control de erosión

Los árboles en sistemas silvopastoriles cumplen funciones ecológicas de protección del suelo disminuyendo los efectos directos del sol, el agua y el viento (Fassbender, 1993).

(Gómez, 1999); demostraron que en suelos descubiertos o con monocultivos de gramíneas, la pérdida de suelo es mayor que en los bosques. El control de la erosión hídrica por parte de los árboles se debe a varios efectos: Reducción del impacto de la lluvia sobre el suelo, Aumento de la infiltración, Permanencia de materia orgánica sobre la superficie del suelo, Efecto agregado de las partículas del suelo. (Carvalho *et al.*, 1994).

- Reciclaje de nutrientes

Un balance positivo fue encontrado después de un año, para N (+ 16 kg/ha) y P (+1 kg/ha) en sistemas silvopastoriles conformados por pasto nativo y *Leucaena leucocephala*, sembrada de forma espaciada en toda el área del potrero, comparado con un balance negativo para N (-15 kg/ha) y para P (-6 kg/ha) en el monocultivo de pasto nativo (Crespo *et al* 1998)

- Diversidad de endofauna

En estudios realizados se comparó la fauna del suelo en dos sistemas de producción, gramínea nativas y gramíneas asociadas con leguminosas arbóreas ; después de 3 años, los potreros con asociación, presentaron 59 grupos taxonómicos de macro invertebrados a nivel de familia y un total de 913 individuos por unidad de muestreo, mientras que los potreros en monocultivo de gramínea en un estado intermedio de degradación, presentaron valores máximos de 30 y 305 individuos, respectivamente (Gómez, 1999).

3.3.3 Efectos positivos sobre la preservación de fuentes de agua

La presencia de árboles afecta la dinámica del agua de varias formas: actuando como barreras, que controlan la escorrentía; como cobertura, reduciendo el impacto de gota, y como mejoradores del suelo, incrementando la infiltración y la retención de agua (Botero, 1997a).

3.4 Fertilización orgánica

Los abonos orgánicos son todos aquellos residuos de origen animal y vegetal de los que las plantas pueden obtener importantes cantidades de nutrientes, el suelo con la

descomposición de estos abonos, se ve enriquecido con carbono orgánico y mejora sus características físicas químicas y biológicas

Entre los abonos orgánicos se incluyen los estiércoles compostas, vermicompostas, abonos verdes, residuos de cosecha, residuos orgánicos industriales, aguas negras y sedimentos orgánicos. Los abonos orgánicos son muy variables en sus características físicas y composición química principales entre el contenido de nutrientes, la aplicación constante de ellos con el tiempo mejora las características físicas, químicas, biológicas y sanitarias del suelo. (Botero, 1997b).

Conceptos básicos

- Abono

El abono es cualquier sustancia orgánica o inorgánica que mejora la calidad del sustrato a nivel nutricional para las plantas arraigadas en éste. Los abonos naturales o ecológicos se encuentran tanto en el estiércol, mezclado con los desechos de la agricultura como el forraje, el guano que son los excrementos de las aves de corral cuya función principal es proporcionar elementos nutricionales a las plantas, consistente en aportar un abono se le denomina fertilización. Los abonos forman parte de los productos fertilizantes (Cooke, 1983).

- Fertilizantes

Son sustancias que contienen elementos o compuestos químicos nutritivos para los vegetales, en forma tal que pueden ser absorbidos por las plantas. Se los utiliza para aumentar la producción, reponer y evitar deficiencias de nutrientes y al mejoramiento sanitario de las plantas. Algunos de los efectos perjudiciales de su uso son el aporte de nitratos a las capas de agua en las áreas de cultivos intensivos, concentraciones de pesticidas, bacterias y residuos agroquímicos. Por ello, deben seguir ajustándose las cantidades que se aplican a las necesidades de los cultivos, mejorar la composición de pesticidas y fertilizantes y manejar las plagas en forma integral (Casafe, 1993).

Los fertilizantes y abonos orgánicos están formados por desechos y residuos de plantas y animales. Los fertilizantes orgánicos están compuestos por desperdicios provenientes del tratamiento industrial de partes de plantas y animales (harinas de huesos, pescado y semillas de algodón, guano de aves marinas, sangre seca, desperdicios de cuero). Tienen altos contenidos de nitrógeno y fósforo, que pueden ser absorbidos por las plantas en su totalidad y su aplicación en grandes cantidades, no presenta los riesgos de las dosis equivalentes de fertilizantes inorgánicos.

Los abonos orgánicos contienen mucho carbono y nutrientes vegetales que, por lo general, proceden de las plantas que fijaron el carbono. Tal es el caso de los desperdicios de las explotaciones mixtas agrícola-ganaderas, que consisten en una mezcla de paja con estiércol animal.

Los abonos verdes provienen de cultivos de gramíneas o leguminosas, realizados con el único propósito de incorporarlos al suelo, o bien de dejarlos en superficie después de completar su ciclo. Además de mejorar la productividad y aptitud, contribuyen a controlar las malezas, insectos perjudiciales y la erosión del suelo, e incluso, pueden proveer forraje para los animales en años de condiciones especiales, como también servir de refugio de las distintas especies animales silvestres (Reganold *et al.*, 1990).

3.4.1 Importancia de los abonos orgánicos

La necesidad de disminuir la dependencia de productos químicos artificiales en los distintos cultivos, está obligando a la búsqueda de alternativas fiables y sostenibles. En la agricultura ecológica, se le da gran importancia a este tipo de abonos, y cada vez más, se están utilizando en cultivos intensivos. No podemos olvidarnos la importancia que tiene mejorar diversas características físicas, químicas y biológicas del suelo, y en este sentido, este tipo de abonos juega un papel fundamental. Con estos abonos, aumentamos la capacidad que posee el suelo de absorber los distintos elementos nutritivos, los cuales aportaremos posteriormente con los abonos minerales o inorgánicos. Existen incluso empresas que están buscando en distintos

ecosistemas naturales de todas las partes del mundo, sobre todo tropicales, distintas plantas, extractos de algas, etc., que desarrollan en las diferentes plantas, distintos sistemas que les permiten crecer y protegerse de enfermedades y plagas. De esta forma, en distintas fábricas y en entornos totalmente naturales, Para producir abonos orgánicos y sustancias naturales, que se están aplicando en la nueva agricultura. Para ello y en diversos laboratorios, se extraen aquellas sustancias más interesantes, para fortalecer las diferentes plantas que se cultivan (Flores *et al*, 2006).

3.4.2 Propiedades de los fertilizantes orgánicos.

Los fertilizantes orgánicos tienen unas propiedades, que ejercen unos determinados efectos sobre el suelo, que hacen aumentar la fertilidad de este. Básicamente, actúan en el suelo sobre tres tipos de propiedades:

Propiedades físicas.

- El fertilizantes orgánico por su color oscuro, absorbe más las radiaciones solares, con lo que el suelo adquiere más temperatura y se pueden absorber con mayor facilidad los nutrientes.
- El fertilizante orgánico mejora la estructura y textura del suelo, haciendo más ligeros a los suelos arcillosos y más compactos a los arenosos.
- Mejoran la permeabilidad del suelo, ya que influyen en el drenaje y aireación de éste.
- Disminuyen la erosión del suelo, tanto de agua como de viento.
- Aumentan la retención de agua en el suelo, por lo que se absorbe más el agua cuando llueve o se riega, y retienen durante mucho tiempo, el agua en el suelo durante el verano.

Propiedades químicas

- Los fertilizantes orgánicos aumentan el poder tampón del suelo, y en consecuencia reducen las oscilaciones de pH de éste.
- Aumentan también la capacidad de intercambio catiónico del suelo, con lo que aumentamos la fertilidad.

Propiedades biológicas

- Los fertilizantes orgánicos favorecen la aireación y oxigenación del suelo, por lo que hay mayor actividad radicular y mayor actividad de los microorganismos aerobios.
- Los fertilizantes orgánicos constituyen una fuente de energía para los microorganismos, por lo que se multiplican rápidamente.

Aporte de aminoácidos

Otro elemento fundamental en los abonos orgánicos, son los aminoácidos. Desde 1804 hasta nuestros días, los fisiólogos vegetales han demostrado que, además del carbono, hidrógeno y oxígeno, son trece los elementos químicos que se consideran esenciales, para la vida de las plantas. De éstos, el más importante con diferencia es el nitrógeno. La fertilización tradicional no siempre consigue su objetivo. Situaciones de estrés hídrico, térmico o fitotóxico, pueden impedir que las plantas absorban el nitrógeno disponible y lo utilicen para sus procesos biosintéticos. Estos problemas pueden solucionarse, valiéndose de los conocimientos más modernos de fisiología vegetal utilizando elementos básicos de la biosíntesis, es decir los aminoácidos. Los aminoácidos constituyen la base fundamental de cualquier molécula biológica, y son compuestos orgánicos. No puede realizarse proceso biológico alguno, sin que en alguna fase del mismo intervengan los aminoácidos (Graetz, 1997).

Estos aminoácidos se fabrican en empresas especializadas, mediante un recipiente mezclador en el cual se colocarán levaduras, y otros productos. Posteriormente y mediante diversas hidrólisis y centrifugación, se dispondrá del abono orgánico.

Las proteínas son sustancias orgánicas nitrogenadas de elevado peso molecular, y todas están constituidas por series definidas de aminoácidos los aminoácidos son por tanto las unidades básicas de las proteínas la mayoría de las proteínas contienen veinte aminoácidos (Hunt, 1978).

Las plantas sintetizan los aminoácidos a través de reacciones enzimáticas, por medio de procesos de aminación y transnominación, los cuales conllevan un gran gasto energético por parte de la planta. Partiendo del ciclo del nitrógeno, se plantea la posibilidad de poder suministrar aminoácidos a la planta, para que ella se ahorre el trabajo de sintetizarlos, y de esta forma poder obtener una mejor y más rápida respuesta en la planta. De esta forma los aminoácidos son rápidamente utilizados por las plantas, y el transporte de los mismos tiene lugar nada más aplicarse, dirigiéndose a todas las partes, sobre todo a los órganos en crecimiento (Mohr, 1995).

Los aminoácidos, además de una función nutricional, pueden actuar como reguladores del transporte de micro elementos, ya que pueden formar complejos con metales en forma de quelatos. Pero la calidad de un producto, a base de aminoácidos, tiene relación directa con el procedimiento empleado para la obtención de dichos aminoácidos. Todos los abonos orgánicos, se pueden utilizar en cualquier especie vegetal y su aplicación es normalmente mediante el riego, colocándose una serie de depósitos auxiliares, a través de los cuales se inyectan en la red de riego, y en las cantidades que veamos oportuno (Gros, 1992).

Aporte de materia orgánica

Los autores denominan indistintamente materia orgánica (Navarro *et al.*, 1995) o humus (Gros, 1992) a la parte orgánica que cumple un papel esencial en el suelo. No existe una definición de materia orgánica con la que todos los especialistas estén de acuerdo; pero, en general, el término materia orgánica designa a las “sustancias

orgánicas variadas, de color pardo y negrozco, que resultan de la descomposición de materias orgánicas de origen exclusivamente vegetal”. Contiene aproximadamente un 5% de nitrógeno, por lo que su valor en el suelo se puede calcular multiplicando por 20 su contenido en nitrógeno total (Gros, 1992).

La materia orgánica tiene efecto sobre las propiedades físicas del suelo, formando agregados y dando estabilidad estructural, uniéndose a las arcillas y formando el complejo de cambio, favoreciendo la penetración del agua y su retención, disminuyendo la erosión y favoreciendo el intercambio gaseoso. Cuando se refiere al efecto sobre las propiedades químicas del suelo, los autores mencionan que aumenta la capacidad de cambio del suelo, la reserva de nutrientes para la vida vegetal y la capacidad tampón del suelo favorece la acción de los abonos minerales y facilita su absorción a través de la membrana celular de las raicillas. Y en cuanto a su efecto sobre las propiedades biológicas, favorece los procesos de mineralización, el desarrollo de la cubierta vegetal, sirve de alimento a una multitud de microorganismos y estimula el crecimiento de la planta en un sistema ecológico equilibrado. Estos efectos de la materia orgánica también han sido sugeridos por otros autores (Anónimo, 1988; Graetz, 1997).

Para Jhonstom (1991), la cantidad de humus en el suelo depende de muchos factores, tales como la incorporación de nuevos restos orgánicos al suelo y su velocidad de oxidación química y biológica, la velocidad de descomposición de la materia orgánica existente ya en el suelo, la textura del suelo, la aireación, humedad y los factores climáticos. Las prácticas de manejo del cultivo también pueden tener un efecto sobre este parámetro, ya que, por ejemplo, el empleo de abonos minerales acelera la descomposición de la materia orgánica en el suelo. Esto es una manifestación del crecimiento de la actividad biológica, que se traduce en la práctica en una mejora de la fertilidad y, por tanto, de los rendimientos (Gros, 1992).

La materia orgánica en el suelo facilita los mecanismos de absorción de sustancias peligrosas como los plaguicidas. Por ejemplo, se sabe que la capacidad del suelo para

absorber compuestos químicos como clorofenoles o cloroanilinas aumenta con el contenido en materia orgánica (Vangestel, 1996). La aplicación de enmiendas orgánicas también aumenta la degradación de fumigantes como el 1,3-D (Gan, *et al.*, 1998), bromuro de metilo y el isotiocianato metilo (Gan *et al.*, 2000) y disminuye la volatilización de estos tres pesticidas, cuando la enmienda se aplica en los primeros 5 cm del suelo (Gan *et al.*, 1998; Gan *et al.*, 2000).

La materia orgánica del suelo, es uno de los factores más importantes para determinar la productividad del suelo en forma sostenida. Especialmente en las regiones tropicales, donde las temperaturas elevadas y en algunas zonas la alta humedad aceleren la descomposición, el manejo adecuado de la materia orgánica en los suelos es todavía más importante. Representa una estrategia básica para darle vida al suelo, porque sirve de alimento a todos los organismos que viven en él, particularmente a la microflora responsable de realizar una serie de procesos de gran importancia en la dinámica del suelo, en beneficio del crecimiento de las plantas. La materia orgánica del suelo está constituida por todo tipo de residuos orgánicos (vegetal o animal) que es incorporado al suelo (Galindo *et al.*, 1989).

Fuentes de materia orgánica

- Residuos actividad ganadera: Estiércoles, orines, pelos, plumas, huesos, etc.
- Residuos actividad agrícola: Restos de cultivos, podas de árboles y arbustos, malezas, etc.
- Residuos actividad forestal: Aserrín, hojas, ramas y ceniza
- Residuos actividad industrial: Pulpa de café, bagazo de la caña de azúcar, etc.
- Residuos actividad urbana: Basura doméstica, restos de comida. Abonos orgánicos preparados: Compost, estiércol, bocaschi, humus de lombrices, mulch, abono verde, etc.
- Lombricomposta.
- Mulshing

La descomposición de la materia orgánica es un proceso biológico que ocurre naturalmente. Su velocidad es determinada por tres factores principales:

- La composición de los organismos del suelo
- El entorno físico (oxígeno, humedad y temperatura)
- La calidad de la materia orgánica

Los organismos y las interacciones entre ellos estructuran la red alimenticia del suelo. La energía necesaria para todas las redes alimenticias es generada por los productores primarios: plantas, líquenes, musgos, bacterias fotosintéticas y algas que usan la luz del sol para transformar el dióxido de carbono (CO₂) de la atmósfera en carbohidratos. La mayor parte de los organismos dependen de los productores primarios para obtener su energía y nutrientes: son los llamados consumidores.

Los microorganismos, tales como las bacterias, y los invertebrados grandes como las lombrices de tierra y los insectos, ayudan a descomponer los residuos de los cultivos mediante su ingestión y mezcla con el mineral madre del suelo; en el proceso reciclan energía y nutrientes de las plantas.

La parte viva del suelo incluye una amplia variedad de microorganismos tales como bacterias, hongos, protozoarios, nematodos, virus y algas.

Descripción y función de algunos elementos en los procesos de reciclaje de nutrientes.

3.4.3 Microorganismos desintegradores de la materia orgánica

3.4.3.1 Bacterias

Las bacterias son organismos unicelulares, algo más largo que anchos, con un tamaño promedio de 1 μm . Su tamaño reducido es suplido por su número. Frecuentemente viven en colonias de miles o millones de individuos, todos de la misma especie. Muchas de estas colonias producen sustancias que actúan como adhesivos que permiten que las partículas del suelo se unan. Descomponen los substratos de fácil uso, los compuestos de carbono simple tales como las exudaciones de las raíces y los

residuos frescos de las plantas. Los desechos producidos por las bacterias se convierten en materia orgánica.

3.4.3.2 Hongos

Los hongos son organismos microscópicos que crecen en forma de hilos largos o hifas, las cuales a veces se agrupan en conglomerados llamados micelios o estructuras gruesas similares a raíces.

Los miles de especies activas en el suelo, pero que no son visibles, realizan funciones que son tan importantes como las de las levaduras. Los hongos son organismos aeróbicos y mueren cuando un suelo se convierte en anaeróbico, por ejemplo, en el caso de inundaciones o compactación del suelo. Descomponen la materia orgánica más resistente, reteniendo en el suelo los nutrientes obtenidos bajo forma de biomasa de hongos y liberación de dióxido de carbono (CO₂). El material menos resistente es descompuesto primero mientras que el material más resistente, como la lignina y las proteínas, es descompuesto en varias etapas. Muchos de los productos de desechos secundarios son ácidos orgánicos; por ello, los hongos ayudan a incrementar la acumulación de materia orgánica rica en ácidos húmicos, resistentes a una degradación posterior.

3.4.3.3 Protozoarios

Los protozoarios son organismos unicelulares, muy móviles, varias veces mayores que las bacterias (5-100 μm). Son predadores y se alimentan de bacterias, otros protozoarios y algunas veces de hongos, aunque pueden también alimentarse de materia orgánica soluble. Los protozoarios requieren de 5 a 10 veces menos nitrógeno que las bacterias, cuando un protozoario se alimenta de una bacteria, libera nitrógeno. El nitrógeno liberado queda disponible para su absorción por las plantas. Son los mayores productores del nitrógeno disponible para las plantas. Entre el 40 y el 80 por ciento del nitrógeno de las plantas puede provenir de la interacción predator-presa de protozoarios con bacterias. El nitrógeno liberado por los protozoarios está en forma de

amonio (NH_4^+) y de este modo, fácilmente disponible para las raíces de las plantas y otros organismos.

3.4.3.4 Nematodos

Los nemátodos son minúsculos animales unicelulares, similares a lombrices, que viven en los laberintos de los poros del suelo. Se mueven en las películas de agua que se adhieren a las partículas de suelo. Los más grandes, que son difícilmente visibles a simple vista, tienen 50 μm de diámetro y 1 mm de longitud. Tienen una importante función en la mayor parte de los procesos del suelo, desde la descomposición de los residuos hasta la patología de las plantas. Si bien son considerados generalmente como plagas de la agricultura, la mayoría de las especies son beneficiosas; sin embargo, hay escasos conocimientos acerca de los mismos. Los nemátodos beneficiosos se alimentan de bacterias, hongos y otros nemátodos. Las pocas especies que provocan enfermedades a las plantas han recibido mayor atención.

Tienen menor contenido de nitrógeno que los protozoarios, entre 10 y 100 veces menos que las bacterias o entre 5 y 50 veces menos que las hifas de los hongos. De este modo, cuando hay nemátodos que se alimentan de bacterias y hongos, el nitrógeno es liberado como (NH_4^+), haciendo que el nitrógeno esté disponible para el crecimiento de las plantas y de otros organismos del suelo (Yepsen, 1984).

3.4.3.5 Lombrices de tierra

Las lombrices de tierra ingieren suelo y mezclan material de las plantas dentro del suelo. Pasando el suelo a través de sus cuerpos, las lombrices digieren los hongos, los protozoarios, los nemátodos y los microartrópodos. Además, el material orgánico es fragmentado y mezclado con el mucus o secreción producida en sus intestinos e inoculado con microorganismos. La actividad de los microorganismos es favorecida por el efecto desencadenante de esta mezcla y un mayor número es encontrado en las heces y rastros de las lombrices, comparado con la materia orgánica antes de su consumo. Estos microorganismos continúan su actividad en rastros frescos y aportan alimentos a otros microorganismos y, por lo tanto, facilitan el reciclaje de los nutrientes.

Promueven la actividad de los microorganismos mediante la fragmentación de la materia orgánica y el aumento del área accesible a los hongos y las bacterias. Además, estimulan el crecimiento extensivo de las raíces en el subsuelo debido a la mayor disponibilidad de nitrógeno en los túneles (hasta cuatro veces más que el nitrógeno total en la capa superior del suelo) y a la fácil penetración de las raíces por los canales existentes.

3.4.3.6 Artrópodos

Los artrópodos son organismos que tienen uniones (artro) en las patas (podos). Incluyen no solo a los insectos (escarabajos, hormigas, termitas) sino también a los arácnidos (arañas, ácaros), los crustáceos (cochinilla de tierra), los ciempiés y milpiés y los escorpiones. Los predadores pueden ser generalistas, o sea que se alimentan de muchos organismos diferentes, o especialistas, o sea que capturan solo unas pocas especies (Evans, 1984). Incluyen hormigas, ciertos ácaros, arañas, ciempiés, escarabajos y escorpiones. Muchos predadores comen plagas de cultivos y algunos son usados como agentes de control biológico tales como varias avispas parásitas.

Los herbívoros del suelo son por lo general insectos que pasan parte de su vida en el suelo y se alimentan con raíces. Algunos herbívoros cuando aparecen en grandes cantidades y la población no es controlada por otros organismos atacan otras partes de la planta; incluyen las chicharras, los grillos, la lombriz de raíz y las larvas de algunos escarabajos (gusano blanco),

La función que desempeñan sobre o dentro del suelo es consumir y competir con varias plagas de las plantas. Cuando está presente una población fuerte de depredadores, pueden ser controladas las plagas de las plantas. Pero una población de depredadores puede ser mantenida entre las apariciones de las plagas si además están presentes otras clases de presas; este es el caso de una red alimenticia fuerte con alta diversidad (Yeppen, 1984).

Función de la materia orgánica en los suelos

Aporte de nutrientes esenciales (N, P, K, S, Bo, Co, Fe, Mg entre otros), activación biológica del suelo, mejoramiento de la estructura del suelo y por lo tanto del movimiento del agua y del aire, fomento de las raíces, incremento de la capacidad de retención de humedad, incremento de la temperatura, incremento de la fertilidad potencial, estabilización del pH, disminución de la compactación del suelo, reducción de la erosión externa e interna.

3.4.4 Tipos de abonos orgánicos

3.4.4.1 Cenizas

La ceniza es el producto de la combustión de algún material, compuesto por sustancias inorgánicas no combustibles, como sales minerales. Parte queda como residuo en forma de polvo depositado en el lugar donde se ha quemado el combustible y parte puede ser expulsada al aire como parte del humo. Deben proceder de maderas, huesos. etc. Además de ser una solución natural ante plagas y enfermedades causadas por hongos, las cenizas aportan altos niveles de calcio, magnesio y potasio. Son muy útiles para corregir suelos con pH muy ácidos por su ligero efecto alcalino.

3.4.4.2 Abono verde

Es un tipo de abono que consiste en sembrar plantas, principalmente las que son ricas en nitrógeno (como las leguminosas), y posteriormente se cortan y se añaden a la tierra como si fueran abono. El abono verde es muy útil para proteger los suelos erosionados y facilitar el proceso de recuperación de terrenos que hayan estado sometidos al uso de agrotóxicos, fertilizantes sintéticos, etc. Además, entre sus muchos beneficios, limitan la aparición de plantas espontáneas o adventicias.

3.4.4.3 Estiércol

Está formado por las heces fermentadas de animales, de ahí que el estiércol pueda presentar diferentes niveles de nutrientes dependiendo del animal del que provenga. El estiércol puede proceder de caballos, de oveja, vacas, gallinas (gallinaza), etc. Además de aportar nutrientes, el estiércol hace que proliferen la vida de los microorganismos que favorecerán la fertilidad de la tierra.

3.4.4.4 Turba

Es el resultado de restos vegetales que se han ido descomponiendo con un nivel alto de humedad y poco oxígeno. La turba es una materia esponjosa y fibrosa. Ayuda a estimular el crecimiento de las raíces de las plantas, a mejorar la estructura de la tierra dando más esponjosidad, evita el arrastre de nutrientes y favorecer la absorción de agua. Podemos encontrar dos tipos de turba: la negra (con pH neutro) y la rubia (sólo se recomienda en algunos cultivos debido a su pH ácido).

3.4.4.5 Guano

El guano lo forman las deyecciones de aves marinas y de murciélagos, por lo tanto es un tipo de estiércol. Tiene altos niveles de nitrógeno, potasio y de fósforo.

3.4.4.6 Compost

La composta es el resultado de un proceso de biodegradación de materia orgánica llevado a cabo por organismos y microorganismos del suelo bajo condiciones aerobias. Como resultado de la acción de estos organismos, el volumen de desperdicios se reduce entre un 50 y un 85 por ciento. Este proceso ocurre en la naturaleza sin intervención directa del hombre, por lo que se considera una forma natural de reciclaje. Los organismos descomponedores del suelo necesitan carbono, nitrógeno, agua y oxígeno para poder realizar efectivamente su función.

La proporción al mezclar estas sustancias es esencial para que el proceso se desarrolle de manera adecuada, por esto debemos proveer unas 30 partes de carbono por 1 parte de nitrógeno.

Para que la descomposición se efectúe con rapidez y libre de malos olores, la mezcla debe mantenerse húmeda y aireada en todo momento.

3.4.4.7 Vermicompost

Es una técnica que consiste en un proceso de bio-oxidación y estabilización de la materia orgánica, mediado por la acción combinada de lombrices de tierra y microorganismos, del que se obtiene un producto final estabilizado, homogéneo y de granulometría fina denominado vermicompost o humus de lombriz, muy apreciado en el mercado.

En principio, las materias primas para el vermicompostaje son las mismas que para el compostaje, aunque con algunos matices referentes a las condiciones y contenidos necesarios para que las lombrices puedan llevar a cabo su metabolismo.

La lombricultura es la cría intensiva en cautiverio de algunas especies de lombriz. (Figura 17). Esta constituye una actividad que utiliza a la lombriz para el reciclaje de todo tipo de residuos orgánicos, para transformarlo en un producto no tóxico utilizable como enmienda, sustrato y/o fertilizante (Gunadi, 2003).



Figura 17. Crianza de lombriz roja californiana

Fuente: <http://sistemaagricola.com.mx>

3.4.4.7.1 Origen de la lombricultura

El origen se remonta a 10.000 años antes de Cristo en la región de Egipto y Mesopotámia, precisamente los Egipcios tenían gran admiración por las lombrices. Pero fue Aristóteles quien bautizo a las lombrices como los intestinos de la tierra por su movilidad dentro del suelo y por los beneficios evidentes que esta representa para los suelos. Pero solo hasta 1880, se tuvo datos científicos sobre este anélido. Probablemente el hombre; reconocerá un día la gigantesca obra que realiza estos anélidos. La importancia de los conocimientos de Darwin radica en el estudio profundo de la biología de la lombriz, sus hábitos y hábitat, además del método de investigación llevado a cabo. Todo lo anterior le ha merecido al famoso sabio ser considerado como el padre de la lombricultura. Muchos biólogos y personas interesadas en el tema iniciaron en ese entonces trabajos relacionados con la lombriz de tierra, y todavía se llevan a cabo en diferentes regiones del mundo. La lombriz para beneficio económico se dice que se utilizó por primera vez en Estados Unidos de Norteamérica en 1974 cuando un primo del Presidente Cárter utilizando un ataúd sembró lombrices que posteriormente le reportaron jugosas ganancias. La Universidad Agrícola de

California se obtiene el híbrido rojo californiano (*Eisenia foetida*), el más usado recientemente en el mundo. Esta especie de lombriz que puede explotarse en cautividad, se han obtenido por selección, varios tipos de las cuales se pueden explotar en terrenos al aire libre, en cualquier zona, sin ningún tipo de alojamiento fijo. La lombriz roja californiana tiene la capacidad de vivir en grandes grupos de individuos con poco espacio, buena adaptación a un amplio rango de temperatura y humedad. La selección de esta lombriz estuvo orientada inicialmente a aumentar la cantidad de comida ingerida, con el fin de incrementar la producción de humus, pero no se obtuvieron resultados positivos, por lo que la selección se encaminó a prolongar su vida y aumentar la frecuencia de la reproducción.

La *Eisenia foetida* en forma natural, ejerce una función fundamental en los primeros 80 cm. del suelo y más que todo en la incorporación y degradación de la materia orgánica depositada en la superficie, al transformarlas en "Humus" (Figura 21). En la transformación de Compuestos Orgánico: La *Eisenia foetida* tiene la capacidad de biodegradar cualquier tipo de material orgánico en descomposición. Al igual que la mayoría de los animales, la lombriz es selectiva, es decir, que tiene preferencia por ciertos tipos de materiales, debido a su riqueza nutritiva y a su forma física. La lombriz roja, cuando es adulta, mide de 5 a 6 cm, su diámetro oscila entre 3 y 5 mm, es de color rojo oscuro y pesa aproximadamente un gramo (Figura 18). Cuando las condiciones del medio son favorables, esta lombriz ingiere diariamente una cantidad de comida equivalente a su propio peso, del cual expele un 60% en forma de humus.



Figura 18. Lombriz roja californiana

Fuente: <http://mlm-s1-p.mlstatic.com>

La lombriz roja puede vivir hasta 16 años. Cuando la temperatura y la humedad del medio donde vive son adecuadas, se aparean cada 7 días. Son hermafroditas, no se auto fecundan, por tanto es necesaria la cópula, luego cada individuo coloca una cápsula (huevo en forma de pera de color amarillento) de unos 2 mm. Las capsulas se abren pasados entre 14 y 21 días de incubación según sea la temperatura del medio, y de cada una de ellas sale un numero de crías que oscila entre 2 y 20. Las lombrices recién nacidas son de color blanco, que se vuelve rosado a los 5 o 6 días y se convierte definitivamente en rojo oscuro a los 15 o 20 días. El tamaño de individuos adultos se alcanza a la edad de 7 meses.

La actividad sexual disminuye en los meses fríos y en los calurosos, siendo mayor durante los meses templados. La máxima actividad sexual se logra cuando la temperatura del medio donde habita oscila alrededor de los 20°C.

A diferencia de la lombriz común, que tiende a alejarse del lugar donde inicialmente se ha instalado, la lombriz roja no se aleja de sus alojamientos, salvo en el caso de que surjan unas condiciones muy desfavorables. La lombriz roja no deposita sus deyecciones sobre la superficie del suelo, con lo cual no existe la posibilidad de que una parte de éstas sea arrastrada por el viento o por el agua.

En términos generales, al cabo de un año, un módulo inicial de lombriz roja se multiplica de 8 a 12 veces, consume diariamente su propio peso en alimento y excreta en forma de humus en promedio el 60%. Su asombrosa capacidad digestiva efectuada en cuestión de horas el proceso de degradación y mineralización de la materia orgánica, que en compostación controlada se demora semanas o meses. Esta rápida transformación de la materia orgánica, hace que los niveles de pérdidas de nutrientes como nitrógenos y potasio entre otros, sea mínima con relación a los sistemas de compostación habituales.

3.4.4.7.2 Proceso productivo del vermicompost

La acción combinada de lombrices y microorganismos modifica significativamente las características y composición de los desechos orgánicos. La biodegradación y estabilización de la materia orgánica se lleva a cabo en condiciones mesófilas y aeróbicas mantenidas por la acción de las lombrices. Por ello en los procesos de vermicompostaje únicamente hay que mantener una adecuada humedad del material orgánico (mediante riego manual o por aspersión) y se evitan otros manejos como la aireación que encarece procesos como el del compostaje (Moreno et al, 2007).

Infraestructura. La cantidad inicial (pie de cría) y la velocidad de transformación de la pulpa de pende de la cantidad de lombrices. Cuando se desea un proceso rápido, la densidad de lombrices debe ser alta: a rededor de 5 kg de lombriz pura por metro cuadrado, que corresponde aproximadamente entre 20 y 25 kg de lombriz mezclada con sustrato. Debido a que la lombriz roja es un animal muy prolífico, no es conveniente empezar el lombricultivo con la cantidad total de lombriz necesaria.

- Lombrireactor

Espacio en el cual se realiza el ciclo biológico de la lombriz. Se utilizó ladrillo en su fabricación; se construyó de 1 m de ancho y la Longitud según la disponibilidad del terreno; en general se acostumbra módulos de 2 a 3 metros de largo. La altura de la cama más usual es de 40 cm. El espacio entre camas puede ser de 50 50 cm. Algunos lombricultores emplean cajas en madera o canastillas plásticas.

- Pisos

En el interior de las camas, se recomienda piso de cemento, algún material que permita aislar el cultivo del suelo para evitar el ataque de posibles plagas (planarias, sanguijuelas, hormigas). El piso construido con una pendiente entre 2 y 5 % evita la inundación de la cama cuando se utiliza riego.

- Techos

El techo es recomendable porque aísla el cultivo de la lluvia directa, proporciona sombra y mejores condiciones para el trabajo de la lombriz. Además, se facilita la manipulación de los materiales. La altura puede ser de unos 2,50 a 3 m.

- Siembra

Sistema de siembra

El lombricultivo se inicia depositando el pie de cría en las camas, asegurándose que esta capa inicial sea aproximadamente de 10 a 15 cm. Si es necesario, para completar esta altura se puede depositar en el fondo de la cama, el sustrato y luego colocar encima el pie de cría. Así se asegura que la lombriz roja disponga de un medio para refugiarse si las condiciones del alimento no son adecuadas.

Para conocer la cantidad de lombriz pura inicial depositada, es conveniente hacer un muestreo así: se pesa todo el sustrato con lombriz, se toman tres muestras de un kilogramo de cada cama, se colocan a la luz sobre un plástico hasta observar que las lombrices se concentran en el fondo; luego se pesan las lombrices de cada muestra y se calcula un promedio por kilogramo. Como se conoce el peso total del sustrato, se multiplica por este valor para conocer el peso inicial de lombriz pura. Después de realizada la siembra se le continúa alimentando periódicamente.

3.4.4.7.3 Manejo del Lombricultivo

- Alimentación

Se utilizan capas delgadas de alimento (máximo 4 cm), para evitar el calentamiento de éste cuando se usa muy fresco, para facilitar la aireación del cultivo, asegurar la transformación del material y mantener las lombrices alimentándose en la parte superior. Se ha observado que es posible estimular la reproducción, utilizando el

cambio de alimentación con otros residuos que se tengan en la finca, como estiércol de diferentes especies animales (vacuno, porcino, equino, conejos) o residuos de otros cultivos.

- Frecuencia y cantidad

Se puede alimentar una o dos veces por semana, dependiendo la densidad de lombrices y el tipo de alimento. La cantidad de alimento está relacionada directamente con el consumo por parte de la Lombriz. Se han observado consumos equivalentes a la mitad del peso lombrices por día. Es recomendable llevar registros de la alimentación y del funcionamiento general del Lombricultivo.

- Riego

El alimento se prepara antes de llevarlo a las camas de lombrices, remojándolo si es necesario hasta que, estando totalmente humedecido, no drene. Esto corresponde aproximadamente a un rango de 50 a 85% de humedad. También se deben remojar las camas para conservar esta humedad. Este riego puede hacerse con agua limpia y dependiendo de las condiciones ambientales y del espesor de la capa de sustrato con lombrices.

- Recolección del Humus

La separación de la lombriz y la cosecha del Lombricompost (Humus) se pueden hacer dos o tres veces al año, dependiendo de la velocidad de descomposición del sustrato. Cuando el sustrato llega a la altura máxima de la cama, se suspende la alimentación y el riego por una semana, para obligar a las lombrices a consumir todo el material que no se ha transformado. A la semana siguiente, se extiende una malla plástica sobre la cama y se alimenta de nuevo; una semana después se retira la malla con la capa superior donde ha subido la lombriz.

Dependiendo de la cantidad de lombrices, puede ser necesario repetir esta operación hasta tres veces. Las lombrices separadas se utilizan para ampliar el cultivo, como pie de cría para nuevos lombricultivos o como fuente de proteína para alimentación animal. Al terminar la separación de las lombrices, se procede a retirar el lombricomposto de la parte inferior de la cama. El Humus se puede utilizar con la humedad que se obtiene (alrededor del 80%) o rebajarle la humedad hasta máximo el 50%, con la cual usualmente se comercializa. Para esto se pueden utilizar secadores solares, como el de tipo parabólico usado para secar café, construido en guadua y plástico.

Condiciones óptimas para el crecimiento de la lombriz

- Ausencia de luz

Las lombrices viven debajo de la superficie del suelo, no toleran bien la luz, por lo que aparte deben estar en un recipiente tapado.

- Temperatura

El rango óptimo de temperaturas para el crecimiento de las lombrices oscila entre 12-25° C; La temperatura óptima debe oscilar entre los 20°C, y la formación de cocones entre 12 y 15° C. Así cuando la temperatura es inferior a 7°C, las lombrices no se reproducen, pero siguen produciendo abono, aunque en menor cantidad. Durante el verano si la temperatura es muy elevada, se recurrirá a riegos más frecuentes, manteniendo los lechos libres de malas hierbas, procurando que las lombrices no emigren buscando ambientes más frescos.

- Humedad

Será del 70% para facilitar la ingestión de alimento y el deslizamiento a través del material. Si la humedad no es adecuada puede dar lugar a la muerte de la lombriz. Las lombrices toman el alimento chupándolo, por tanto la falta de humedad les imposibilita

dicha operación. El exceso de humedad origina empapamiento y una oxigenación deficiente.

- pH

El pH óptimo para el crecimiento de la lombriz es 7 no soportan valores inferiores a 4.5, la acidez les resulta desagradable, aunque algo leve pueden tolerarla.

- Alimentación

Las lombrices comen casi cualquier sustancia orgánica putrefacta, los azúcares, las sales y la celulosa. Cuanto más fino sea el granulado de la comida, menor dificultad tendrá para ingerirla y por tanto mayor será la producción de humus (Dominguez et al., 2000)

Los desechos de origen animal (estiércoles) individuales o mezclados con otros y con desechos vegetales son el alimento más apetecido por las lombrices en general, por lo que el manejo de aquéllos resulta bastante eficiente con lombrices

- Sustratos de origen vegetal.

Entre los desechos de origen vegetal están las hojas, pastos, flores, tallos, pajas, frutas, verduras y restos de plantas generados en procesos agroindustriales. Todos estos materiales pueden ser utilizados en la alimentación animal siempre y cuando realice un proceso de precompostaje, que es necesario previo a ser facilitado a las lombrices. Uno de los problemas más importantes a considerar en su manejo es la alta humedad de éstos, así como su contenido de azúcares, que hace que fácilmente fermenten y se conviertan en un problema. Además cuando se manejan adecuadamente se convierten en un excelente alimento para las lombrices, produciendo un magnífico humus (Vilches 2000).

- Sustratos de origen animal.

Estiércol de bovino:

Este estiércol presenta una condición de manejo fácil, El estiércol de vaca es de muy buena calidad, tanto para formar el sustrato inicial como para utilizarlo de alimento durante la fase de producción. (Fuentes, 1987).

Debido a su menor compactación y su acidificación, tiende a ser más atractivo para los insectos, algunos de los cuales se pueden convertir en plagas. Tiene la ventaja de que contiene enzimas que ayudan a facilitar la acción bacteriana al pasar por el tracto digestivo de la lombriz. Se requiere un periodo previo de maduración antes a su uso como alimento, este periodo puede oscilar entre 8 a 15 días, dependiendo de las condiciones de temperatura.

El estiércol de ternero es de peor calidad que el de vaca, sobre todo el procedente de explotaciones que utilizan pienso con un alto contenido de proteínas, que pasan, en parte, a los excrementos. Se puede reducir su contenido proteico añadiendo celulosa en forma de paja o papel triturado. El período de maduración varía, según su contenido de proteínas. En este estiércol es imprescindible hacer las pruebas de acidez. (Fuentes, 1987)

Las experiencias demuestran que éste puede ser manejado solo o en mezcla con otros materiales como forrajes de desecho, restos de vegetales, aserrín sin ningún problema, desde luego considerando las medidas oportunas en manejo previo a ser utilizado en la alimentación (Daniel, 1995).

Estiércol de ovino:

Es de buena calidad. Por lo general, este estiércol procede de los alojamientos del ganado en donde se van acumulando las deyecciones y la paja aportada durante bastante tiempo, ya que normalmente el estiércol se saca del alojamiento una vez al año. Es un producto muy apelmazado, debido al pisoteo de los animales, por lo que

se aconseja, una vez llevado a la explotación de las lombrices, regarlo con bastante agua durante varios días seguidos. El período de maduración es de 30 días. (Fuentes, 1987)

Estiércol porcino:

En las explotaciones intensivas de porcino se utiliza un pienso muy rico en proteínas, lo que da lugar a un estiércol con un alto contenido proteico. Por consiguiente, es desaconsejable el estiércol fluido procedente de explotaciones en donde no se ha hecho ningún tratamiento del mismo: en cambio, es de muy buena calidad la parte sólida procedente del estiércol fluido en donde se separan los sólidos de los líquidos, procedimiento que se hace actualmente en las explotaciones mejor montadas. Aun así, esta parte sólida requiere unos diez meses de envejecimiento para reducir la dosis de proteínas. (Fuentes, 1987).

Por lo tanto no es muy aconsejable pues hay que esperar que se descomponga lo suficiente para poderlo suministrar a las lombrices. (Daniel, 1995).

Estiércol de gallina:

Cama de pollo, da un residuo con fósforo complicado de procesar.

Estiércol de caballos:

Son los mejores para procesar, constituye un alimento óptimo, constituyendo un sustrato donde las lombrices pueden vivir. (Daniel, 1995).

Estiércol de conejo:

Este estiércol es de buena calidad. El estiércol recogido debajo de las jaulas, en donde se mezclan las deyecciones sólidas y líquidas, necesita algún tiempo de maduración.

Si por cualquier procedimiento se separan los sólidos de los líquidos, la parte sólida puede utilizarse directamente sin previa maduración. (Fuentes, 1987).

- Residuos de origen animal

Residuos de mataderos:

Carne, vísceras, plumas, contenidos ruminales como la panza ovina que debido al rumen produce mucho olor a metano pero es rica en nutriente pre digerido. Harinas de sangre: hueso, pescado, sueros de la industria láctea, etc. (Daniel, 1995).

Residuos de equipo.

Es de muy buena calidad por la cantidad de paja que se emplea para la cama del ganado. Necesita un período de maduración de cinco a seis meses. (Fuentes, 1987)

Preparación de alimento para la lombriz

El alimento se humedece el (60%) se mezcla, para tener homogenización en el alimento posteriormente se voltea, monitorear temperatura y humedad para observar las fases: mesofila, termófila y mesofila.

Durante el proceso una fracción de la materia orgánica contenida en los subproductos se mineraliza, por lo que los valores de carbono orgánico total disminuyen apreciablemente. El grado de disminución es variable (entre un 10 y un 55%) dependiendo fundamentalmente de la naturaleza del residuo orgánico, su biodegradabilidad, densidad de población de lombrices y duración del proceso. Comparativamente las hemicelulosas y celulosas se degradan más fácilmente que las ligninas, cuyo contenido se mantiene o aumenta durante el vermicompostaje (Moreno *et al.*, 2007).

Capacidad de conversión de estiércol en abono

1 lombriz adulta produce 0,6 gramos de abono por día en consecuencia:

100 lombrices producen 60 gramos de abono por día.

10000 lombrices producen 6000 gramos, es decir 6kilogramos por día, equivalente a 2190 kilogramos de abono por año.

3.4.5 Usos de la lombricomposta

Cuando se retira el humus de los lechos tiene una humedad de un 80%; para cribarlo y seleccionarlo, esta humedad se tiene que reducir a un 50 ó 60%. El humus de lombriz es un abono muy eficaz, pues, además de poseer todos los elementos nutritivos esenciales, contiene una flora bacteriana riquísima, que permite la recuperación de sustancias nutritivas retenidas en el terreno, la transformación de otras materias orgánicas y la eliminación de muchos elementos contaminantes. El alto contenido de ácidos húmicos aporta una amplia gama de sustancias fitorreguladoras del crecimiento de las plantas (Edwards, 2000).

La lombricomposta, el material final debe mantenerse necesariamente entre 50 y 60% de humedad; además tiene algunas sustancias llamadas fitohormonas, las cuales estimulan el crecimiento vegetal. Es una de las nuevas técnicas de la agricultura orgánica, en la que por medio del manejo de procesos naturales en el suelo, permiten favorecer su dinámica y como consecuencia, obtener un impacto benéfico en lo agrícola, social y económico (Morales et al., 1973). Este tipo de abono orgánico se caracteriza por mejorar las propiedades físicas del suelo, ya que es un material altamente descompuesto y estable por aportar hormonas, una alta población microbiana benéfica que ayudan al crecimiento vegetal (Togún-Akanbi, 2003).

La utilización de la lombricomposta como una alternativa de fertilización orgánica podría ayudar a reducir problemas asociados con el uso de fertilizantes inorgánicos tradicionales, tales como las pérdidas excesivas de nutrientes por lavado, además del estrés a las plantas inducido por la salinidad del suelo. Además, el lombricomposta puede mejorar la porosidad del suelo en aquellos de textura gruesa, y por consiguiente suministrar un mejor medio de crecimiento para las raíces (Chaoui et al., 2003). El humus de lombriz es neutro, por lo cual crea un medio desfavorable para la proliferación de ciertos parásitos. Es uno de los mejores abonos orgánicos, porque posee un alto contenido en nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio, elementos esenciales para el desarrollo de las plantas. Ofrece a las plantas una alimentación equilibrada con los elementos básicos utilizables y asimilables por sus raíces. (Fuentes, 1987)

En comparación a los otros abonos orgánicos tiene las siguientes ventajas:

Es muy concentrado (1 tonelada de humus de lombriz equivale a 10 toneladas de estiércol); no se pierde el nitrógeno por la descomposición, el fósforo es asimilable; en los estiércoles, tiene un alto contenido de microorganismos y enzimas que ayudan en la desintegración de la materia orgánica (la carga bacteriana es un billón por gramo); alto contenido de auxinas y hormonas vegetales que influyen de manera positiva en el crecimiento de las plantas, tiene un pH estable entre 7 y 7.5.

La materia prima puede ser cualquier tipo de residuo o desecho orgánico, también se utiliza la parte orgánica de la basura.



Figura 19. Humus de lombriz roja californiana

Fuente: <https://www.escarola.com>

IV. JUSTIFICACIÓN

Debido a los costos elevados de alimento concentrado, es necesario promover la utilización de fuentes alimenticias que sean económicas y de alto valor nutritivo que ayuden a maximizar la producción animal.

En este sentido la utilización de la *L. leucocephala* contribuye a la nutrición al incrementar la calidad y cantidad del forraje ingerido además de aportar importantes cantidades de nitrógeno al suelo para promover el crecimiento de las gramíneas en asociación. La *L. leucocephala* presenta mayor tolerancia a las sequías y tolera mejor el mal manejo y una gran capacidad de rebrotar en tiempos muy cortos. El mérito de la *L. leucocephala* como suplemento en la alimentación de rumiantes se atribuye al aporte de nitrógeno soluble para los microorganismos del rumen y de proteína no degradable.

Además, las arbóreas forrajeras contribuyen con fibra que es fácilmente degradable en el rumen. La fibra, el nitrógeno no proteico y una cantidad variable de la proteína verdadera, consumidos en el forraje arbóreo, son fermentados y utilizados como nutrimentos por la flora ruminal. (Pedraza, 1991).

La incorporación de leñosas perennes (árboles y arbustos) en los sistemas ganaderos tradicionales, permite incrementar la fertilidad del suelo, mejorar su estructura y disminuir los procesos de erosión, permite que una fracción representativa de los nutrientes que son extraídos de la solución edáfica sea retornada a ella mediante la deposición, en la superficie del suelo. Esta mayor deposición de materia orgánica, contribuye a modificar las características físicas del suelo como su estructura. (Sadeghian *et al.*, 1998).

Los sistemas de producción agropecuaria tienen la necesidad urgente de incorporar especies que permitan mejorar la productividad y calidad de forraje ofrecido a los animales. Generalmente los sistemas basados en pasturas presentan varias

limitantes, entre las más importantes destacan la baja calidad así como la disponibilidad irregular del forraje, lo que limita el correcto funcionamiento ruminal principalmente en animales en pastoreo (Zuluaga *et al.*, 2011).

Considerando esta situación se han integrado diferentes técnicas de siembra en las que se han obtenido resultados positivos implementando técnicas que apoyan al mejoramiento del suelo para mejorar la nutrición de plantas para el consumo de los animales, una de las técnicas utilizadas es la lombricultura, debido a la función que desempeñan las lombrices en la transformación de los residuos orgánicos contaminantes en lombricomposta (López *et al.*, 2013).

El uso de la lombricomposta en suelos cultivados permite devolver la materia orgánica y de nutrientes que son extraídos por el crecimiento de las plantas. Además de ser una fuente de nutrientes, la lombricomposta, proporciona al suelo las características físicas, químicas y microbiológicas benéficas para el cultivo de plantas (Rotondo *et al.*, 2009).

La *L. leucocephala* forrajera, es una especie que requiere de suelos ricos en nutrientes y con pH tendiendo a la neutralidad. En el Rancho Universitario los suelos son ácidos y bajos en materia orgánica, por lo que la introducción de *Leucaena* no podría ser posible sin el uso de lombricomposta considerado según la norma NMX-FF-109-SCFI-2007 como un mejorador de suelo con alto valor de pH.

Ayudando como mejorador de la materia orgánica la lombricultura que es la aplicación en forma organizada de la biotecnología para el reciclaje de residuos orgánicos biodegradables provenientes de distintas actividades industriales, en su gran mayoría agroindustrias. Se trata del pasaje de materia orgánica, con determinado grado de descomposición, por el tracto digestivo de las lombrices (*Eisenia foetida*) dando como resultado una enmienda orgánica denominada lombricomposta obteniendo un producto uniforme y estable.

Se requiere del compostaje de las materias primas por medio de un proceso aeróbico manteniendo un perfil de temperatura, humedad y aireación adecuados a cada etapa del proceso hasta llegar a su maduración.

El producto final obtenido se lo denomina lombricomposta teniendo como principales características gran contenido de microorganismos benéficos para las plantas y un aporte importante de materia orgánica estabilizada, sales minerales y pH neutro con gran poder de efecto buffer (Castillo, 1991).

Estos han dado como resultado un mayor reciclaje de nutrientes que ocurre, la fijación de N, la profundización de las raíces de los árboles, la mayor actividad de la macro y micro fauna y el control de la erosión. (Sadeghian *et al.*, 1998).

V. HIPÓTESIS

La aplicación de lombricomposta tiene un efecto positivo sobre el desarrollo vegetativo aéreo y radicular de *Leucaena leucocephala* var. Cunningham bajo un sistema silvopastoril.

VI. OBJETIVOS

6.1 Objetivo general

Evaluar el efecto de la lombricomposta en el desarrollo morfológico de *Leucaena leucocephala* var. Cunningham en un sistema silvopastoril.

6.2 Objetivos específicos

Evaluar el efecto de la lombricomposta en el desarrollo vegetativo aéreo de *L. leucocephala* var. Cunningham, respecto a:

- Longitud de la planta (cm).
- Numero de rebrotes.
- Cobertura aérea
- Producción de biomasa (kg/planta)
- Composición química: materia seca, cenizas, proteína cruda, FDN, FDA, LAD.

Evaluar el efecto de la lombricomposta en el desarrollo vegetativo radicular de *L. leucocephala* var. Cunningham respecto a:

- Longitud de la raíz (cm)

Composición física (color, textura, densidad real, densidad aparente, capacidad de campo) y química del suelo (materia orgánica, pH, N, P, K) en el SSP antes y después 8 meses de establecimiento.

VII. MATERIALES Y MÉTODOS

7.1 Ubicación del área de estudio

El estudio se realizó en el Rancho del Centro Universitario UAEM-Temascaltepec, Estado de México, localizado en el municipio de San Simón de Guerrero, en la región subtropical en el Sureste del Estado, a $100^{\circ}6'27''$ de longitud y $19^{\circ}2'8''$ de latitud, a 1800 msnm, la temperatura media anual es de 17°C y la temperatura máxima durante la estación de lluvias de 30°C , con una precipitación anual de 1200 mm, concentrada en el verano con clima sub-húmedo tropical.

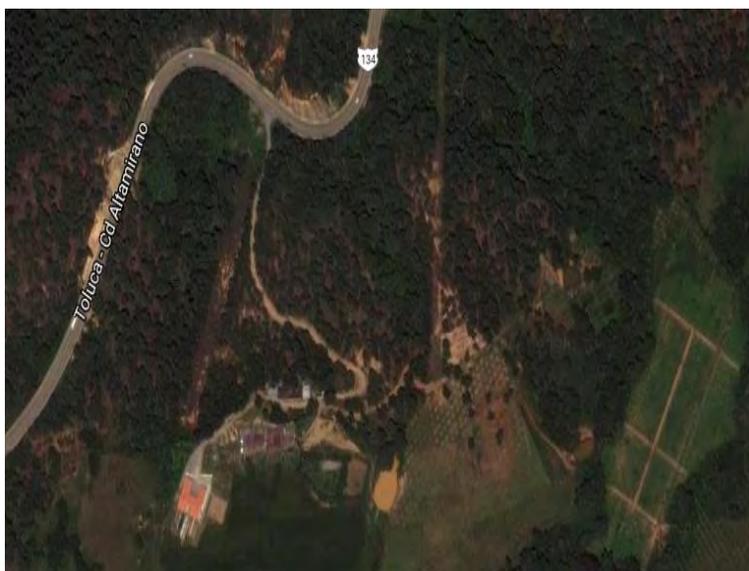


Figura 20: Ubicación del área de estudio

Fuente: <https://www.google.com.mx/maps>

7.2 Materiales

7.2.1 Campo

- Block
- Cemento
- Heces
- Termómetro
- Medidor de acides de suelo
- Inoculante comercial
- Plástico
- Desmalezadora
- Cinta métrica
- Bolsas plásticas
- Charola de germinación
- Inoculador (MICORROT)
- Pala
- Pico
- Azadón
- Cava hoyos
- Carretilla
- Bomba
- Regla graduada
- Manguera

7.3 Metodología para la elaboración de lombricomposta

- Lombrireactores: Se construyó un lombrireactor con materiales solidos (tabicón y cemento), cuyas dimensiones serán de 0.50 m x 0.50 m x 0.40 m.
- Sustrato: se colecto heces frescas: caprino y bovino de los corrales del rancho, para ser sometidos a un proceso de composteo durante 45 días. Las heces colectadas serán depositadas en el área de composteo se llevo a cabo un monitoreo de la temperatura, utilizando un termómetro para composta marca TFA con un rango de -10°C hasta 90°C, además del pH y la humedad con un medidor de acidez de suelo y humedad marca Kelway.
- Manejo del lombrireactor: se regará una vez por semana (a capacidad de campo) y se monitoreara en el interior del lombrireactor la temperatura, utilizando un termómetro para composta marca TFA con un rango de -10°C hasta 90°C, además del pH y la humedad con un medidor de acidez de suelo y humedad marca Kelway (Andrew y Hutton, 1974). Se cubrirá cada uno con plástico negro para reducir la perdida de agua (López et al., 2013).

7.4 Experimento 1: Establecimiento de *L. leucocephala* en el SSP:

- El SSP se estableció en una pradera de gramíneas sembrada en el 2013 por *Brachiarias: mulato II, Insurgente, Panicum, Tanzania y Mombaza*. En la pradera
- Se marcaron callejones de (25 m X 4 m) donde se trasplantó a mano *L. leucocephala* con una distancia de 2.5 m entre callejones con distancia entre planta y planta de 15 cm.
- Material vegetativo: se utilizó semilla de *L. leucocephala var. Cunningham*, la cual se germinó en bolsas plásticas de 11cm X 17cm. Y charolas de

germinación para su posterior plantación 20 días después de la emergencia (Anguiano et al., 2012).

- Escarificación de semilla: se efectuó sometiendo a la semilla por 5 minutos a agua a punto de ebullición temperatura de 80 °C, (Anguiano et al., 2012).
- Inoculación: se inocularán con rizobacterias (inoculante comercial MICORROT®)
- Plantación: se introdujeron plantas de *L. leucocephala* var. *Cunningham* en callejones (Anguiano et al., 2012).
- Manejo del cultivo: el abonado orgánico (Pentón, 2007) se efectuó con aplicaciones cada semana de lombricomposta (bovino, caprino y ovino) mezclado con tierra de monte a distintas dosis: 50% tierra de monte + 50% vermicompost (bovino, caprino y ovino)
- Riego: se llevó a cabo el riego en un periodo de seis meses regando cada tercer día en las condiciones de ubicación del terreno, esta práctica se realizará con una bomba la cual nos ayudó a transportar el agua de un bordo cercano al establecimiento del SSP, posteriormente se almacenó en un tinaco de 750 litros. El agua para el riego se llevó a través de una manguera, regando por gravedad las plantas de *L. leucocephala*.

7.4.1 Mediciones a las plantas de *L. leucocephala*

7.4.1.1 Desarrollo aéreo

Se medirá Longitud de la planta (cm). Número de rebrotes. Cobertura aérea (cm).
Número de nódulo. Tamaño de nódulos (cm). Longitud de la raíz (cm)

El trabajo se desarrollará en 1 parcela de 20 m. x 4 m., separadas por franjas de 1.2 m., con un total de 9 parcelas, en las que se cuenta con 800 plantas de *L. leucocephala*.

Las muestras se tomarán de surcos, de cada surco se seleccionaron al azar 3 plantas al azar, cada planta se marcó con una estaca de madera a partir de la primera medición, las cuales fueron semanalmente, muestreando en total 24 plantas (cada planta representó una unidad experimental).

Cada surco se agrupo en parcelas para obtener un promedio de cada agrupación, al final se agruparon las parcelas por tratamiento para obtener resultados de los beneficios en los cuales se comparó el desarrollo de la planta fertilizada con lombricomposta y sin lombricomposta.

7.4.1.2 Longitud de la planta

En cada planta seleccionada, se midió la longitud, utilizando una regla graduada en mm, midiendo a partir de la base del tallo en un periodo de 10 meses cada evaluación llevada a cabo semanalmente.

7.4.1.3 Número de rebrotes.

En cada planta seleccionada, se contó el número de brotes, durante 10 meses.

7.4.1.4 Cobertura aérea.

En cada planta seleccionada, se midió la cobertura aérea, utilizando una regla graduada en mm, en un periodo de 10 meses cada evaluación llevada a cabo semanalmente.

7.4.2 Diseño experimental y análisis de datos.

Se utilizó un diseño completamente a azar, con mediciones repetidas a través del tiempo (P1: 60 días, P2: 120 días, P3: 180 días. P4: 240 días).

Modelo estadístico

$$Y_{ij} = \mu + T_i + P + E + (T * P) + E + (T * P)$$

Y_{ij} = Variables de respuesta

μ = Media general

T_i = Efecto del tratamiento (1 y 2)

($T * P$) = Interacción tratamiento y periodo

E = Error aleatorio de la variación entre plantas.

Las comparaciones de medias se realizó la prueba de Tukey ($P < 0.05$). Se utilizara el Modelo General Lineal (MGL) del programa MINITAB.

7.5 Experimento 2:

Evaluación del desarrollo aéreo, radicular y nodulación.

Los tratamientos utilizados en la evaluación se presenten en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Tratamientos utilizados en la evaluación del desarrollo de la raíz y nodulación de *L. leucocephala* var. *Cunningham*.

Tratamientos (Tx)	Sustrato
Tx1	Suelo 100%
Tx2	Lombricomposta 100%
Tx3	Suelo 50% + Lombricomposta 50%

En el tratamiento 1 se utilizaron 30 bolsas de plástico negras perforadas para el escurrimiento del agua las cuales se llenaron con 1 kg de suelo obtenido en el área de estudio.

En el tratamiento 2 se utilizaron 30 bolsas de plástico negras perforadas para el escurrimiento del agua las cuales se llenaron con 1 kg de lombricomposta

En el tratamiento 3 se utilizaron 30 bolsas de plástico negras perforadas para el escurrimiento del agua las cuales serán llenadas con 0.5 kg de suelo y 0.5 kg de lombricomposta.

7.5.1 Mediciones de las plantas de *L. leucocephala*

7.5.1.1 Desarrollo aéreo

En cada planta de todos los tratamientos, se midió la longitud, utilizando una regla plástica graduada en mm, midiendo a partir de la base del tallo cada 15 hasta los 90 días.

7.5.1.2 Desarrollo radicular

En cada tratamiento a cada planta se le retiró todo el sustrato, cuidando de no desprender los nódulos y las raíces. Se midió el desarrollo radicular en un periodo de 3 meses cada mes se evaluaron 10 plantas, la longitud de la raíz a partir del cuello utilizando una regla graduada en cm.

7.5.1.3 Número de nódulos

Se evaluaron 30 plantas en un periodo de 3 meses, cada mes se evaluaron 10 plantas para observar el crecimiento y desarrollo de los nódulos.

7.5.2 Diseño experimental y análisis de datos.

Se utilizó un diseño completamente a azar, los tratamientos fueron los tres tipos de sustratos con 10 repeticiones cada uno. Se realizará un ANOVA y la prueba de Tukey ($P < 0.05$).

7.6 Composición química y producción de biomasa de *L. leucocephala*

7.6.1 Toma de muestras para composición química

Se tomó una muestra de 200g de follaje de *L. leucocephala* var. *Cunningham* en cada tratamiento (con y sin lombricomposta), la muestra se secó a 70 °C en una estufa de aire forzado, se molió en un molino tipo Wille con criba No. 2. Para su posterior análisis químico en el laboratorio de suelos del Centro Universitario UAEM-Temascaltepec

7.6.2 Características químicas:

Materia seca, humedad, cenizas, proteína cruda (por el método micro Kjeldahl), la cantidad de N se multiplicó por un factor (6.25) para determinar la cantidad de proteína cruda, fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA). Lignina detergente ácido (LDA) con el método Van Soest. (AOAC, 2016).

7.6.3 Producción de biomasa (kg/planta)

Se seleccionaron al azar cinco plantas de *L. leucocephala* de 1.10 m de altura, cada planta se defolío totalmente cortando el follaje con tijeras de podar, la biomasa fresca de cada arbusto se pesó y se colocó en bolsas de papel, se trasladaron al laboratorio y se secaron en una estufa de aire forzado a 70°C durante 48 h, hasta obtener peso constante. Se determinó el contenido de materia seca por planta.

7.7 Análisis físico químico del suelo antes y después del establecimiento de *L. leucocephala*.

7.7.1 Toma de muestras:

Al inicio del establecimiento del SSP Se tomaron 5 muestras de suelo al azar, a las cuales se les determino: color, densidad aparente, densidad real, capacidad de campo, pH, textura, materia orgánica, nitrógeno total, nitrógeno disponible, fosforo, potasio, amoniaco y conductividad eléctrica. (Cuadro 10).

Después de un año de establecido el sistema silvopastoril se identificaron al azar tres sitios de muestreo considerando la presencia de *L. leucocephala* y pasto. Para cada sitio se tomaron cinco muestras de suelo de las cuales se obtuvo una muestra de suelo compuesta para su análisis. Las muestras se tomaron a 20 cm de profundidad. Posteriormente se llevaron a laboratorio donde se secaron al aire libre, se molieron y tamizaron con tamiz para su posterior análisis. En el sitio 1, las muestras se tomaron del suelo donde solo se desarrollaban pastos. En el sitio 2, las muestras de suelo fueron tomadas entre el cultivo de pasto y *L. leucocephala*. Y en el sitio 3, las muestras se tomaron de suelo de la base del tallo de las plantas de *L. leucocephala*. (Figura 21)

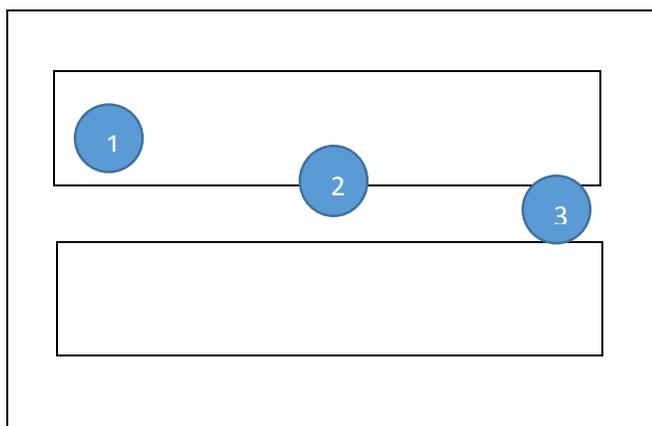


Figura 21. Toma de muestras de *L. leucocephala* por sitios

7.7.2 Análisis de suelo

7.7.2.1 Características físicas

7.7.2.1.1 Color

Procedimiento

1. Se tomó un poco de suelo tamizado seco y colocarlo en un papel blanco comparar con las tablas de colores Munsell.

7.7.2.1.2 Densidad aparente del suelo.

Procedimiento.

1. Se pesó una probeta de 10ml vacía
2. Agregar el suelo hasta los 10ml y golpear ligeramente (diez veces) sobre la franela.
3. Se agregó el suelo que falta hasta los 10ml
4. Se pesó la probeta con el suelo
5. Se restó el peso de la probeta vacía.
6. Cálculos, como lo indica la siguiente formula.

$$Dap = \frac{pbs - ps}{10}$$

Dap (g /ml) = Densidad aparente

Pb+s= Peso de la probeta más sue

Pb= Peso de la probeta

10= ml de probeta

7.7.2.1.3. Densidad real

Procedimiento

Método del picnómetro (A)

1. Se pesó un picnómetro limpio y seco ,anotar el peso (P)
2. Se colocaron 5 gramos de suelo seco dentro del picnómetro
3. Se agrega sobre el picnómetro, agua destilada, hasta la mitad de volumen. Durante el proceso tomar el recipiente solamente del extremo superior del cuello.
4. Aplicar movimiento de rotación suave para desalojar el aire.
5. Se dejó reposar 30 minutos y desplazar las burbujas del aire hasta observar que no haya quedado ninguna
6. Llenar el picnómetro cuidando que quede lleno el capilar del tapón .Secar el papel con un pedazo de lino.
7. Se pesó el picnómetro con suelo y agua (S+A)
8. Lavar el picnómetro, dejando secar en la estufa por dos horas y sacarlo enfriarlo en un desecador con agua destilada recientemente hervida y fria y pesarlo (P+A).
9. Cálculos, como lo indica la siguiente formula.

$$DR = \frac{PS - PA}{5} * 100$$

Donde

DR: Densidad real

PS: Peso del picnómetro más suelo

PA: Peso del picnómetro más agua

7.7.2.1.4 Capacidad de campo

Procedimiento

1. Se tapó en la parte inferior con el papel filtro y la liga
2. Adicionar tierra $\frac{3}{4}$ partes del tubo

3. Saturar con agua y dejar el tubo en reposo aproximadamente 24 hr
4. Extraer la muestra, quitando el tapón y empujándola con el pistón de madera.
5. Dividir transversalmente en tres partes y tomar la parte central para determinar el contenido de humedad por el método gravimétrico
6. Pesar el vidrio reloj solo y posteriormente agregar el contenido de suelo que se corto
7. Meterlo a estufa en 18 hr y pesar la muestra.
8. Cálculos, como lo indica la siguiente formula.

$$\%CC = \frac{Pi - Pf}{Pi} * 100$$

%CC= Porcentaje de capacidad de campo

Pi= Peso inicial

Pf= Peso final

100= Porcentaje

7.7.2.1.5 Textura de suelos

Textura por el método de bauyucos

Desarrollo

Se pesó 50 g de suelo y se adiciona sobre el vaso de agitación adicionándole 5 ml de metasilicato de sodio y 5 ml de oxolato de sodio se le adiciona agua de la llave hasta la segunda rayita de del vaso se agita durante 10 mn y se vierte sobre la probeta.

Bajando la muestra con la piceta aforando la probeta hasta 1000 ml de agua se deja reposar durante 40 segundo y se agita 10 veces de arriba hacia abajo tomando la primera lectura con el hidrómetro y el termómetro, se deja reposar durante 2 hr y se toma la segunda lectura

Corrección de lectura: Por cada centímetro arriba de 20 °C se suman 0.36 del valor la lectura del hidrómetro y por debajo de 20 °C se restan 0.36.

Cálculos, como lo indica la siguiente formula.

$$\frac{\% \text{ de limos} + \% \text{ arcilla} = \text{primera lectura corregida} * 2}{50} * 100$$

$$(\% \text{ de arena} = 100 - (\% \text{ de limos} + \% \text{ arcillas}))$$

$$\% \text{ de arcilla} = \frac{\text{segunda lectura corregida} * 2}{50} * 100$$

$$\% \text{ de limos} = (\% \text{ de limos} + \% \text{ arcillas}) - (\% \text{ arcilla})$$

$$\text{La suma de} = \% \text{ de arena} + \% \text{ de arcilla} + \% \text{ de limos} = 100$$

7.7.2.2 Características químicas

7.7.2.2.1 Determinación de pH

Desarrollo

Se pesó 10 g de suelo, se agregó al vaso de precipitado, adicionando 20 ml de agua destilada agitar 5 – 0 – 5 hasta completar 30 mn, calibrar el potenciómetro e introducir el electrodo y registrar la lectura que haya marcado.

Cuadro 3. Criterios de evaluación de un suelo respecto a su Ph

Categoría	Valor de pH
Fuertemente Acido	< 5.0
Moderadamente Acido	5.1 – 6.5
Neutro	6.6 – 7.3
Medianamente Alcalino	7.4 – 8.5
Fuertemente Alcalino	8.5

7.7.2.2.2 Materia orgánica

Procedimiento:

Se pesó 0.5 g de suelo colocarlo en el matraz seco adicionarle 5 ml de dicromato de potasio, agregándole 10 ml de ácido sulfúrico agitando durante 1mn de bajo de la campana dejar reposar durante 30 mn agregar 100ml de agua destilada agregar 5 ml de ácido fosfórico 5 gotas de difenilamina titular con sulfato ferroso hasta que torne a un color verde botella

Cálculos, como lo indica la siguiente formula.

$$\%C \text{ organico} = \frac{\text{ml gastados en el blanco} - \text{ml gastados en la muestra}}{\text{g de la muestra}} * 0.39$$

$$\%MO = \%C \text{ organico} * 1.724$$

Cuadro 4. Interpretación para la determinación de Materia Organica.

Clase	Materia orgánica %
Muy bajo	< 4.0
Bajo	4.1 –6.0
Medio	6.1 –10.9
Alto	11.0 –16.0
Muy alto	> 16.1

7.7.2.2.3 Nitrógeno total

Cálculos, como lo indica la siguiente formula.

$$\%NT = \frac{MO}{20}$$

NT= Nitrógeno total

MO= Materia Orgánica

7.7.2.2.4 Nitrógeno disponible

Cálculos, como lo indica la siguiente formula.

$$\%ND = \frac{NT}{20}$$

ND= Nitrógeno Disponible

MO= Materia Orgánica

7.7.2.2.5 Fosforo

Procedimiento

1. Pesar 1 g de muestra de suelo tamizada
2. Agregar 7 ml de solución extractora agitando 1 minuto
3. Verter inmediatamente en papel filtro # 5 la muestra
4. Tomar 1 ml de lo filtrado y agregar 6 ml de agua destilada y 2 ml de molibdato de amonio Mezclar bien y agregar 1 ml de cloruro estañoso cuando se valla a leer la muestra

VIII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

8.1. Desarrollo vegetativo aéreo de *L. leucocephala*

Para desarrollo vegetativo aéreo de *L. leucocephala* se evaluaron la longitud de la planta, numero de brotes y la cobertura aérea.

8.1.1. Longitud de la planta (cm)

La *L. leucocephala* que presentó mayor longitud fue la fertilizada con lombricomposta.

Cuadro 5. Presenta la longitud promedio de *L. leucocephala* var. *Cunningham*. En ambos tratamientos, existió diferencias significativas (P=0.0001).

TRATAMIENTO	PERIODO (DIAS)				PROMEDIO
	60	120	180	240	
T1	11.5	21.7	33.4	63.0	32.4 a
T2	10.5	20.3	29.4	49.1	27.3 b
PROMEDIO	11.0 d	21.0 c	31.4 b	56.1 a	

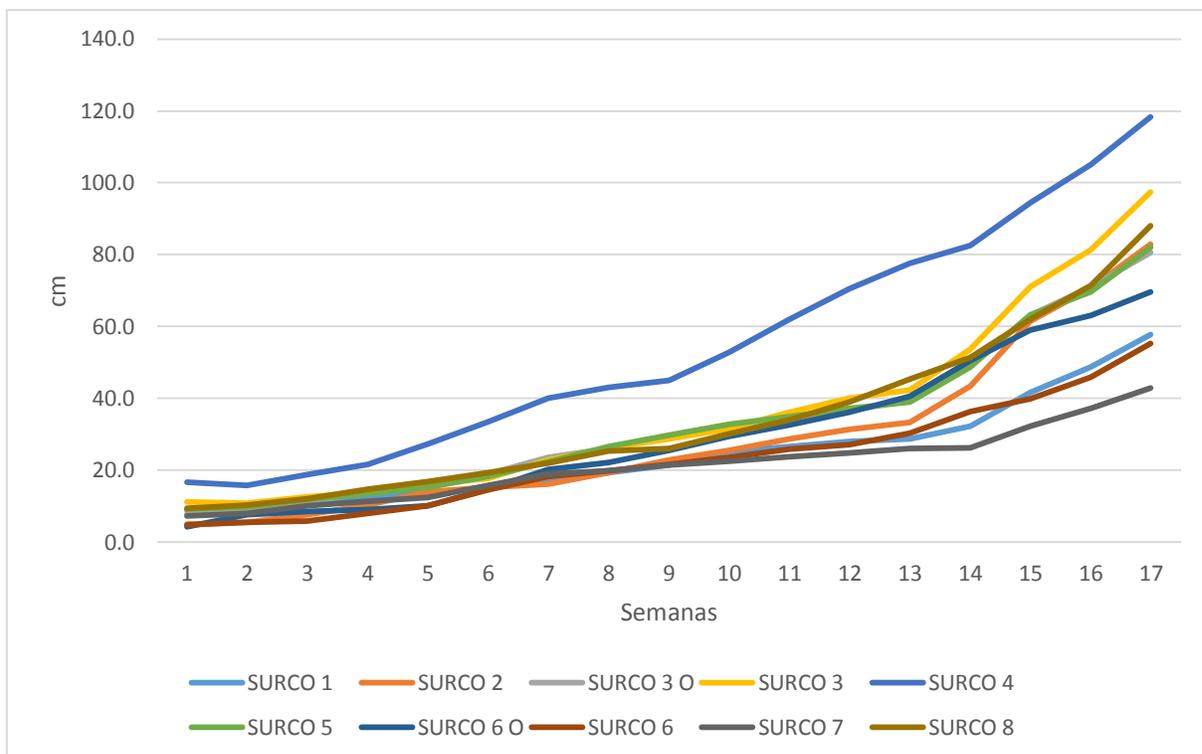
T1: Con lombricomposta, T2: Sin lombricomposta. PROMEDIO: Promedio.

La longitud de la *L. leucocephala* en los distintos periodos de medición presentó diferencias estadísticas (P= 0.0001). Se observó que a través de los días el crecimiento de la *L. leucocephala* fertilizada con lombricomposta incrementó mostrando el mayor crecimiento a los 240 días (P=0.003) lo cual representó 15.7% más respecto a T2 (testigo). El aumento en general del crecimiento se refleja por el aumento en el área foliar de las plantas. Aguirre *et al.*, (2007) reportan que la altura máxima de la *L. leucocephala* alcanzada a los 105 días después de la siembra fue

de 27 cm, resultados similares a lo obtenido en este trabajo, donde se representó 28% más incremento de altura con respecto al testigo. En este trabajo durante el periodo de evaluación de la dinámica del crecimiento de *L. leucocephala* se observó variaciones en la longitud, presentando en la etapa inicial menor crecimiento. Calabria (2008) reporta que el área foliar de la *L. leucocephala* en la etapa de crecimiento disminuye debido a la sombra producida por el crecimiento de las hojas inferiores el cual afecta crecimiento foliar y en consecuencia su altura. Las Gráficas 1, muestra el comportamiento de la *L. leucocephala* de dos surcos 3 O y 6 O donde se observó el efecto de la sombra ocasionada por el desarrollo o mayor altura de los pastos, presentando menor altura y menor número de brotes (Uribe 2001). La longitud de al *L. leucocephala* entre los tratamientos a los 60 y 120 días fue similar. Sin embargo, a los 180 días se observó mayor crecimiento en el T1 de 11.9% en relación al T2. El mayor incremento T1 se presentó a los 240 días mostrando mayor crecimiento 22% en relación a T2. (Figura 21)

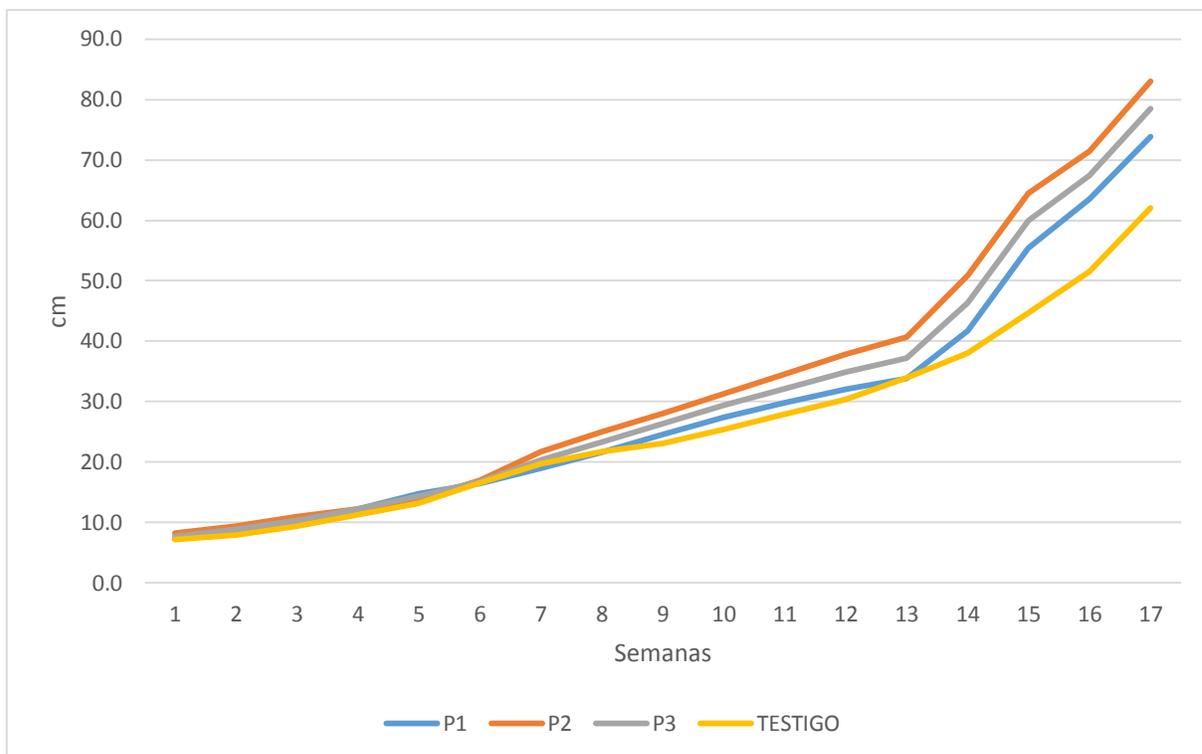


Figura 22. Longitud de la *L. leucocephala*



Grafica 1. Comportamiento de la altura de plantas de *L. leucocephala* var. *Cunningham*.

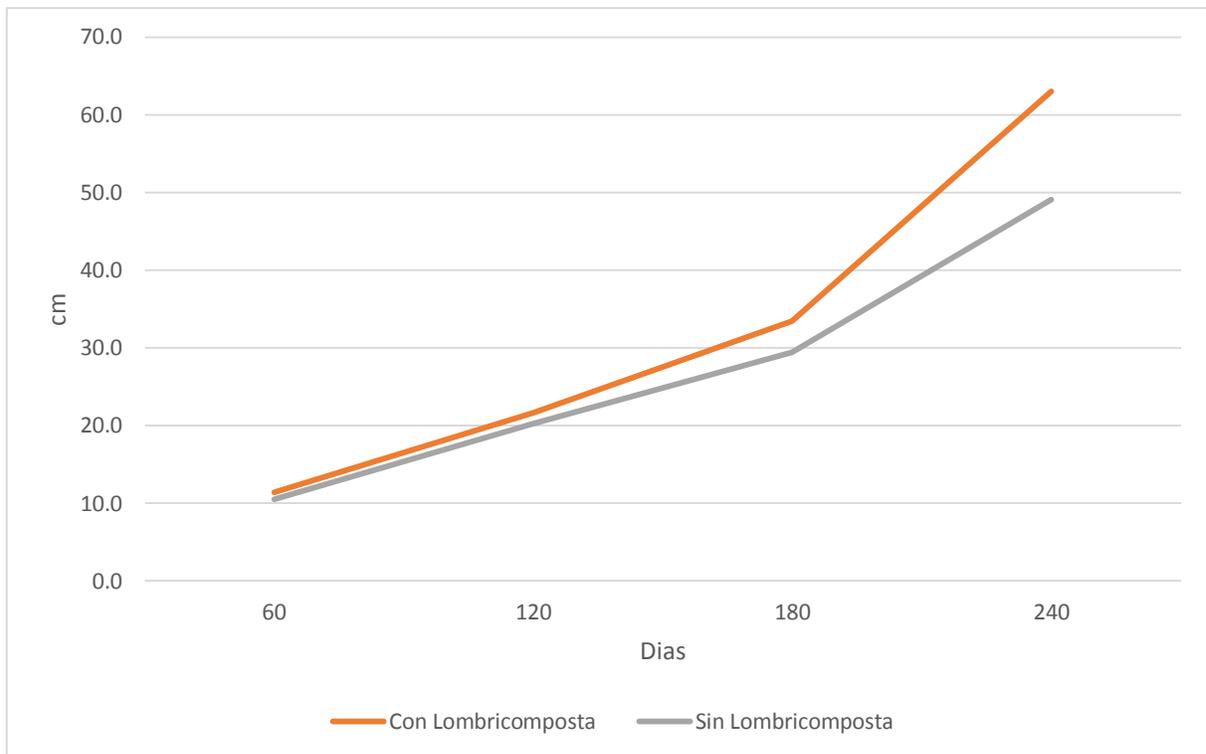
La grafica 1 muestra las plantas fertilizadas con lombricomposta y sin lombricomposta representadas en surcos, en el que se muestra el crecimiento de *L. leucocephala* en sus diferentes muestreos. Los surcos marcados con "O" indican se desarrollaron bajo sombra de árboles.



P1: Parcela 1 con lombricomposta, P2: Parcela 2 con lombricomposta, P3: Parcela 3 con lombricomposta, Testigo: Sin lombricomposta

Grafica 2. Comportamiento de la altura de plantas de *L. leucocephala* var. *Cunningham* fertilizadas con lombricomposta y sin lombricomposta agrupando los surcos en tres parcelas.

La Grafica 2 presenta el comportamiento de la altura de plantas de *L. leucocephala* var. *Cunningham* fertilizadas con lombricomposta y sin lombricomposta, agrupando en tres parcelas (P). El crecimiento en las primeras semanas de evaluación presentó desarrollo similar entre parcelas y entre tratamientos. La P2 a partir de la semana 7 hasta la semana 17 presentó mayor crecimiento. Las parcelas P1, P3 y Testigo muestran un incremento similar en la altura en la semana 8 hasta las 17 semanas. La *L. leucocephala* de la parcela testigo presentó menor desarrollo



Grafica 3. Comportamiento de la altura de plantas de *L. leucocephala* var. *Cunningham* fertilizadas con lombricomposta y sin lombricomposta, agrupando las 3 parcelas (P1, P2, P3).

El promedio del crecimiento de *L. leucocephala* comparando ambos tratamientos (con lombricomposta y sin lombricomposta), en los diferentes días de evaluación, siendo 13.9 cm mayor el tratamiento fertilizado con lombricomposta en comparación del tratamiento sin lombricomposta presento un resultado positivo en la aportación de un mayor número de nutrientes a suelos ácidos donde se estableció el SSP (Milthorpe, 1982).

8.1.2. Numero de rebrotes.

Los tratamientos, presentaron diferencias significativas ($P=0.0001$). La *L. leucocephala* con mayor número de brotes fue la fertilizada con lombricomposta, obteniendo 18.3 % más brotes que la *L. leucocephala* sin lombricomposta.

Cuadro 6. Presenta el número de brotes promedio de *L. leucocephala* var. *Cunningham*.

TRATAMIENTO	PERIODO (DIAS)				PROMEDIO
	60	120	180	240	
T1	6.5	17.7	29.4	54.1	26.9 a
T2	6.2	15.0	24.7	42.3	22.0 b
PROMEDIO	6.3 d	16.3c	27.0 b	48.2 a	

T1: Con lombricomposta, T2: Sin lombricomposta.

En el número de brotes de la *L. leucocephala* en los distintos periodos de medición presentaron diferencias significativas ($P= 0.000$) la *L. leucocephala* en el T1 presentó mayor número de brotes a los 240 días. Así mismo este tratamiento mostró un incremento del 18% en el número de brotes en relación al T2. Morales *et al.* (2009) indica que la cantidad de biomasa acumulada en función del área foliar y el tiempo es una medida de la eficiencia de las hojas para producir nuevo crecimiento vegetal. En este trabajo el número de brotes en los primeros 60 días fue semejante el número de brotes entre T1 y T2. En los 120 días siguientes hubo un incremento del 15.2% del T1 en relación al T2. En los 180 días de evaluación se mantuvo el incremento en 15.9% en T1 en relación al T2. A los 240 días se observó un incremento de 21.8% del T1 en relación al T2.

Charles, (1982) menciona que el área foliar específica representa la relación entre el tamaño de la lámina foliar y su peso y se induce por la adición de nuevas capas

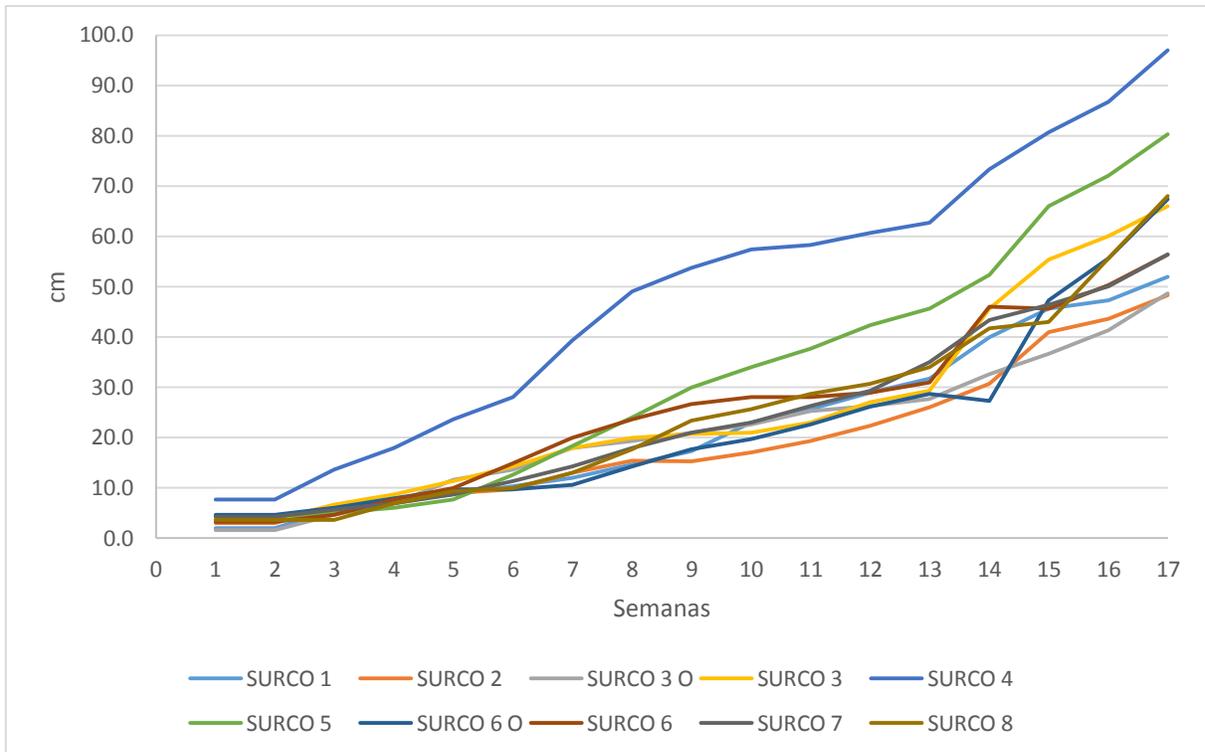
de células al tejido fotosintético con el concomitante incremento de su grosor. En este trabajo la mayor área foliar específica en todos los tratamientos se presentó durante los 240 días (Grafica 6). El efecto anterior puede estar relacionado con el aumento en el tejido fotosintético de nuevas capas de células en la disminución del crecimiento puede estar relacionada con el aumento en el grosor de las hojas viejas y la disminución en la emisión de nuevas hojas. La *L. leucocephala* en las primeras etapas de crecimiento es cuando presenta menor *crecimiento y en consecuencia presenta menor número de brotes* (Milthorpe, 1982)

Aguirre, (2006) Relaciona positivamente el suministro de nutrimentos, minerales y la tasa de fotosíntesis para influir en todo el complejo fotosintético para un incremento en los brotes de la planta.

Bultynck, *et al* (1999). Menciona que el crecimiento de las plantas es por favorecer cambios en la razón del área foliar, y la eficiencia fotosintética en el uso del nitrógeno.



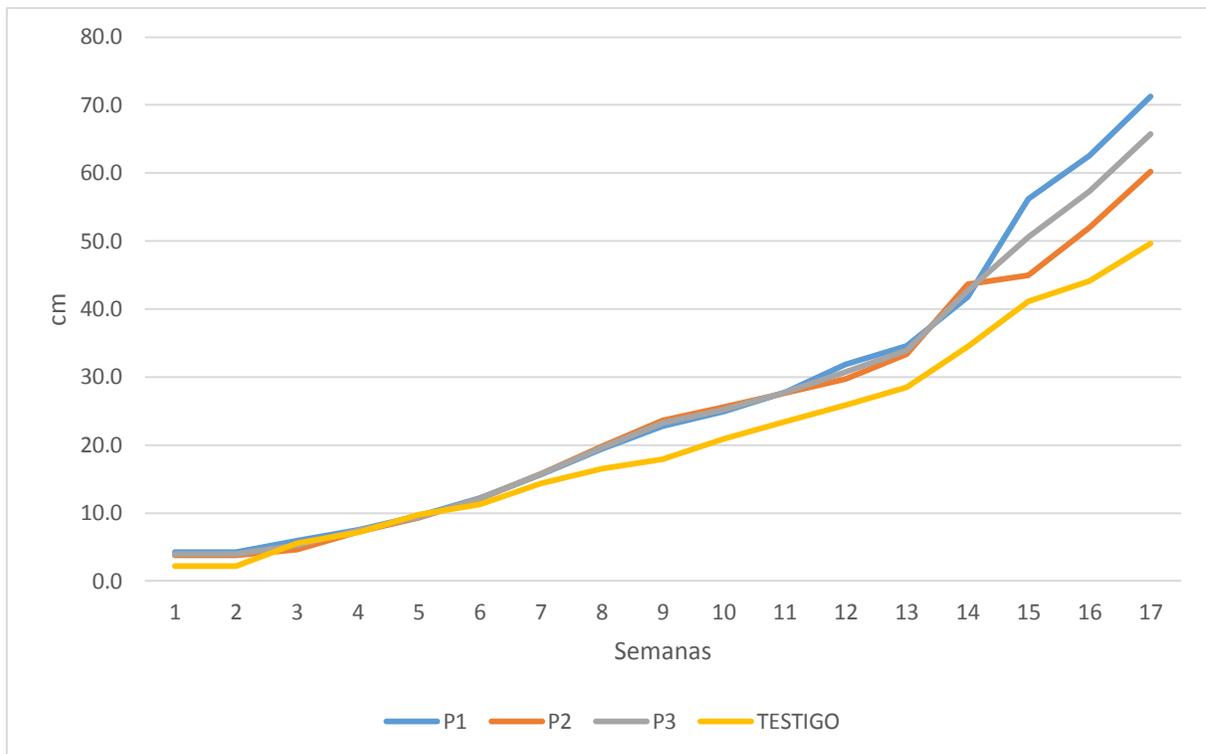
Figura 23. Crecimiento de brotes de *L. leucocephala*.



Grafica 4. Comportamiento del número de brotes de plantas de *L. leucocephala* var. *Cunningham* por surcos.

En la gráfica 4 los surcos marcados con “O” indican que se desarrollaron bajo sombra de árboles.

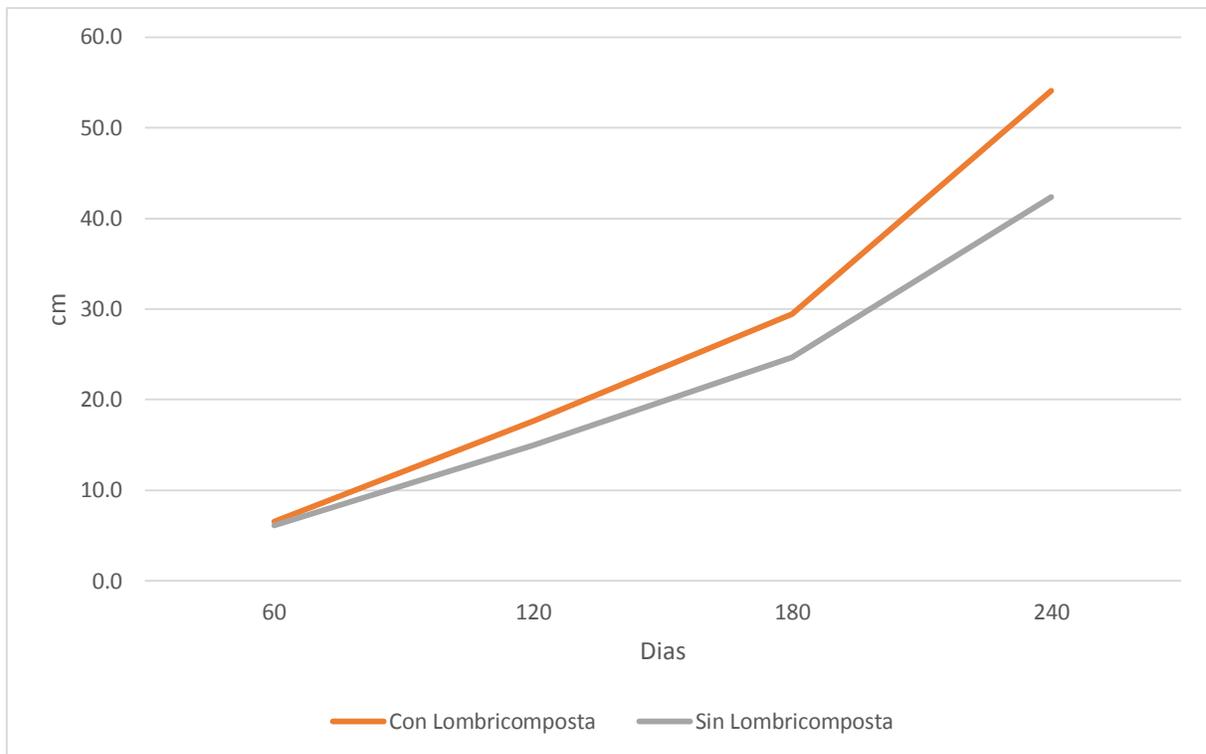
El surco 4 tuvo un mayor crecimiento en comparación a los demás surcos, ya que este surco se estableció 30 días antes. El surco 5 presento mayor desarrollo, mientras que los otros surcos muestran un crecimiento similar.



Grafica 5. Comportamiento del número de brotes de plantas de *L. leucocephala* var. *Cunningham* fertilizadas con lombricomposta y sin lombricomposta.

Se muestra el desarrollo de brotes de *L. leucocephala* en un promedio de los tres surcos. Agrupando los surcos en tres parcelas (P) P1: Con lombricomposta, P2: Con lombricomposta, P3: Con lombricomposta, Testigo: Sin lombricomposta

En la Grafica 5 se muestra desarrollo similar en el surgimiento de nuevos brotes de *L. leucocephala* de la semana 1 a la semana 7 entre las parcelas y el testigo. Teniendo un menor surgimiento de brotes el testigo en la semana 7 en comparación de las parcelas, en las cuales el surgimiento de brotes fue similar de la semana 7 a la semana 14, obteniendo un mayor incremento en el surgimiento de brotes la P1 de la semana 14 a la semana 17 de la evaluación en relación a la P2 y P3 de las cuales la P3 tuvo mayor crecimiento que la P2



Grafica 6. Comportamiento del número de brotes de plantas de *L. leucocephala* var. *Cunningham* fertilizadas con lombricomposta y sin lombricomposta. Agrupando las 3 parcelas (P1, P2, P3) de la gráfica 5.

El crecimiento de *L. leucocephala* comparando ambos tratamientos (con lombricomposta y sin lombricomposta), en los diferentes días de evaluación, fue 21.8% mayor el tratamiento fertilizado con lombricomposta en comparación del tratamiento sin lombricomposta en el que nos arroja un resultado positivo del establecimiento del SSP.

8.1.3 Cobertura aérea

En ambos tratamientos, existió diferencias significativas ($P=0.0001$). La *L. leucocephala* que presentó un mayor número de brotes fue la fertilizada con lombricomposta.

Cuadro 7. Cobertura aérea en promedio de *L. leucocephala* var. *Cunningham*

TRATAMIENTO	PERIODO (DIAS)				PROMEDIO
	60	120	180	240	
T1	7.9	15.4	25.4	49.5	24.5 a
T2	7.2	12.2	20.9	38.4	19.7 b
PROMEDIO	7.5 d	13.8 c	23.1 b	43.9 a	

T1: Con lombricomposta, T2: Sin lombricomposta.

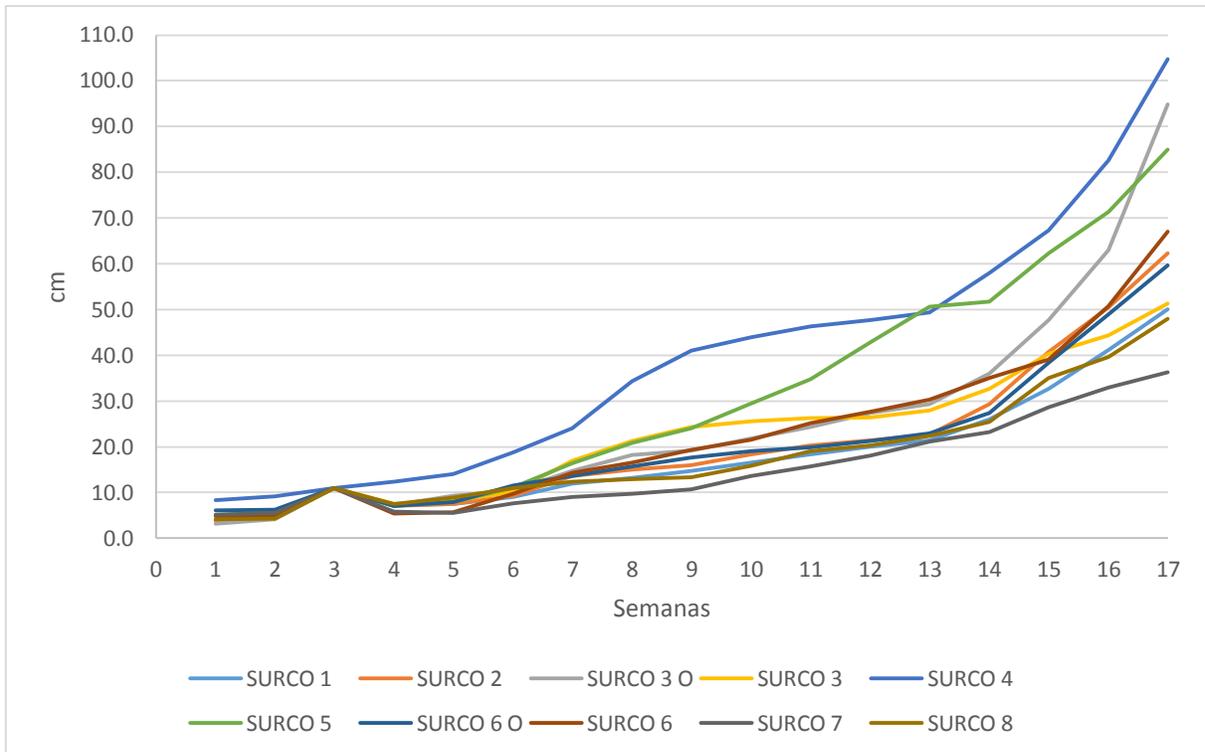
La cobertura aérea de la *Leucaena leucocephala* var. *Cunningham* presentó diferencias estadísticas ($P=0.0001$). Se observó que a través de los días el crecimiento de la cobertura aérea de *L. leucocephala* fertilizada con lombricomposta incrementó mostrando el mayor crecimiento a los 240 días ($P=0.003$) lo cual representó 19.5% más respecto a T2 (testigo). El aumento en general del crecimiento se refleja por el aumento en el área foliar de las plantas. Guevara (2007) reporta que el área foliar se incrementó en todas las plantas fertilizadas con lombricomposta y superaron estadísticamente al testigo ($P \leq 0.05$) durante la evaluación no encontraron diferencia estadística.

Durante la evaluación de la cobertura aérea de *L. leucocephala* de este trabajo en los primeros 60 días el crecimiento fue similar entre el T1 y el T2. A los 120 tuvo un incremento del 20.7% del T1 en relación al T2. En los 180 días de evaluación hubo un incremento del 17.7% del T1 en relación al T2. Cuando se muestra un mayor

número de brotes es a los 240 días de evaluación en el cual hay un incremento de 22.4% del T1 en relación al T2.



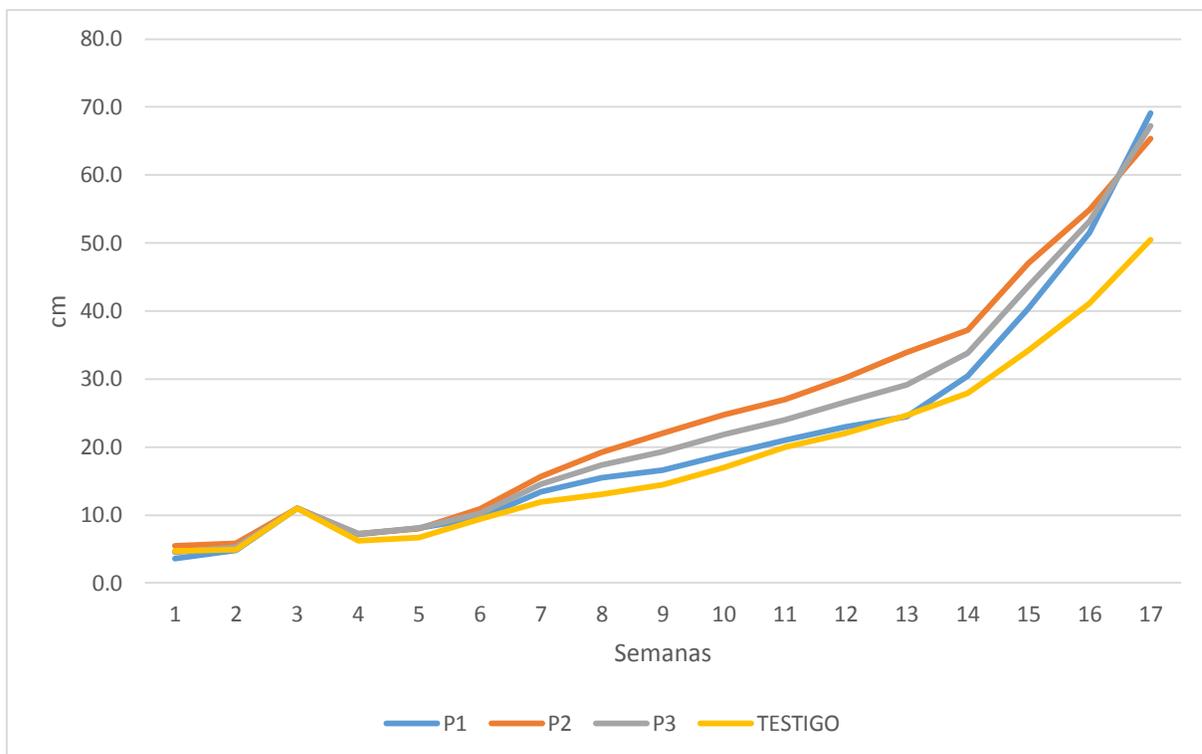
Figura 24. Cobertura aérea de *L. leucocephala* fertilizada con lombricomposta



Grafica 7. Muestra en comportamiento de cobertura aérea de plantas de *L. leucocephala* var. *Cunningham* fertilizadas con lombricomposta y sin lombricomposta.

La Grafica 7 muestra el crecimiento de la *L. leucocephala*, en donde sobresale la *L. leucocephala* del surco 4 respecto a los demás surcos. Esto es debido a que la *L. leucocephala* de este surco se estableció 30 días antes del establecimiento de los otros surcos en evaluación. Los surcos 3 O y 5 muestran un crecimiento similar.

El resto de los surcos muestran un crecimiento similar entre ambos en comparación de los surcos con mayor desarrollo de la cobertura aérea. Representadas en surcos, en el que se muestra el crecimiento en la cobertura aérea en sus diferentes muestreos. Los surcos marcados con "O" indican se desarrollaron bajo sombra de árboles.

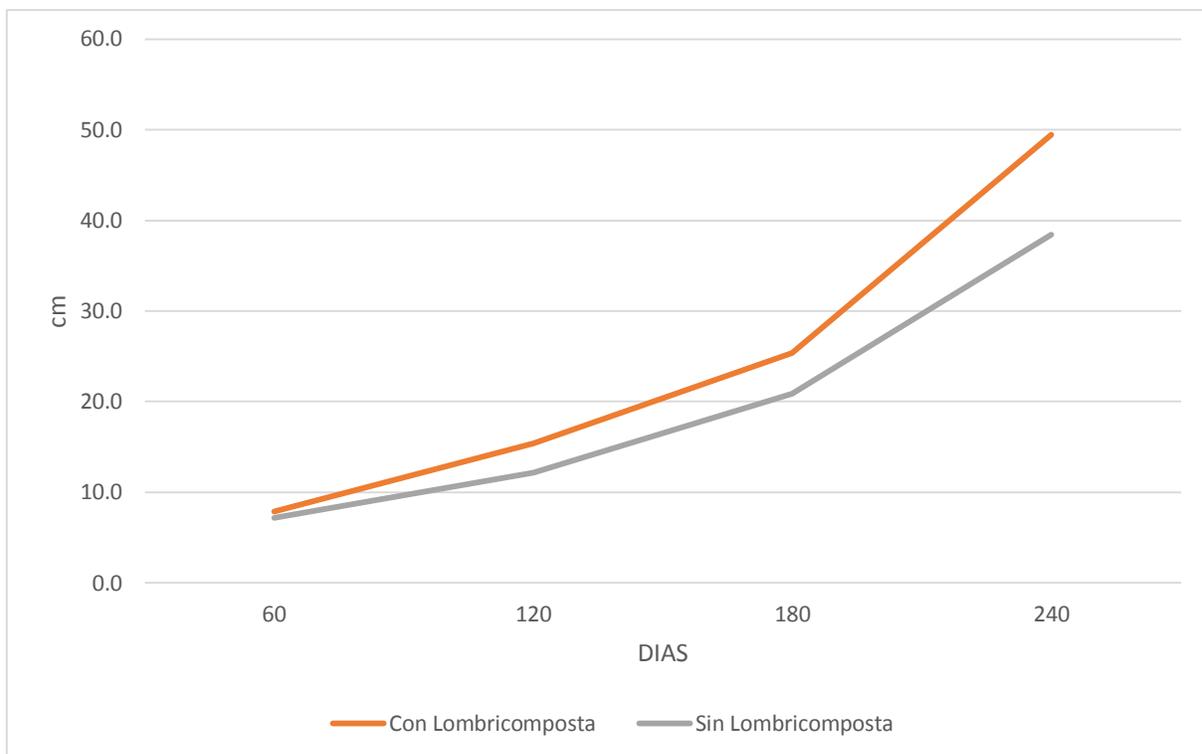


Grafica 8. Comportamiento de la cobertura aérea de plantas de *L. leucocephala var. Cunningham* fertilizadas con lombricomposta y sin lombricomposta, agrupando los surcos en tres parcelas (P1, P2, P3)

(P) P1: Con lombricomposta, P2: Con lombricomposta, P3: Con lombricomposta, Testigo: Sin lombricomposta

La Grafica 2 presenta el comportamiento de la altura de plantas de *L. leucocephala var. Cunningham* fertilizadas con lombricomposta y sin lombricomposta, agrupando los surcos en tres parcelas (P). El surco 4 (grafica 1) fue descartado de la agrupación de las parcelas ya que la edad fisiológica de las plantas establecidas en el surco es mayor de un 30 días en comparación con las otras plantas de los otros surcos. El crecimiento en las primeras semanas de evaluación presentó desarrollo similar entre parcelas (3) y entre tratamientos. La parcela 2 a partir de la semana 7 hasta la semana 17 presentó mayor crecimiento.

Las parcelas P1, P3 y Testigo muestran un incremento similar en la altura en la semana 8 hasta las 17 semanas. La *L. leucocephala* de la parcela testigo presentó menor desarrollo



Grafica 9. Comportamiento de cobertura aérea de plantas de *L. leucocephala* var. *Cunningham* fertilizadas con lombricomposta y sin lombricomposta Agrupando las 3 parcelas (P1, P2, P3).

(Grafica 7), en la que se muestra el promedio del crecimiento de *L. leucocephala* comparando ambos tratamientos (con lombricomposta y sin lombricomposta), en los diferentes días de evaluación, siendo 22.4% mayor el tratamiento fertilizado con lombricomposta en comparación del tratamiento sin lombricomposta en el que nos arroja un resultado positivo en el incremento de cobertura área en el tratamiento con lombricomposta.

8.2 Composición química del follaje de *L. leucocephala*

Cuadro 8 presenta los datos obtenidos de un análisis químico proximal de *Leucaena leucocephala* var. *Cunningham* en ambos tratamientos cada uno con tres repeticiones.

Cuadro 8. Composición química (%) del follaje de *L. leucocephala* con lombricomposta y sin lombricomposta en un sistema silvopastoril

Variables	Follaje de <i>L. leucocephala</i> .	
	abonada con lombricomposta	Sin lombricomposta
MS (%)	22.22	23.61
H (%)	77.77	76.38
C (%)	5.51	4.98
MO	94.49	95.02
PC	19.67	18.28
FDN	15.47	18.63
FDA	5.02	5.42
LDA	6.56	8.65

MS: Materia seca, H: Humedad, C: Cenizas, MO: Materia orgánica, PC: Proteína cruda, LDA: Lignina

La MS y H del follaje de *L. leucocephala* con lombricomposta y sin lombricomposta se obtuvieron resultados similares de los dos tratamientos. En el contenido de C se obtuvo un incremento de 0.53% en comparación de ambos tratamientos. El porcentaje de MO fue similar, en el contenido de PC incrementó 1.39% en la *L. leucocephala* abonada con lombricomposta. La FDN incremento 3.16% en el tratamiento sin lombricomposta. La FDA fue similar entre ambos tratamientos, en la LDA fue del 2.09% mayor en el tratamiento sin lombricomposta en comparación con el tratamiento con lombricomposta.

Wencomo (2008) Reporta que las leguminosas usadas para dichos sistemas pasan de los 18% de proteína y se puede alcanzar ganancias de peso y un incremento en la producción de leche. Las hojas y las vainas de *L. leucocephala* se usan extensamente como forraje para animales rumiantes, ya que entre sus cualidades está el alto contenido de proteína bruta en el forraje, varía entre 24 y 30 %, dependiendo de la variedad y la época del año (García *et al.* 2008). La digestibilidad de la proteína alcanza el 63% y la digestibilidad de la materia seca entre 60 y 70 % medida *in vivo* (Solorio *et al.* 2003). Otros aspectos importantes a considerar son la cantidad de taninos condensados que contiene.

Upadhyay, *et al.* (1974) Mencionan que el contenido de proteína y fibras de las hojas de *L. leucocephala* fueron 21,4% de proteína (P), 14,2% de fibra bruta (FB), quienes además reportan contenido de 6,5% de extracto etéreo, 2,7% de Ca y 0,17% de P. Similares a los datos obtenidos en este trabajo.

Falvey (1976) reportó contenidos de PB en las hojas de *L. leucocephala*, en diferentes etapas del año de 18,7 y 30%, el primer valor fue similares al contenido de PC de la Leucaena en este trabajo.

Joshi (1976) reporta para las hojas y algunas ramas jóvenes valores entre 20 y 24% de PB, 15,5% de PBD y 54% de TND, superiores a lo obtenido en este trabajo.

Le Houerou (1980) reporto rangos de nutrientes encontrados en la *L. leucocephala* de 19.9 a 36% de PC, 5.5% en extracto etéreo (EE), 5.7 a 11.0% en cenizas, 18.3 a 20.0% en fibra cruda (FC), 15.6 a 48.5% en FDN, 10.3 a 30.4% en FDA, resultados semejantes a los obtenidos en el presente trabajo.

González *et al.*, (2007). Menciona que la concentración de PC fue variable, con rangos de 6.79% hasta 29.26% de PC, Pinto (2010), en un estudio con árboles forrajeros en tres regiones ganaderas de Chiapas, reporta una concentración promedio de PC de 19% en el follaje verde de las especies evaluadas, superando

ampliamente el contenido de este nutriente en comparación con los pastos de la región.

Barros *et al.* (2012). Indica que de las especies evaluadas de *L. leucocephala* presentaron concentraciones entre 49.54% a 59.58% de FDN, y de 31.23 a 42.53% de FDA. Al respecto, Norton (1994) indica que cuando los niveles de FDN en especies arbóreas oscilan alrededor de 40% deben ser considerados como adecuados por su potencial de digestibilidad donde se presentaron en promedio $0.21\% \pm 0.13$ de P.

Los resultados obtenidos muestran, que la mayoría de estas especies arbóreas, contienen más cantidad de este mineral. Las especies arbóreas forrajeras mostraron una concentración del 0.60 a 1.16 % de Ca; este rango superior al porcentaje requerido (NRC, 2000).



Figura 25. Pesaje de muestra de *L. leucocephala* para la determinación de fibras



Figura 26. Determinación de PC de *L. leucocephala*

8.3 Producción de biomasa

8.1.4 Producción de biomasa (hojas kg/planta)

Cuadro 9. Materia seca del follaje de *L. leucocephala*. Con lombricomposta y sin lombricomposta en un sistema silvopastoril

Tratamientos	Verde (g/planta)	Materia seca (g/planta)	Materia seca (%)
Leucaena con lombricomposta	285	63.3	22.22
Leucaena sin lombricomposta	236	48.7	20.63

El cuadro 9 muestra los datos para la determinación de materia seca de *L. leucocephala* en el cual muestra resultados similares en el contenido de MS de ambos tratamientos,

Musálem, (2002) y Dagang (2003) mencionan que la inclusión de árboles en pasturas constituye una fuente importante de alimento al respecto, Anguiano *et al.* (2012) mencionan que la inclusión de altas densidades es provechosa, ya que encontró que los mejores resultados en cuanto a la altura y número de hojas se obtienen con 60,000 y 80,000 árboles ha⁻¹ a los 100 días de edad, con 138.28 cm y 24.74, respectivamente.

Anguiano *et al.* (2013) señalan que con la siembra de 80,000 plantas de *L. leucocephala* Var. Cunningham ha, puede proveer grandes cantidades de MS para su posterior utilización. Los SSP con *L. leucocephala*, al proveer múltiples beneficios, son una opción importante para mejorar las condiciones del suelo en muchas zonas ganaderas del trópico; ya que tienen un potencial de fijación de nitrógeno atmosférico de 52 y 320 kg ha⁻¹, dependiendo de la variedad, densidad y condiciones ambientales (Lozano *et al.*, 2006; Yamamoto *et al.*, 2007).

Se realizó un estudio en el trópico seco de Michoacán, en tres ranchos de producción ganadera de doble propósito donde se estableció la *L. leucocephala* cv. Cunningham (densidad de 34,500 y 53,000 plantas ha⁻¹) donde encontraron una mayor oferta de forraje comestible en la asociación, con un promedio de 2,470 y 2,693 kg MS ha⁻¹ pastoreo en la época de seca (marzo-mayo). En el sistema tradicional, la oferta fue de 948 kg MS ha⁻¹ pastoreo-1 aplicando abono orgánico con base en lombricomposta para el cultivo (Bacab, 2011). Un aspecto a resaltar en el estudio anterior es que en la época de secas *L. leucocephala* aporta una considerable oferta de forraje; ante ello, la incorporación de esta leguminosa constituye una fuente importante de alimentación animal, sobre todo en la época con menor disponibilidad de pastos (Shelton, 1996).

Mendoza (2003) y Torres *et al.* (2011) Encontraron resultados semejantes en relación del incremento en el crecimiento de las hojas en lo que se favorece con la absorción de nutrientes por el sistema radical y su transporte a la parte aérea y en interacción con la radiación solar para inducir fotosíntesis, la respiración, transpiración y el transporte de productos foto asimilados, que se traducen en mayor producción de biomasa.



Figura 27. Pesaje de muestra de *L. leucocephala*

8.4 Características físicas y químicas de tres sitios del SSP

Cuadro 10. Muestra los resultados obtenidos de análisis de suelo en las distintas áreas del sistema silvopastoril.

DETERMINACION	Pasto/Pasto	Pasto/Leucaena	Leucaena/Leucaena
Color	Café amarillo claro	Marrón amarillo claro	Amarillo rojizo
Densidad aparente	.941	1.007	1.100
Densidad real	1.764	1.860	1.909
Capacidad de campo (%)	37.9	39.6	42.7
pH	4.37	4.56	4.74
Textura	Arcillo arenoso	Arcillo arenoso	Arcillo arenoso
Materia orgánica	3.092	6.454	3.227
Nitrógeno total	0.154	0.322	0.161
Nitrógeno disponible	0.007	0.016	.008
Fosforo	0.5 mg/L	1 mg/L	3 mg/L
Potasio	1.25 mg/L	1.5 mg/L	1.75 mg/L
Amoniaco	23 mg/L	32 mg/L	28 mg/L
Conductividad eléctrica	17.93	17.91	18.03

El cuadro 10 muestra resultados favorables al tratamiento donde se fertilizo con lombricomposta en el cual se muestran cambios en las características físicas y químicas de las áreas del SSP mostrando mayor concentración de nutrientes en el área en el que se fertilizo con lombricomposta.



Figura 28. Determinación del análisis químico de suelo del SSP



Figura 29. Determinación de Materia Orgánica en el análisis de suelo del SSP

8.4.1 Comparación de las características químicas del suelo antes y después del establecimiento del SSP.

Cuadro 11. Comparación de análisis químico de suelo al principio y al momento de establecer el SSP.

Variables	Suelo antes del establecimiento del SSP	Suelo después de 8 meses de establecido el SSP
Color	Café amarillo claro	Amarillo rojizo
Densidad aparente	.97	1.05
Densidad real	-	1.88
Capacidad de campo (%)	-	41.15
pH	4.8	4.65
Textura	Arcillo arenoso	Arcillo arenoso
Materia orgánica	8.3	4.84
Nitrógeno total	.41	0.24
Nitrógeno disponible	.02	0.01
Fosforo	-	2
Potasio	-	1.62
Amoniaco	-	30
Conductividad eléctrica	-	17.97

-no estimado

El cuadro 11 muestra las características físicas y químicas del suelo antes del establecimiento y después del establecimiento del SSP, obteniendo resultados similares en densidad aparente, pH, textura, materia orgánica, nitrógeno total y nitrógeno disponible en que se muestran resultados positivos en la utilización de lombricomposta en el sistema silvopastoril.

8.3 Desarrollo vegetativo radicular

8.3.1 Longitud de la planta

En el desarrollo de la longitud de la planta en ambos tratamientos, existió diferencias significativas ($P=0.0001$). La *L. leucocephala* que presentó mayor longitud fue la fertilizada con lombricomposta (100%L)

Cuadro 12. Presenta la longitud promedio de *L. leucocephala* var. *Cunningham*.

Días	Tratamientos		
	100%L	100%T	50%L-50%T
15	4.4	1.8	3.9
30	7.7	5.9	7.0
45	13.0	8.5	10.7
60	17.7	9.7	12.7
75	18.1	10.1	13.2
90	23.6	12.1	16.2

100%L: 100% Lombricomposta, 100%T: 100% Tierra, 50%L-50%T: 50% Lombricomposta -50% Tierra

La longitud de la *L. leucocephala* en los distintos periodos de medición presentó diferencias estadísticas ($P= 0.0001$). Se observó que a través de los días el crecimiento teniendo un mayor crecimiento a los 90 días.

El tratamiento fertilizado con lombricomposta presento mayor longitud. En los 15 días de medición, el tratamiento 100%L mostrando un incremento en el crecimiento de 11.3% a diferencia del tratamiento de 50%L-50%T y 59% del tratamiento de 100%T. A los 30 días de medición hubo un crecimiento mayor del tratamiento de 100%L en el cual hubo diferencias ($P= 0.0001$) en el crecimiento de un 4% con

relación al tratamiento de 50%L-50%T y una diferencia de 23% en el tratamiento de 100%T.

En los 45 días de evaluación hubo diferencia estadísticas ($P= 0.0001$) y un mayor crecimiento del tratamiento de 100%L en un 17% del tratamiento de 50%L-50%T y una diferencia de 34% del tratamiento de 100%T. En los 60 días de evaluación se obtuvo mayor crecimiento del tratamiento de 100%L con una diferenciación del 28% del tratamiento de 50%L-50%T y de 45% en el tratamiento de 100%T.

En los 75 días de evaluación se obtuvo un incremento en el desarrollo del crecimiento de la planta del tratamiento de 100%L en relación a los demás tratamientos en los cuales fue superior en un 27% en el tratamiento de 50%L-50%T y de 44% en el tratamiento de 100%T.

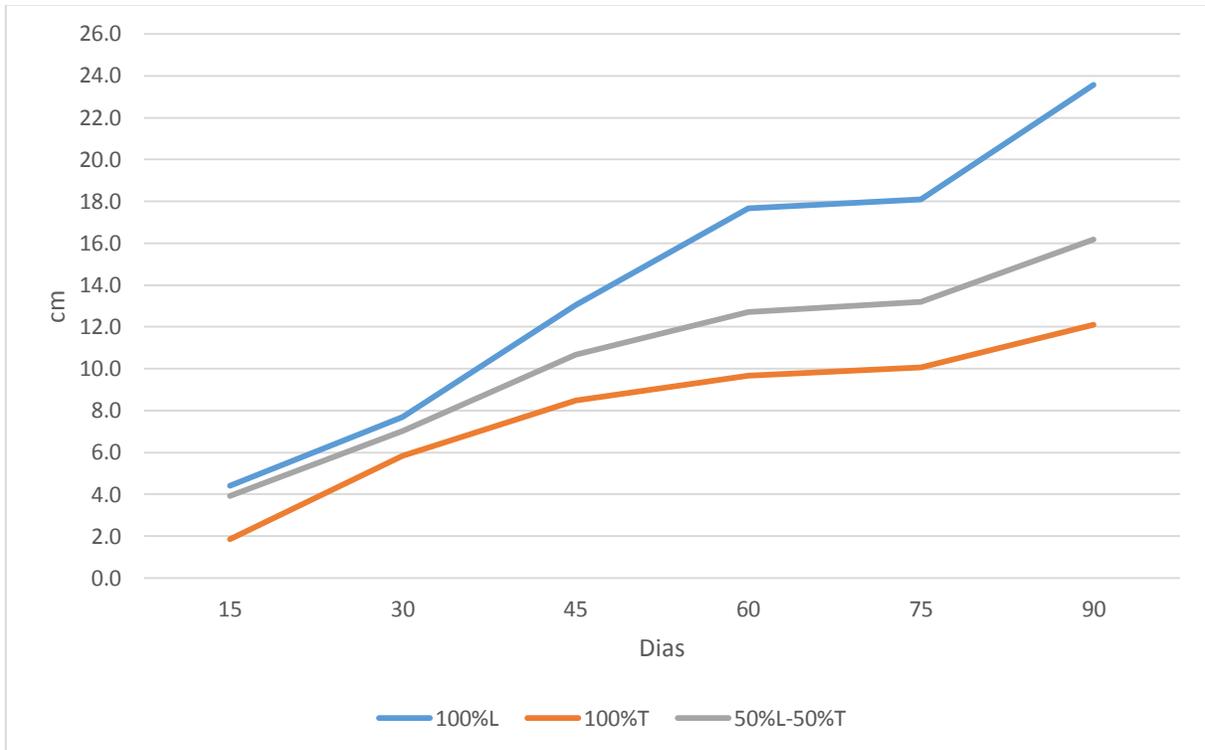
Para los 90 días de medición encontramos diferencia ($P= 0.0001$). En el crecimiento de la *L. leucocephala* mayor para el tratamiento de 100%L en relación a los otros tratamientos en los cuales se encontraron diferencia de 31.35% en el tratamiento de 50%L-50%T y de 48% en el tratamiento de 100%T.

A los 90 días de evaluación se obtuvo el mayor crecimiento de las plantas en el cual se establece mayor crecimiento en el tratamiento fertilizado con lombricomposta. El aumento en general del crecimiento se refleja por el aumento en el área foliar de las plantas lo que hace referencia a un resultado positivo en la utilización de la lombricomposta.



Figura 30. Longitud de *L. leucocephala*. Exp 2

Grafica 10. Comportamiento de la altura de plantas de *L. leucocephala* var. *Cunningham* fertilizadas con lombricomposta y sin lombricomposta



100%L: 100% Lombricomposta, 100%T: 100% Tierra, 50%L-50%T: 50% Lombricomposta -50% Tierra

La grafica 10 presenta el crecimiento de *L. leucocephala* en sus diferentes muestreos, la *L. leucocephala* del tratamiento de 100%L tuvo un mayor crecimiento a los demás tratamientos. El tratamiento de 100%L muestra un crecimiento superior de los 30 a los 90 días de evaluación, el tratamiento de 50%L-50%T Muestra un desarrollo menor, y el tratamiento de 100%T muestras un desarrollo menor en comparación de los demás tratamientos.

8.3.2 Longitud de la raíz

Cuadro 13 Presenta la longitud de la raíz en promedio de la *L. leucocephala* var. *Cunningham*.

Días	Tratamientos		
	100%T	50%L-50%T	100%L
30	6.7	6.4	8.3
60	8.7	10.5	22.6
90	11.2	16.0	50.1

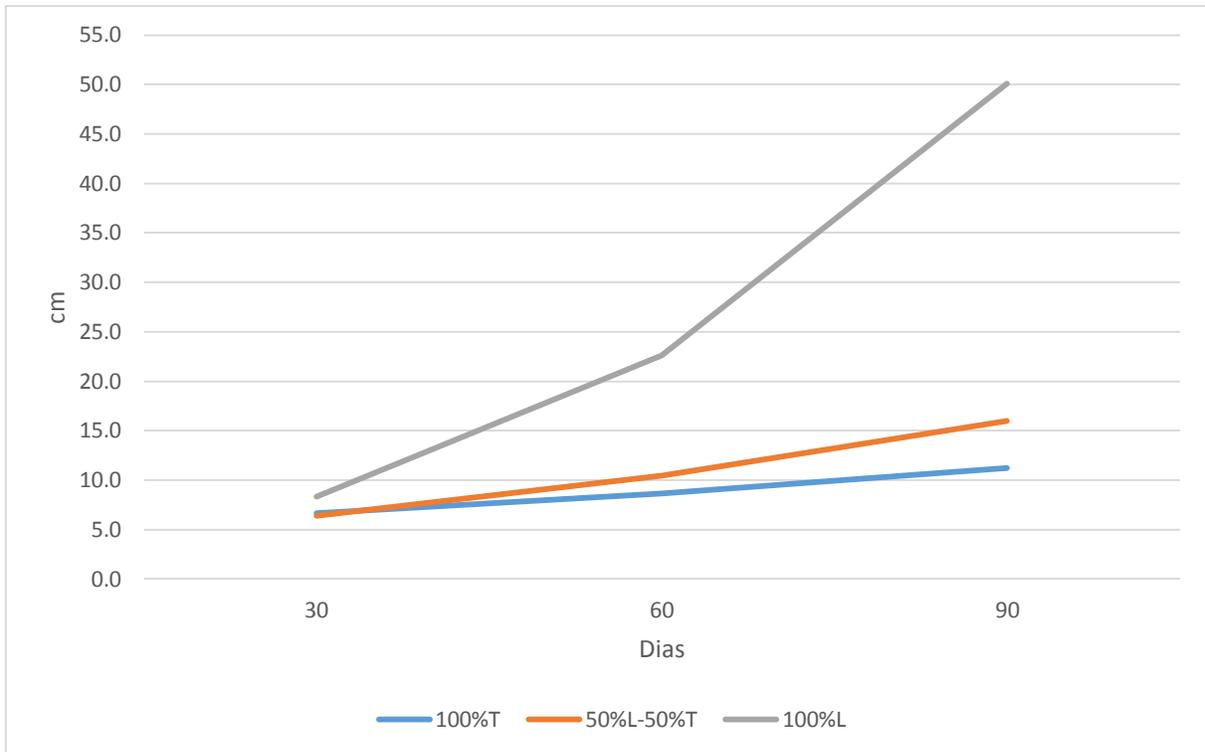
En ambos tratamientos, existió diferencias significativas ($P=0.0001$). La *L. leucocephala* que presentó mayor longitud fue la fertilizada con lombricomposta.

El cuadro 13 muestra la longitud de la raíz de la *L. leucocephala* en los distintos periodos de medición presentó diferencias estadísticas ($P= 0.0001$). Se observó que a través de los días el crecimiento de la *L. leucocephala* fertilizada con lombricomposta incrementó mostrando el mayor crecimiento a los 90 días ($P=0.003$) lo cual representó el 68% más con respecto al tratamiento 50%L-50%T, para el tratamiento de 100%T se obtuvo una diferencia en la longitud de la raíz de 77.6%.

Hungría et al., (2004) reporta que la biomasa radical se incrementó con el uso de abonos orgánicos desde un 46% a un 91% mayor en comparación con la biomasa radical del testigo que alcanza entre 15% a 30%, respectivamente. La mayor promoción del crecimiento radical de la *L. leucocephala* ha sido consignada como resultado de la producción de fitohormonas, como el ácido indol acético (Dobbelaere, et al, 2003).



Figura 31. Longitud de la raíz de *L. leucocephala*



100%L: 100% Lombricomposta, 100%T: 100% Tierra, 50%L-50%T: 50% Lombricomposta -50% Tierra

Grafica 11. Comportamiento de la longitud de la raíz de plantas de *L. leucocephala* var. *Cunningham* fertilizadas con lombricomposta y sin lombricomposta.

En el que se muestra el crecimiento de *L. leucocephala* en sus diferentes muestreos. La Grafica 11. Muestra el crecimiento de la raíz de *L. leucocephala*, donde se muestra el crecimientos de los distintitos tratamientos, donde mostro un mayor desarrollo el tratamiento de 100%L en comparación de los otros tratamientos donde hubo un menor crecimiento de la raíz.

IX. CONCLUSIONES

La aplicación de lombricomposta en la fertilización de *L leucocephala* presentó un efecto positivo en el crecimiento de su desarrollo fisiológico siendo mayor que la *L leucocephala* que no se fertilizo con lombricomposta. En la implementación de lombricomposta en los sistemas silvopastoril constituyen una opción importante para los sistemas ganaderos debido a los múltiples beneficios que brindan, tales como la alta oferta y calidad de forraje para la alimentación animal ya hay un incremento en el contenido de nutrientes del forraje que va a hacer utilizado para la alimentación animal.

De igual manera, la implementación de los SSP permite obtener numerosos beneficios en las características físicas químicas del suelo tales como (color, textura, densidad real, densidad aparente, capacidad de campo, materia orgánica, pH, N, P, K).

X. BIBLIOGRAFÍA

- Aguirre-Medina, J.F. (2006). Biofertilizantes microbianos: Experiencias agronómicas del programa nacional del INIFAP en México. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias-Centro de Investigaciones Regionales Pacífico Sur-Campo Experimental Rosario Izapa. México. INIFAP. Obtenido de <http://biblioteca.inifap.gob.mx:8080/jspui/handle/123456789/3633>.
- Andrew, C.S. & Hutton, E.M. 1974. Effect of pH and calcium on the growth of tropical pasture legume. Proc. of the XII Int. Grassld. 21
- Anguiano, J. M.; Aguirre, J. y Palma, J. M. (2012). Establecimiento de *Leucaena leucocephala* con alta densidad de siembra bajo cocotero (*Cocos nucifera*). RCCA. 46(1):103-107.
- Anguiano, J. M.; Aguirre, J. y Palma, J. M. (2012). Establecimiento de *Leucaena leucocephala* con alta densidad de siembra bajo cocotero (*Cocus nucifera*). *Revista Cubana de Ciencia Agrícola* 46: 103-107.
- Anguiano, J. M.; Aguirre, J. y Palma, J. M. (2013). Secuestro de carbono en la biomasa aérea de un sistema agrosilvopastoril de *Cocus nucifera*, *Leucaena leucocephala* Var. Cunningham y *Pennisetum purpureum* Cuba CT-115. *Avances en Investigación Agropecuaria* 17: 149-160.
- Anon. 1965. Ann. Rep. Dep. Agric. Stok and Fish. 170
- Anon. 1977. *Leucaena*. Promising Forage and tree crop for the tropics. National Academy of Sciences
- Anónimo, 1988. *Manual de fertilidad de suelos*. Potash & Phosphate Institute. Georgia. USA, 85 p.
- Bacab, H. M. y Solorio, F. J. (2011). Oferta y consumo de forraje y producción de leche en ganado de doble propósito manejado en sistemas silvopastoriles en Tepalcatepec, Michoacán. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 13: 271-278.
- Barros Rodríguez M, Solorio-Sánchez J, Ku-Vera J, Ayala-Burgos A, Sandoval-Castro C, y Solís-Pérez G. (2012). Productive performance and urinary

- excretion of mimosine metabolites by hair sheep grazing in a silvopastoral system with high densities of *Leucaena leucocephala*. *Tropical Animal Health and Production* 44, 1873-1878
- Batis, M., M.. Alcocer, M. Gual, C. Sánchez y C. Vázquez-Yanes. (1999). Árboles y Arbustos Nativos Potencialmente Valiosos para la Restauración Ecológica y Reforestación. Instituto de Ecología UNAM/CONABIO. México.
- Belsky AJ, Mwonga SM, Duxbury JM. (1993). Effects of widely spaced trees and livestock grazing on understory environments in tropical savannas. *Agroforestry Systems*; 24:1-20.
- Botero, R. y R.O. Russo. 1997a. Utilización de árboles y arbustos fijadores de nitrógeno en sistemas sostenibles de producción animal en suelos ácidos tropicales. In III Seminario Manejo y Utilización de Pastos y Forrajes en Sistemas de Producción Animal. R. Tejos, C. Zambrano, M. Camargo L.E. Mancilla W. García (eds.). UNELLEZ, Barinas, 20-22 de febrero de 1997. pp. 49-63.
- Botero, R. y R.O. Russo. 1997b. Árboles y arbustos en producción animal en suelos ácidos del trópico. *Carta Ganadera (Colombia)* setiembre 1997, pp. 43-47.
- Bultynck, L., Fiorani, F. & Lambers, H. (1999). Control of leaf growth and its role in determining variation in plant growth rate from an ecological perspective. *Plant Biology*, 1, 13-18.
- Calabria, C. & Puntieri, J. (2008). Desarrollo foliar y caulinar de las unidades de alargamiento de *Nothofagus dombeyi* (Nothofagaceae) en condiciones de alta y baja luminosidad. *Boletín Sociedad Argentina Botánica*, 43 (1-2), 19-30.
- Carvalho, MM. ; Freitas, VP. ; Almeida, DS. ; Villaca, HA. (1994). Efeito de árvores isoladas sobre a disponibilidade e composicao mineral da forragem em patagens de *Brachiaria*. *Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia*. 23: 709 – 718
- Casafe., 1993. Guía de productos fitosanitarios para la República Argentina. Cámara de Sanidad Agropecuaria y Fertilizantes. República Argentina

- Castillo, H. J. y Rivas, P. F. (1991) Producción DE forraje de leucaena en suelos litosol. Memorias. Reunión Nacional de Investigación Pecuaria. Noviembre 1991. Ciudad Victoria, Tamaulipas, México.
- CATIE. (1991). Leucaena, *Leucaena leucocephala* (Lam.de Wit.) Especie de Árbol de Uso Múltiple en América Central. Informe Técnico No 166.
- CATIE. (1997). Notas técnicas sobre Manejo de Semillas Forestales.
- Chandola, R.P.; Khan, M.A.Q.; Tyagi, P.C. & Chaturvedi, Y.C. 1973. Effect of seed pretreatment en germination of white popinae (*Leucaena leucocephala* lamk). Raj. agric. Sci. 4:34 (Abs)
- Chaoui H.I., L.M. Zibilske y T. Ohno. 2003. Effects of earthworm cast and compost on soil microbial activity and plant nutrient availability. Soil Biol. Biochem. 35:295-302.
- Charles-Edwards, D.A. (1982). Physiological determinants of crop growth. Australia. Academic Press.
- Cooke G.W. 1983. Fertilización para rendimientos máximos. México. C.E.C.S.A
- Cooksley, D.G. 1974a. Growing and grazing *Leucaena*. Qd. agric. J. 100:258
- COOKSLEY. D.G. (1974). A study of preplanting herbicide, nitrogen, burning and postemergence cultivation on the establishment of *Leucaena leucocephala*. Qd. J. Agric. Anim. Sci. 31:271
- Crespo G, Castillo E, Rodriguez I. (1998). Estudio del reciclaje de N, P y K en dos sistemas de producción de vacunos de carne en pastoreo. En Memorias III taller Internacional silvopastoril realizado del 23-27 de noviembre; Cuba. 234-236.
- Dagang, B. K. y Nair, K. R. (2003). Silvopastoral research and adoption in Central America: recent findings and recommendations for future directions. *Agroforestry Systems* 59: 149-155.
- Dobbelaere, S., Vanderleyden J. & Okon, Y. (2003). Plant growth-promoting effects of diazotrophs in the rhizosphere. *Critical Rev. Plant Sciences*, 22, 107-149.
- Domínguez, A.; Telles, Enidia & Revilla, J. (2001). Comportamiento inicial de dos especies de morera en fase de establecimiento. *Pastos y Forrajes*. 24 (2):147

- Eavis BW, Cumberbatch ERStJ, Medford DL. 1974. Factors influencing regeneration of natural vegetation on reformed Scotland District soils of Barbados. *Tropical Agriculture (Trinidad)* 51: 293–303.
- Edwards, C.A. 2000. Earthworms. Chapter 8 In: *Soil Biology Primer*. Soil and Water Conservation Society. Rev. Edition. Ankeny Iowa.
- Evans, H.E. 1984. *Insect biology. A textbook of entomology*. Addison_Wesley Publishing Company Inc. 436p.
- Falvey, L. 1976. Productivity of *Leucaena leucocephala* in the Daly basin, Northern Territory. *Tropical Grasslands*. 10:117
- Faría, M. J. (1996). Evaluación de accesiones de *Leucaena leucocephala* a pastoreo en el bosque seco tropical II. Valor nutritivo. *Revista de la Facultad de Agronomía (LUZ)*. 13: 179-190.
- Fassbender H. (1993). Modelos edafológicos de sistemas agroforestales; 20. Edición. CATIE. Turrialba. Costa Rica; 490 p.
- Fedegán Federación Nacional de Ganaderos de Colombia. (2010). *La ganadería colombiana y las cadenas láctea y cárnica*. Bogotá.
- Flórez V, Fernández A, Miranda D, Chaves B, Guzmán J (2006) Avances sobre fertirriego en la floricultura Colombiana. 1ª edición. Unibiblos. Bogotá, Colombia, pp 43-52
- Fuentes, Y.J.L. 1987. La crianza de la lombriz roja. Núm. 1
- Galindo, W.F.; Rosales, Murgueitio, M. E. ; Larrahondo, J., 1989. Antinutritive substances in leaves of guamo, nacedero and matarraton. *Livest. Res. Rural Dev.*, 1 (1): 35-46
- Gan, J., Becker, J. O., Ernst, F., Hutchinson, CH., Knuteson, J. A. Y Yates, S. R., 2000. Surface application of ammonium thiosulfate fertilizer to reduce volatilization of 1,3-dichloropene from soil. *Pest Management Science* 56, 264-270.
- Gan, J., Yates, S. R., Crowley, D. Y Becker, J. O., 1998. Acceleration of 1,3-dichloropene degradation by organic amendments and potential application for emissions reduction. *Journal of Environmental Quality* 27, 408 - 414.

- García D, Wencomo H, Gonzáles M, Medina M y Cova L. 2008. Caracterización de diez cultivares forrajeros de *Leucaena leucocephala* basada en la composición química y la degradabilidad ruminal. Revista MVZ Córdoba. 13, 1294-1303
- Giraldo, V.L.A. (2009). Potencial de la arbórea guácimo (*Guazuma ulmifolia*) como componente forrajero en sistemas silvopastoriles. In: Memorias de la conferencia electrónica sobre Agroforestería para la Producción Animal en Latinoamérica,
- Gomez M E, (1999). Árboles y arbustos forrajeros utilizados en alimentación animal como fuente proteica. Cali, Colombia.
- González, G. J. C., Ayala, B. A. & Gutiérrez, V. E. (2007). Chemical composition of tree species with forage potential from the region of Tierra Caliente, Michoacán, México. Cuban Journal of Agricultural Science. 41(1):81-86.
- Graetz, H. A., 1997. *Suelos y Fertilización*. Traducido por: F. Luna Orozco. Trillas. México. 80 p.
- Gray, S.G. 1962. Hot water seed treatment for *Leucaena glauca*. Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb. 2:178
- Gros, A. Y Domínguez, A., 1992. *Abonos guía práctica de la fertilización*. 8va. edición. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. 450 p.
- Guevara, E. & Guenni, O. (2007). Potencial de crecimiento de cuatro líneas de *Leucaena leucocephala* (Lam) de Wit durante el establecimiento. Sitio Argentino de Producción Animal. APPA-ALPA-Cusco, Perú, 1-8.
- Gunadi B., Clive E. 2003. The effects of multiple applications of different organic wastes on the growth, fecundity and survival of *Eisenia fetida* (Savigny) (Lumbricidae). Pedobiologia 47, 321–329.
- Gutiérrez M. Agricultura para la vida. Cali.1995
- Gutteridge, R.C. & Shelton, H.M. (1993). The scope and potential of tree legumes. Agroforestry Systems. 23:177
- Hamilton, R. I.; Donaldson, L. B, & Lambourne, L. J. (1971). *Leucaena leucocephala* as a feed for dairy cows: direct effect on reproduction and residual effect on the calf lactation. Aust. J agric. Res. 22:681

- Harding, W.A.T (1972). The contribution of plant introduction to pasture development in the tropics of Queensland. *Trop. Grasslds.* 6:191
- Herrera, P.G. 1967. Effect of height of cutting on pigeon pea and koa haole. *Agric. Trop.* 23:34
- Hungría, M., Campo, R.J., Souza, E.M. & Pedrosa, F.O. (2004). Inoculation with selected strains of *Azospirillum brasilense* and *A. lipoferum* improves yields of maize and wheat in Brazil. *Plant and Soil*, 331, 413–425. Doi: 10.1007/s11104-009-0262-0
- Hunt R (1978) *Plant grow analysis. Studies in biology.* Number. 96 Edward Arnold publishers, London. 67pp
- Hutton, E.M. & Bonner, I.A. 1960. Dry mater and protein yield in four strains of *Leucaena glauca*. *J. Aust. Inst. Agric. Sci.* 26:276
- Hutton, E.M. 1972. *Leucaena leucocephala*. CSIRO. *Trop. Ann. Rep.* pp. 40
- Hutton, E.M. 1975. *Leucaena leucocephala*. CSIRO. *Trop. Ann. Rep.* pág. 55
- Ibrahim, M., (2001). Geographical synthesis of data on Costa Rica pastures and their potential for improvement, p. 423-448.
- Ingham, E.R. 2000. The soil food web. Chapters 1-6 In: *Soil Biology Primer.* Soil and Water Conservation Society. Rev. Edition. Ankeny Iowa.
- Jhonstom, A. E. (1991). *Soil fertility and soil organic matter.* In: *Advances in soil organic matter research: the impact on agriculture and the environment.* Ed. The Royal Society of Chemistry. Cambridge. UK. pp. 299-314.
- Jones, R.J. 1974. *Leucaena establishment studies.* CSIRO. *Trop. Agron. Div. Rep.* 10
- Joshi, D. C.; Upadhayay, R.B. 1976. *Leucaena leucocephala* an over green tree fodder and the possibilities of using it the dietary of animals. *Sheep Ind. Vet J.* 53:8:606
- Kinch, D.M. & Ripperton, J.C. 1962. Koa haole: Production and processing. *Hawaii agric. Exp. St.* 58 (Abs)
- Lamprecht H. (1989). *Silviculture in the Tropics. Tropical Forest Ecosystems and their Tree Species- Possibilities and Methods for their Long-Term Utilization.* Technical Cooperation- Alemania.

- Le Houerau, H. N (1980). Chemical composition and nutritive value of forage. En: ILCA. Browse in Africa, Addis Ababa.
- López A, Schlönvoigt A, Ibrahim M, Klein CH, Karkku K. (1999). Cuantificación del carbono almacenado en el suelo de un sistema silvopastoril en la zona Atlántica de Costa Rica. *Agroforestería de las Américas*; 6(23): 51-54.
- López C., Ruelas D., Sañudo R., Armenta C., Félix J. (2013). Influence of different organic substrates on earthworm (*Eisenia foetida*). *Tecnociencia Chihuahua*. Vol. VII, No. 2.
- Lopez-Abelairas M, et al. (2013) Operational strategies for producing bioethanol in a continuous single-stage reactor. *Bioprocess Biosyst Eng* 36(12):1929-37
- Lozano, M. D.; Amparo, C. G.; Venegas, M. A.; Figueroa, L.; Ramírez, G. M.; Carrero, H. G.; Consranza, V. N. y Aguirre, M. C. (2006). Sistemas silvopastoriles con uso de biofertilizantes: opción tecnologica para el Valle Calido del Alto Magdalena Corpoica. Colombia. 33 p.
- Mahecha, L., L.A. Gallego, y F.J. Peláez. 2002. Situación actual de la ganadería de carne en Colombia y alternativas para impulsar su competitividad y sostenibilidad. *Rev. Colomb. Cienc. Pecu.* 15:213-225.
- Mendoza, J.E (2003). Identificación de elementos del paisaje prioritarios para la conservación de biodiversidad en paisajes rurales de los Andes Centrales de Colombia, p. 251-288.
- Milthorpe, F.L. & Moorby, J. (1982). *Introducción a la fisiología de los cultivos*. Argentina, Ed. Hemisferio Sur.
- Mohr S (1995) *Plant physiology*. Springer. Velllong. Berlin, 629pp
- Montenegro J., Abarca S. (2000). Alternatives to methane emissions reduction in the livestock of Costa Rica.
- Morales, R.E.J., Escalante, E.J.A. & López, S.J.A. (2009). Biomasa y rendimiento de frijol con potencial ejotero en unicultivo y asociado con girasol. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 15(1), 33-39.
- Morales, V.M.; Graham, P.H. & Cavallo, R. 1973. Influence of inoculation method and limiting of the soil at Carimagua (E. Llanos, Colombia) on the nodulation of legumes. *Turrialba*. 23:52

- Moreno M. M. Miranda, I. Porras (2003). The social impacts of payments for environmental services in Costa Rica. In Markets for environmental services
- Murgueitio E., Uribe F., Calle A., Solorio B. 2011. Native trees and shrubs for reproductive rehabilitation of tropical cattle ranching lands. *For. Eco. Manage.* 261: 1654-1663.
- Musálem, M. A. (2002). Sistemas agrosilvopastoriles: una alternativa de desarrollo rural sustentable para el trópico mexicano. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 8: 91-100.
- Narayanan, S.S. & Sivagnanam, L.A. 1962. A leguminous thornless quick growing hedge plant *Leucaena glauca* Benth.
- Navarro Pedreño, J., Moral Herrero, Gómez Lucas Y Mataix Beneyto., 1995. *Residuos orgánicos y agricultura*. Universidad de Alicante. Servicio de Publicaciones. Alicante. España, 108 pp.
- NMX-FF-109-SCFI-2007. Asociación mexicana de lombricultores, a. c. (amexl). Humus de lombriz (lombricomposta) -especificaciones y métodos de prueba
- Norton B. W. (1994). The nutritive value of tree legumes. In: Forage Tree Legumes in Tropical Agriculture. C. Gutteridge and H. Shelton (Eds). CAB International, UK. pp.177-192.
- Nutrient Requirements of Beef Cattle. National Research Council (NRC). (2000). Seventh Revised Edition. National Academy Press. Washington, D. C. http://www.nap.edu/catalog.php?record_id=11653
- Oakes, A.J. & Skod, D. 1967. Yield trials of *Leucaena* in the U.S. Virgin Islands. *J. Agric. Univ. P. Rico.* 51:176
- Official methods of analysis of AOAC international - 20th edition, 2016
- Partridge, I.J. & Ranacou, E. (1974). The effects of supplemental *Leucaena leucocephala* on steers grazing *Dichanthium caricosum* in Fiji. *Trop. Grassld.* 8:107
- Pathak, P.S.; Debroy, R. & Rai, P. (1974) Autecology of *Leucaena leucocephala* (Lam) De Wit 1. Seed polymorphisn and germination. *Trop. Ecol.* 15:1 (Abs)

- Pedraza, R.M. & Salhe, C. (1991). Rendimiento, composición química y degradabilidad ruminal de tres leguminosas arbustivas. *Revista de Producción Animal*. 6 (2):189
- Pentón, Gertrudis & Martín, G. 2007. Comportamiento morfoagronómico de la morera (*Morus alba* L.) var. Tigreada asociada con *Leucaena leucocephala* como abono verde. En: Caracterización del potencial forrajero de la especie *Morus alba* (L). Informe de los resultados parciales del proyecto PTCT-CITMA. Matanzas, Cuba
- Peso D. Y Ibrahim M. A. (1996). Sistemas silvopastoriles: Una opción para el uso sostenible de la tierra en sistemas ganaderos. En 1er Foro Internacional sobre "Pastoreo Intensivo en Zonas Tropicales ". Veracruz, México. 7-9 Nov. FIRA, Banco de México.
- Pinto R. (2010). Árboles forrajeros de tres regiones ganaderos de Chiapas, México. Usos y características nutricionales. *Universidad y Ciencia Trópico Húmedo*. <http://www.ujat.mx/publicaciones/uciencia>. 26(1):19-31, 2010.
- Preston, T.R. y R.A. Leng. 1989. Ajustando los sistemas de producción pecuaria a los recursos disponibles: aspectos básicos y aplicados del nuevo enfoque sobre la nutrición de rumiantes en el trópico. Condit. Cali, Colombia. 312 p.
- Radosevich SR, Holt J (1984) *World ecology, implications for vegetation management*. Jhon Willey and Sons. New York, pp 25-3
- Ramírez Hernán (1997). Evaluación de dos sistemas silvopastoriles integrados por *Cynodon plestostachyus*, *Leucaena leucocephala* y *Prosopis Juliflora*. En: Seminario internacional de sistemas sostenibles de producción agropecuaria. Colombia.
- RANDEO, K.D. (1971). Studies on seed coat dormancy in *Leucaena glauca* Benth. *Jap. J. Ecol.* 21:14
- RED MEXICANA DE GERMOPLASMA FORESTAL.(1999). *Leucaena leucocephala*. Gaceta de la Red No 3. Agosto-octubre.
- Reganold J.,R.Papendick Y J. Parr. 1990. Un enfoque de la agricultura sostenible. Traducción en: *Agricultura sostenible*. Publicación No. 7. INTA. Argentina

- Roig J. T. (1974). Plantas medicinales, aromáticas o venenosas de Cuba, ed. 2, reimpr. 1,1-2. La Habana.
- Rotondo R., Firpo I. T., Ferreras L., Toresani S., Fernández S., Gómez E. (2009). Efecto de la aplicación de enmiendas orgánicas y fertilizante nitrogenado sobre propiedades edáficas y productividad en cultivos hortícolas. *Horticultura Argentina* 28(66): May.-Ago
- Rotondo R., Firpo I. T., Ferreras L., Toresani S., Fernández S., Gómez E. 2009. Efecto de la aplicación de enmiendas orgánicas y fertilizante nitrogenado sobre propiedades edáficas y productividad en cultivos hortícolas. *Horticultura Argentina* 28(66): May.-Ago
- Sadeghian S, Rivera JM, Gómez ME. (1998). Impacto de la ganadería sobre las características físicas, químicas y biológicas de suelos en los andes de Colombia. En: Memorias de la conferencia electrónica sobre agroforestería para la producción animal en América Latina, realizada de abril a septiembre de 1998. CIPAVFAO. p 123-141.
- Sánchez, F. (2011). Oferta y consumo de forraje y producción de leche en ganado de doble propósito manejado en sistemas silvopastoriles en Tepalcatepec, Michoacán. *Tropical and Subtropical Agro-ecosystems*, 13: 271-278.
- Shelton, H. M. (1996). El género *Leucaena* y su potencial para los trópicos. En: *Leguminosas forrajeras arbóreas en la agricultura tropical*. En: Clavero, T. (Ed.). Fundación Polar, Universidad del Zulia, Centro de transferencia de tecnología en pastos y forrajes. Venezuela. pp. 17-28.
- Solorio Sánchez F, Sandoval-Castro C, Armendáriz I. 2003. Manual de manejo agronómico de huaxin (*Leucaena leucocephala*). Ediciones de la universidad Autónoma de Yucatán. Mérida-Yucatán-México. pp. 11-15
- Solorio, F. J.; Bacab, H.; Casanova, F.; Castillo, J. B. y Ramírez, L. (2009). Potencial de los Sistemas Silvopastoriles en México. En: II Congreso sobre Sistemas Silvopastoriles. Celebrado del 3 al 5 de noviembre de 2009. Publicado por la Fundación Produce Michoacán, A. C. en Morelia Michoacán, México. p. 21-30.

- Sosa, R. E. Hagger, J. y Zapata, B. G. (1999) Huaxin. En: Manual agroforestal para la península de yucatan. Hagger J. (ed). Inifap/Icraf/Fundacion Quintana Roo Produce. Chetumal Quintana Roo.
- Taiz L, Zeiger E (2006) Plant physiology. 2nd ed. Sinauer Associates, Sunderland, Massachusetts, 764 pp
- Takahashi, N. & Ripperton, J.C. 1949. Koa haole (*Leucaena glauca*) its establishment, culture and utilization as a forage crop. Bull. 100 Hawaii. Agric. Exp. Stn. 56
- Togún O., Akanbi W. 2003. Comparative effectiveness of organic-based fertilizer on tomato growth and fruit yield. *Compost science & utilization* 11(4): 337-342.
- Torres, J. A.; Espinoza, W.; Reddiar, L. y Vázquez, A. (2011). Secuestro de carbono en potreros arbolados, potreros sin árboles y bosque caducifolio de Huatusco, Veracruz. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 13: 543-549.
- Upadhyay, V.S.; Rekib, A.; Pathak, P.S. 1974. Nutritive value of *Leucaena leucocephala* (Lam) de Wit. *Indian Vet. J.* 51:534
- Uribe F. et al (2011). Establecimiento y manejo de sistemas silvopastoriles. Manual 1, Proyecto Ganadería Colombiana Sostenible. GEF, BANCO MUNDIAL, FEDEGAN, CIPAV, FONDO ACCION, TNC. Bogotá, Colombia. 78p.
- Vangestel, C. A. M., 1996. Phytotoxicity of some chloroanilines and chlorophenols in relation to bioavailability in soil. *Water, Air and Soil Pollution* 88 (1-2), 119-132.
- Vilchez, S; (2000). Diversidad de suelo fragmentado de bosque seco en Rivas, Nicaragua.. *Revista Encuentro de la Universidad Centroamericana.*68. 60–75.
- Von Carlowitz, P., G. Wolf y R. Kemperman. (1991). The Multipurpose and Shrub Database. An Information and Decision-Support System. Manual, Versión 1.0. ICRAF. Nairobi Kenya.
- Wencomo HB. 2008. Evaluación morfoagronómica e isoenzimática y selección de accesiones de *Leucaena* spp. Con fines silvopastoriles. Tesis. Dr. C. Agrícola. Estación experimental de pastos y forrajes. Indio Hatuey, Cuba. 106 pp.

- Wu, M. (1964). Effect of lime, molybdenum and inoculation of rhizobia on the growth of *Leucaena glauca* on acid soil. *J. agric. Ass. Ch.* 47:57 (Abs)
- Yamamoto, W.; Dewi, I. A. e Ibrahim, M. (2007). Effects of silvopastoral areas on milk production at dual-purpose cattle farms at the semi-humid old agricultural frontier in central Nicaragua. *Agricultural Systems* 94: 368-375.
- Yepes, S. (1974). Características botánicas de las principales leguminosas tropicales de pastoreo. *Ciencias Agropecuarias. Serie 1. Ing. Agronómica No. 15*
- Yepsen, R.B. (1984). P. 267-271 In: *The encyclopedia of natural insect and disease control. Revised Edition. Rodale press.*
- Young, A. (1997). *Agroforestry systems for soil management. 2nd (Ed.). CAB International, New York, USA. 320 p.*
- Zárate, S. (1994). Revisión del género *Leucaena* en México. *Anales del Instituto biología, UNAM. Serie Botánica* 65(2): 83-162.
- Zuluaga, J. et al (2011). "Evolución de la contaminación del recurso hídrico en el Cinturón Verde de Mendoza. Congreso Nacional del Agua "CONAGUA 2011". Resistencia, Chaco. 22 al 25 de junio de 2011.